

BULANIK MANTIK ve JEODEZİDE UYGULAMA ALANLARI

Orhan Akyılmaz, Tefik Ayan*

ÖZET

Bulanık mantık, birçok bilimsel ve teknik alanda modelleme amacıyla kullanılan bir araçtır. Bulanık yöntemler kullanılarak klasik istatistiksel modellerden daha iyi çözümlerin elde edilebileceği çok sayıda jeodezik problemler de mevcuttur. Bulanık mantık, bir taraftan, klasik istatistiksel modellerle yeterli derecede ele alınamayan, belirsiz parametrelerin ortaya çıktığı sorunlarla ilgilenir. Diğer taraftan, sözel bulanık kuralların ilişkileri keskin matematiksel formüllerden daha iyi açıklayabildiği jeodezik problemler bulunmaktadır. Bu çalışmada bulanık mantığın ve bulanık kuralların muhtemel uygulama alanları hakkında bazı fikirler ortaya konmuştur.

ABSTRACT

Fuzzy Logic and Application Fields in Geodesy

Fuzzy logic is a recognized instrument for modelling in many scientific and technical fields. There are also a lot of geodetic problems where fuzzy methods can be used to reach better solutions than classical statistical models can do. It concerns on the one hand questions where uncertain parameters occur, which cannot be handled by statistical methods in adequate way. On the other hand there are geodetic problems where linguistic fuzzy rules can describe relations better than it can be done by crisp mathematical formulas. This paper presents some ideas of possible applications of fuzzy logic and fuzzy rules.

1. GİRİŞ

Jeodezik ölçülerin ve modellerin değişen derecelerde belirsizlikler içerdiği kaçınılmaz bir gerçektir. Jeodezik verilerdeki belirsizlikler, başlıcaları çevresel etkiler, insan duyularındaki ve de ölçme aletlerindeki yetersizlikler olmak üzere bazı faktörlerden kaynaklanmaktadır.

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi Anabilim Dalı, 34469 Maslak/İstanbul
e-posta: akyilma2@itu.edu.tr

Ölçme hatalarının belirlenmesi, kestirilmesi, elimine edilmesi ya da düzeltilmesi için çok sayıda iyi bilinen yöntem bulunmaktadır. Ne varki, bazı özel durumlar için bu yöntemler yeterli değildir.

Rastlantısal hatalardan söz edilebilmesi için yeterli sayıda ratgele örneklemelerin mevcut olması gerekir. Yani yeterinden fazla sayıda ölçme söz konusu olmalıdır. Fakat bazı durumlarda, özellikle sürekli izleme amacıyla yapılan ölçmelerde bu mümkün değildir, çünkü her bir ölçme (ya da gözlem) başka bir sistemin durumunu karakterize etmektedir. Bu durumda, bir ölçmenin doğruluğu ancak teorik standart sapma ile ifade edilebilir. Bu değerlendirme gerçekte güçlü olmayıp genelde deneyimlerimize dayanarak ortaya koyduğumuz değerler kullanılmaktadır. Çoğu zaman sistematik hataların etkilerinin uygun ölçme yöntemleri ve de ölçmelere getirilen uygun düzeltmelerle ortadan kaldırıldığı düşünülmektedir. Fakat bu ancak bozucu sistematik etkilerin bilinmesi durumunda yapılabilir. Zaman içerisinde zengin deneyimler kazandığımız doğrudur fakat ölçmelerimiz üzerinde henüz bilmediğimiz çok sayıda bozucu etki olduğunu da göz ardı edemeyiz. Buna en basit örnek olarak refraksiyon kat sayısı verilebilir.

