

TOPRAK EROZYONU ÇALIŞMALARINDA BULANIK MANTIK UYGULAMALARI

Tuğrul YAKUPOĞLU Nutullah ÖZDEMİR İmanverdi EKBERLİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, SAMSUN

Sorumlu yazar: nutullah@omu.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2008

Kabul Tarihi: 20.06.2008

ÖZET: Erozyon arazi degradasyonuna neden faktörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir bir tarımsal faaliyet için erozyonun doğru bir şekilde tahminlenmesi ve erozyona karşı etkin önlemlerin alınması gerekmektedir. Toprakların aşınabilirliklerini veya toprak kayıp miktarını belirlemek amacıyla birçok model ve yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada toprak erozyonunu tahminlemede bulanık mantık (fuzzy logic) temelli modellerin kullanımı değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle iki değerli mantık tanımlanmış ve iki değerli klasik mantıktan bulanık mantığa geçiş süreci irdelenmiştir. Son kısmında ise konuya örnek olan bir çalışmaya yer verilmiştir. Bahsi geçen bu çalışmanın ve konuyla ilgili diğer birçok çalışmanın sonuçlarına göre, bulanık mantık temelli oluşturulan modeller toprak erozyonunu tahminlemede klasik mantık temelli oluşturulan modellerden daha başarılıdır ve uygulamada daha az değişkene ihtiyaç gösterirler.

Anahtar Kelimeler: Erozyon, Bulanık mantık, Modelleme, Toprak

FUZZY LOGIC APPLICATIONS IN SOIL EROSION STUDIES

ABSTRACT: It is known that erosion is a leading factor in land degradation. Therefore, erosion must be correctly estimated and effective precautions must be taken for a sustainable agricultural activity. Hence, many models and methods have been developed for estimation of soil erodibility or calculating of quantity of the soil loss. In the present paper, using of fuzzy logic based models were examined in soil erosion prediction studies. For this goal, binary logic was described and then the transition from the classical logic to fuzzy logic has been studied. In the last section of the paper, a conducted research project is presented as an example of this matter. According to results of the said study and similar studies, fuzzy logic based models are more successful than classical logic based models in estimation of soil erosion; and they require fewer variables in application.

Key Words: Erosion, Fuzzy logic, Modeling, Soil

1. GİRİŞ

Tarımsal sürdürülebilirlik ve çevre korunmasına etkileri nedeniyle toprak erozyonu, Türkiye'nin birçok bölgesi için tehdit oluşturmaktadır. Bu sorununun çözümü ve etkin toprak koruma önlemlerinin alınabilmesi için güvenilir bilgilere ihtiyaç vardır (Hacıyakupoğlu ve Ertek, 2002). Karmaşık bir neden sonuç ilişkisinin şekillendirdiği problemin çözümünde günümüz koşullarında etkili bütün verilerin değerlendirilmesi üzerinde durulmaktadır. Fiziksel kökenli erozyon süreçlerinin etkilerini tahmin etmenin en iyi yolu, mevcut bilgileri temel alan diyagramların, kartların, eşitliklerin ya da formüllerin oluşturulmasıdır. Bu konuda geçerli olan görüş model çözümler olup bu çözümler günümüz koşullarında giderek komplikeleşmekte ve bilgisayarlara bağımlı duruma gelmektedirler. Matematiksel modelin başarısı, modelin sanal ortamda tahminlediği erozyon miktarının gerçek dünyadaki erozyon miktarına yakın olmasıyla ve kolay uygulanabilirliğiyle ölçülmektedir. Ancak henüz hiçbir model, üzerinde tartışmaya yer vermeyecek bir ölçekte kesinlik kazanmamıştır. Bu konuda disiplinler arası ve bütünlük çalışmaları gruplarının oluşturulmasına ve araştırmaların bu şekilde yürütülmesine ihtiyaç vardır (Hacısalıhoğlu ve ark., 2002; Özdemir, 2002). Gelişen teknolojiyle birlikte, mevcut erozyon modellerinin çoğunun aslında erozyonu doğru tahminlemekten uzak olduğu daha iyi anlaşılmıştır. Diğer taraftan mevcut modellerin çoğunun tahminlemeyi kesine yakın yapabilmesi için