Genel olarak, kaba hatalar istatistik test yöntemleriyle belirlenmektedir. Burada bir hatanın kaba hata mı yoksa sadece büyük değerde bir rastlantısal hata mı olduğuna, az ya da çok bulanık olan istatistiksel sınır değerlerin aşıp aşılmadığına bakılarak karar verilmektedir. Uyuşumsuz ölçü testlerinde bulanık mantığın kullanımına ilişkin Sun (1994), Konak ve Dı-laver (1998), Aliosmanoğlu ve Akyılmaz (2002), Kutterer ve Akyılmaz (2002) çalışmaları mevcuttur.

Dünyayı betimleme ve anlama için modeller kullanılmaktadır. Biz de jeodezide modelleme yoluna başvuruyorduk. Örneğin bir dengeleme modeli kullanarak rastlantı büyüklüğü olan ölçülerden koordinatlar için en olasılıklı değerler hesaplanmaktadır. Ya da bir yapıdaki deformasyonlar bir deformasyon modeli kullanılarak açıklanmaktadır. Bilgiye dayalı sistemler yardımıyla verdiğimiz kararları desteklemeye çalışırız. Modellere yaygın örnek olarak matematiksel formüller ve denklem sistemlerini verebiliriz. Çoğu durumda bu, dünyayı modellemenin en iyi yoludur. Fakat bazı durumlarda olaylar arasındaki gerçek bağlantılar o kadar karmaşıktır ki bunları kapalı matematiksel formüllerle ifade etmek imkansızdır. Yine diğer başka durumlar vardır ki matematiksel formüller olayları dilsel ifadeler kadar tatmin edici şekilde yansıtamaz (Heine 2001). Ya da bazı gözlenemeyen veya ölçülemeyen fiziksel olaylardan yada bilgi eksikliğinden kaynaklanan model eksikliklerinin ortaya çıktığı durumlar da söz konusudur. Kısaca, klasik yöntemlerin veri ve bilgi işlemede yeterli olmadığı ve geçek dünyayı temsil edecek modellerin kurulmasında işe yaramadığı durumlar bulunmaktadır. Bu nedenle veri ve modellerdeki belirsizlikleri daha iyi bir şekilde ele alacak yöntemler bulunmalıdır. Kullanacağımız modeller ve sunduğumuz sonuçlar olayın doğasındaki belirsizlikleri içermelidir.

2. BULANIK MANTIK

Bulanık kümeler teorisi Zadeh (1965) tarafından klasik küme teorisinin bir uzantısı olarak

ortaya atılmıştır. Temel fikri klasik kümelerdeki gibi bir değerin bir kümenin elemanı olup olmadığı sorusuna "evet" ya da "hayır" gibi keskin cevaplar vermeyip bu elemanın üyelik derecesinin 0 ile 1 değerleri arasında değerler alabilen sürekli bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesidir. Herhangi bir elemanın üyelik fonksiyonundan aldığı değer üyelik derecesi olarak adlandırılır.

Üyelik fonksiyonları değişik formlarda olabilmektedir. Genel olarak üçgen ya da trapez şeklindeki üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Fakat normalize edilmiş Gauss fonksiyonu, genelleştirilmiş çan eğrisi fonksiyonu, sigmoid fonksiyonu, ters sigmoid fonksiyonu vb. tipte fonksiyonlar da üyelik fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Örneğin, ele alınan modelde ya da veride salt rastlantısal tipte belirsizlikler mevcut ise Gauss fonksiyonu tercih edilebilir.

Bulanık küme teorisi gibi bulanık mantık da klasik ikili mantığın uzantısıdır. Bu mantık bulanık kümelerle hesap yapılmasını sağlar. Bu işlemler bulanık çıkarımın ve de bulanık kuralları denenen kuralların temelidir. Bulanık kurallar, öncül ve çıkarım bölümlerinden oluşan, belirli koşullar altında hangi sonuca varılacağını ifade eden "Eğer.....İse...." (AŞB) şeklindeki sözel ifadelerdir:

Eğer $x_1 \in A_1$ ve $x_2 \in A_2$ veİse $y \in B$

Öncül kısım bahsedilen koşulları, çıkarım kısmı ise bu koşullar sonucunda ortaya çıkan sonucu temsil eder.

Bu koşullardaki gerçek olgu ya da gözlemlerin üyelik derecelerinden kuralın belirlilik derecesi ve de varılacak sonucun bulanık değeri özel işlemlerle belirlenir. Ve tüm bulanık kural tabanının çıktısı değeri örneğin "ve" operatörü yardımıyla belirlenir. Bulanık küme teorisi ve bulanık mantık hakkında literatürde azımsanamaz sayıda yayınlanmış literatür bulunmaktadır (örn., Gottwald 1993, Zimmermann 1996, Ross 1995 vb.). Bu nedenle burada detaylara girilmeyecektir.

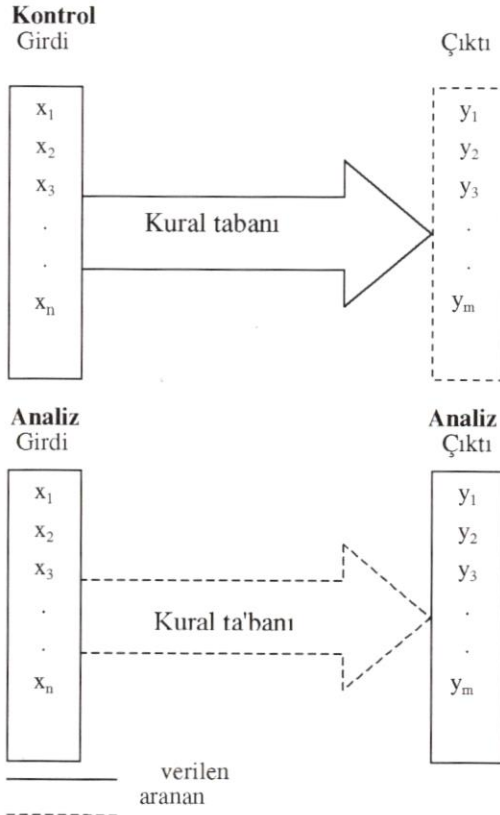
2.1 BULANIK KURAL TABANLARI İLE MODELLEME

Bulanık mantık teorisinin uygulamadaki büyük patlama endüstriyel alanda bulanık kontrol mekanizmalarının kullanılmaya başlanması ile olmuştur. Bunun nedeni, bulanık kontrollerin klasik kontrolörlere nazaran insan düşüncesini ve komutları bulanık kuralları yardımıyla daha iyi ifade edebilmesiydi. İnsan aklı aynı anda birden fazla bilgiyi işleyebilir ve eksik, belirsiz ve karmaşık olayları ele alabilme yeteneğine sahiptir. Örneğin, bir çubuğu dikey olarak tek parmak üzerinde dengede tutabilmek için karmaşık matematiksel formüller, diferansiyel denklemler yetersiz kalırken insan aklı bunu kolayca başarabilmektedir. Bu işlemi yaparken sadece beyne gönderilen düşünsel ifadeleri kullanmakta ve beyin de bu ifadeleri yardımıyla insanın kaslarına komut vererek denge bozukluklarını gidermektedir. Kontrol işleminin tersi analizdir.

Bulanık kontrol sistemlerinde kurallar hibrid bilgi tabanlarından, uzmanların tecrübelerinden, bilinen doğal kanunlardan ve teknik bilgilerden yararlanılarak belirlenir.

Analiz işlemi ise teorik analiz ve deneysel analiz olmak üzere genel anlamda iki sınıfa ayrılabilir. Teorik analiz için olayın fiziksel yapısını ve sürecini belirleyen doğal kanunlar ve kurallar yeterli derecede bilinmelidir. Bu bilgiler kullanılarak klasik analiz için parametrik modeller kurulabilir (Heunecke ve diğ. 1998). Pratikte teorik analiz için belirtilen bu koşullar sağlanamaz ya da kısmen sağlanabilir. Bu nedenle genelde deneysel analiz yoluna gidilir. Deneysel analiz, girdi-çıkı verilerinin zaman serileri kullanılarak girdi(ler) ile çıktı(lar) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi yardımıyla ele alınan bir oluşumun tanımlanmasını sağlar. Burada model eşitliği olarak regresyon fonksiyonları, ağırlık fonksiyonları, diferansiyel eşitlikler vb. kullanılabilir. Bu modeller aynı zamanda "girdi-çıkı (input-output) modelleri" ya da "kara kutu (black box)" modelleri olabilir.

Bulanık mantığa dayalı kurulan modellere genel olarak "Bulanık Çıkarım Sistemleri" adı verilir. Şekil 2'de genel bir bulanık çıkarım sisteminin fonksiyonel blokları verilmiştir.



Şekil 1: Kontrol ve analiz (Heine 1999)



Şekil 2: Bulanık çıkarım sistemi

Bulanık yöntemlerle deneysel analizde amaç girdi-çıkı verileri ile bulanık kuralların belirlenmesidir. Bu nispeten zordur, çünkü dengelenmesi gereken sadece denklemlerdeki parametreler değil aynı zamanda tüm kural tabanı da belirlenmelidir. Bu şekilde belirlenen bulanık kurallar çoğu zaman ele alınan olayı klasik matematiksel yöntemlerden daha iyi ifade eder.

Pratikte genellikle özel model kuralları bilinir fakat bunları matematiksel olarak ifade etmek güçtür. Eğer ek olarak ele alınan model parametreleri yaklaşık olarak biliniyorsa o zaman bulanık modelleme klasik yöntemlere alternatif uygun modelleme yöntemleridir.

Özetlemek gerekirse bulanık modelleme;

- Ele alınan olayın bağlantıları bilinmiyorsa,
- Ele alınan olayın bağlantıları biliniyorsa fakat matematiksel olarak ifade etmek zor ise
- ★Ele alınan olayın bağlantıları biliniyorsa ve matematiksel formüllerle ifade etmek mümkünse fakat model parametreleri belirsizlik içeriyorsa kullanılabilecek bir yöntemdir.

3. JEODEZİK UYGULAMALARDA BULANIK MANTIK

a) Taşınmaz Değerlemesi

Taşınmaz değerlemesi, jeodezicilerin içinde yer aldıkları spesifik alanlardan bir tanesidir. Fakat bir jeodezicinin bu alanda uzman olabilmesi için uzun süreli bir tecrübeye sahip olması gerekir. Bunun önemli sebeplerinden biri, taşınmazın değerlemesinin bilinen matematik denklemlerle yapılamayıdır. Sözel olarak ifade edilebilen fakat matematiksel yollar ile ifade edilmesi güç olan insan tecrübeleri bu işin temelini oluşturmaktadır.

Bulanık kurallar sözel ifadelerle çok benzediğinden taşınmaz değerlemede bu kurallarla uzman bilgi sistemi (expert-knowledge) için bir bilgi tabanı oluşturmak mümkündür. Diğer bir problem de değerlendirmede kullanılan kriterlerin çoğunun bulanık olması ve kesin değerler ile bir değerlendirmenin yapılamamasıdır. Örneğin bir taşınmazın durumunu (ulaşım bağlan-

lıları, komşuluk, meskun ve sanayi durumları vs.) "çok iyi", "iyi", "orta", "kötü" ve "çok kötü" gibi bulanık terimlerle ifade edilmesi keskin sayısal değerlerle ifade etmekten daha uygundur. Aynı şekilde, arazi ya da yapının durumu, bölgedeki suç oranlarına göre değer kayıpları, ekonomik gelişim vb. gibi kriterlerde yine bulanık kurallar ile ifade edilebilir.

b) Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veri analizi

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) kullanılan en önemli fonksiyonlardan biri de analiz fonksiyonlarıdır. Analiz fonksiyonları yardımıyla mekansal veriler analiz edilebilir ve yeni veriler üretilebilir. Özellikle çevre bilimlerinde ya da sosyolojik bilimlerde, istatistiksel ölçmelere dayanan tematik veriler alanlar gibi geometrik nesnelerle ilişkilendirilir. Bunlara örnek olarak çevresel kirlilik, özel popülasyonların dağılımı, insanların davranışları (alışveriş merkezleri, boş vakit geçirme alanları vs.) verilebilir. Genellikle rastgele seçilen örneklemeler göreceli olarak küçüktür bu nedenle araştırılan özellikler bulanık terimlerle daha iyi ifade edilebilirler. Tematik verinin bulanık terimler ile sunulması bazen CBS kullanıcısı için daha açık olabilir, çünkü ihtiyacı olmayan birçok gereksiz bilginin arasından önemli olan bilgiyi süzerek almak zorunda kalmaz. Tematik haritalarda özel bilgilerin sunulmasında, alanların farklı renklerle gösterilmesine benzer olarak, CBS'de de bilgiler aynı şekilde fakat bir farkla, değer-grupları arasındaki sınırın bulanık olarak ifade edilmesi ile sunulabilir.

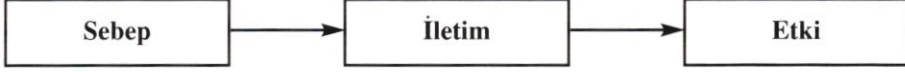
CBS'de önemli bir analiz- fonksiyonu da buffer (çevrim) analizidir. Buffer analizi ile bir nesnenin (bir nokta, çizgi ya da alan) etrafında bir alan oluşturulur. Bu yöntem, örneğin, yerleşim yeri planlamada kullanılmaktadır. Klasik buffer analizi, örneğin bir kara yolunun çevresinde 200 metrelik bir buffer alanı veya karayolunun etrafında 5 km yarıçaplı bir daire gibi keskin sınırları olan buffer alanları tanımlar. Fakat çoğu zaman gerçek durum keskin sınırlarla yeterli derecede ifade edilemez, çünkü keskin sınırlar asıl ifade etmek istediğimiz şeyleri ortaya koyamaz. Gerçekte yerleşim yeri planlamada karayolunun 199 m, 200m veya 201 m uzakta olması pek bir fark etmez. Gürültü kirliliği her yerde aynıdır ama keskin sınırlar, 200 m'den daha ötede gürültü kirliliğinin 200 m'den az uzaklıktaki bölgeye göre açıkça daha düşük olduğunu vurgular. Aynı şekilde endüstriyel alandan otoyola olan uzaklığın 4.9 km, 5 km veya 5.1 km olması da yine bir fark yaratmaz. Birkaç metre taşıma masraflarını önemli bir şekilde etkilemez. Buffer alanları için bulanık kümelerin kullanılması ile daha akıllı çözümler üretilebilir (Heine 2001).

Bulanık mantık, bulanık olan niteliklerin tanımlanması ve bulanık buffer alanlarının oluşturulması ile bilgilerin işlenmesine olanak sağlar. Örneğin yerleşim yeri planlama çalışmasında yapılacak olan buffer alanlarının örtüşmesi bulanık mantık ile yapılabilir. Buffer alanı ile üretilmiş, yerleşim yeri planı için gerekli olan örneğin uzaklık vb. gibi koşullar bulanık kurallarla ifade edilebilir. Bulanık kurallar ile buffer alanlarının örtüşmesi sağlanarak planlama için daha çok alternatifler hesaplanabilir ve sonuç olarak daha faydalı, kullanışlı kararlar alınabilir.

Tabi ki CBS'de bulanık mantık ile ele alınabilecek daha birçok problem bulunmaktadır. Burada sadece birkaç örnek verilmiştir.

c) Deformasyon analizi

Deformasyon süreçleri en iyi "etki-tepki" prensibi ile açıklanabilir. Çünkü etki-tepki modelleri uyum ya da kinematik modellerin aksine deformasyona neden olan etki büyüklüklerini de içerir. Deformasyonların modellenmesi problemi ise bu etki-tepki zincirinin parametrelerinin ve bunların arasındaki ilişkilerin belirlenmesi problemidir. Etki-tepki prensibi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Etki-tepki prensibi

Bu etki-tepki modelleri teorik ya da deneysel olarak kurulabilir. Eğer ele alınan obje basit bir yapıya sahipse genelde deformasyona sebep olan etkenler ile bunların etkileri bilinir ve matematiksel formüller ile ifade edilebilir. Ayrıca meteryalin karakteristik özellikleri bilinirse deformasyon teorik bir model ile modellenebilir. Çok karmaşık yapılar, makineler veya yapılar vb. gibi doğal sistemler ele alındığında, örneğin etki eden faktörlerin bilinmesi durumunda fakat materyal özellikleri de dahil olmak üzere sistem durumu hakkında yeterli bilgi mevcut değil ise o zaman deformasyonu teorik bir bulanık model ile modellemek mümkündür. Kurallar etki ilişkileri göz önüne alınarak uzmanlar tarafından belirlenir ve sistem parametreleri için bulanık terimler kullanılır.

Eğer etki ilişkileri ya da sistem parametreleri biliniyorsa deformasyon süreci ancak deneysel yöntemlerle modellenebilir ve bir girdi-çıkı modeli ile tanımlanabilir. Bu genelde özellikle doğal sistemler gibi çok karmaşık sistemler söz konusu olduğunda ortaya çıkar. Kurulacak bulanık model ile etki eden büyüklüklerden bu etkilerin sonucu objede meydana gelen deformasyonların belirlenmesini sağlayacak "kara-kutu" niteliğinde bir dönüşüm fonksiyonu elde edilir. Bu dönüşüm fonksiyonunu bilinen klasik yöntemlerle belirlemek, en azından istenen doğrulukta belirlemek mümkün değildir. Burada anlatılana benzer bir uygulama çalışması Heine (1999) da yer almaktadır.

d) Kestirim modelleri

Çoğu bilim dalında olduğu gibi jeodezide de birçok kestirim problemi yer almaktadır. Buradaki kestirimden kasıt gelecekteki bir $(t+1)$ anındaki değerin aranan büyüklüğün t anına kadar olan değerleri yardımıyla tahmin edilmesidir. Her zaman olmasada bazen geçmişteki değerlerle gelecekteki değerler arasındaki ilişkinin klasik matematiksel yöntem ya da modellerle ifade edilmesi mümkün olmamaktadır.

Kestirim modellerine iyi bir örnek olarak Yer dönme parametreleri (ERP) nin kestirimi verilebilir. Yer dönme parametreleri GPS, SLR, VLBI vb. gibi uzay jeodezi teknikleri yardımıyla

la belirlenir. Bu tekniklerle yapılan ölçmeler değerlendirilerek ölçmelerin yapıldığı gün için ERP hesaplanır. Ne varki, bu değerlendirme, GPS ölçüleri için 15-20 saat, VLBI ve SLR ölçüleri için ise 3-4 gün zaman almaktadır. Dolayısıyla gerçek-zamanlı uygulamalar için ölçülerden hesaplanmış bir ERP sözkonusu değildir. Diğer taraftan, presizyonlu yersel navigasyon, gezegenler arası mekik fırlatışları vb. gibi çalışmalar için presizyonlu gerçek-zamanlı ERP değerlerine ihtiyaç vardır. Ölçmelerle bunu sağlamak mümkün olmadığından yapılacak tek şey bir kestirim modeli ile en azından gelecekteki birkaç gün için yüksek doğruluklu ERP lerin kestirilmesidir. Buna ilişkin bir çalışma Akyılmaz ve Kutterer (2002)'de verilmiştir. Burada gelecekteki 1,2,...,40 ıncı güne kadar olan ERP değerlerinin kestirimi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şimdiye kadar kullanılan yöntemlerle karşılaştırılmış ve bulanık kestirim yöntemi ile diğer yöntemlere yakın ve hatta daha yüksek doğrulukta kestirim sağlandığı görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bulanık modeller jeodezideki birçok modelleme problemi için uygun çözümler olabilmektedir. Bu modeller, verinin ve/veya modelin kendi içerisindeki belirsizlikleri klasik modellerden daha iyi şekilde ele alabilmektedir. Klasik modellerle açıklanamayan sistem ilişkileri ve süreçler bulanık kurallar yardımıyla ifade edilebilmektedir. Model parametrelerindeki belirsizlikler bulanık parametreler olarak düşünülüp üyelik fonksiyonları yardımıyla tanımlanan üyelik dereceleri ile bulanık kümelerle tanımlanmaktadır.

Bulanık bir modelin klasik bir modelden daha uygun olup olmadığı temel olarak modellemenin amacına ve de süreç ilişkileri ve parametreler hakkındaki öncül bilgiler gibi başlangıç koşullarına bağlıdır.

Bulanık modelleme yöntemleri için önemli bir gelişme de uygun optimizasyon yöntemleri belirlenerek bulanık parametrelerin optimize edilmesidir. Bu amaçla, girdi-çıkı veri çiftleri yardımıyla seçilen bir performans indeksine (hata ölçütü) bağlı olarak gradyan yöntemi, Levenberg-Marquardt yöntemi, yapay sinir ağları vb. gibi yöntemler ile bulanık kümelerin parametreleri optimize edilmekte ve daha yüksek doğruluklu modeller kurulabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akyılmaz, O., Kutterer, H. Prediction of earth rotation parameters by fuzzy inference systems, (submitted to) J. Geod., Springer, 2002.
- Aliosmanoğlu, Ş., Akyılmaz, O. A comparison between statistical and fuzzy techniques in outlier detection, in Vistas for Geodesy in the New Millennium, J. Adam, K.-P. Schwarz (eds.), IAG Springer Series 2002, Vol. 125, pp. 382-387, Springer Verlag., 2002.
- Gottwald, S. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Vieweg, Braunschweig Wiesbaden, 1993.
- Heine, K. Beschreibung von Deformationsprozessen durch Volterra-und-Fuzzy-Modelle sowie Neuronale Netze. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C., Vol. 516, München, 1999.
- Heine, K. Potential applications of fuzzy methods in geodetic fields, in Carosio A. and Kutterer H (eds): First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS, 12-16 March, Switzerland, 2001.
- Heunecke, O., Pelzer, H., Welsch, W. On the Classification of Deformation Models on Identification Methods in engineering Surveying. In: Proc. Pg XXI. International Congress, Developing the Profession in a Developing World, Com. 6 Engineering Surveys, Brighton, pp230-245, 1998.
- Konak, H., Dilaver, A. Jeodezik ağlarda uyuşumsuz ölçülerin yerleştirilmesinde kullanılan yöntemlerin davranışları II, HKMO dergisi, İstanbul, 1998.
- Kutterer, H., Akyılmaz, O. Soft modelling of possible blunders in Geodetic Networks, Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer series, 9-11 September 2002 (basılmadı)
- Ross, T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., New York 1995.
- Sun, W. A new method for localisation of gross errors. Survey Review, 32, 252 : 344-358, 1994.
- Zadeh, L. A. Fuzzy Sets. In: Information and Control 8, pp. 338-353, 1965.
- Zimmermann, H. J. Fuzzy Set Theory –and its Applications. Boston, 1996.