birçok değişkene ihtiyaç duyması ve bu değişkenlerin sağlanmasının pratik olmayışı da sorun oluşturmaktadır. Bu durum, erozyonu tahmin etmede yeni yaklaşımların ve modellerin geliştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır. Geliştirilen modellerde yaygın olarak bulanık mantık (fuzzy logic) yaklaşımı üzerinde durulmaktadır. Araştırma sonuçları (Lagacherie ve ark., 1997; Baja ve ark., 2002; Tran ve ark., 2002; Cohen ve ark., 2005; Kohli ve Khara, 2006) özellikle havza boyutlu alanlardaki erozyon miktarının tahminlenmesinde, bulanık mantık temelli modellerin kullanımının klasik mantık (Boolean mantığı) temelli modellere göre daha kesin sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ayrıca bu yeni modeller coğrafi bilgi sistemi (GIS) ile desteklendiğinde daha uygulanabilir olmaktadır (Kohli ve Khara, 2006).

Bu çalışmanın amacı, bulanık mantık yaklaşımı ve bu yaklaşımın toprak erozyonunu tahminlemede kullanılabilirliğinin irdelenmesidir.

2. BULANIK MANTIK ve BULANIK KÜME TEORİSİ

2.1. Bulanık Mantığın Gelişimi ve Tanımı

Bulanık sistemler, orijini antik Yunan felsefesine dayanan klasik küme üyeliği ve mantık düşüncelerine bir alternatiflerdir. Bilinen matematik modeller, geniş alanlardaki başarılarını, Aristoteles ve ondan önce gelmiş düşünürlere borçludur. Bu düşünürler özlü bir mantık teorisi tasarlamışlar ve bunu *düşünce yasaları* olarak adlandırmışlardır. Bu kanunlara göre bir şey

- 1) ya doğru ya da yanlış olmalıdır
- 2) hem doğru hem de yanlış olamaz. (Korner,1967; Brule, 1985).

Fakat Heraclitus, bir şeyin eş zamanlı olarak, hem doğru hem de yanlış olabileceği önermesini ileri sürmüştür. Doğru ve yanlış arasındaki gri alanı gösteren ilk filozof Plato olmuş ve o zamana kadarki düşünce sistemini altüst etmiştir. Daha sonraki filozoflar, özellikle Hegel, Plato'nun düşüncelerini tekrarlayarak geliştirmişlerdir (McBartney ve Odeh, 1997). Aristoteles'in iki değerli mantığına alternatif olabilecek ilk sistematik öneriyi, bu yüzyılın başında Lukaszewicz getirmiştir. Üç değerli bir mantık tanımlaması yapan Lukaszewicz, doğru ile yanlış arasındaki olabirliğe atfettiği üçüncü dereceye, sayısal bir değer atamıştır. Sonuçta, modern matematikteki bütün bir notasyon ve aksiyomatik sistemin temelleri bu şekilde atılmıştır (Lejewski, 1967). Zadeh (1965) uzantı yoluyla bulanık kümeler teorisini ve bulanık mantığı matematikte tanımlayan "Fuzzy Sets" (Bulanık Kümeler) isimli bir çalışma yayınlamıştır. Gerçek sayıların $[0, 1]$ değeri üzerinden üyelik fonksiyonunu belirlemeye olanak tanıyan bu teori, mantıksal hesaplamalar için yeni işlemler geliştirilmesini gerektirmiştir (Akyürek ve Okalp, 2006). Bu şekilde ortaya çıkan bulanık mantık yaklaşımı, dış dünyadan gelen verilerin daha uygun bir şekilde değerlendirilebilmesini olanaklı duruma getirmiştir.

Günümüzde bu alternatif mantığın iki tanımı yapılmaktadır. Özeld, dar anlamıyla bulanık mantık, yaklaşık akıl yürütmeyi şekillendirmeyi amaçlayan bir mantıksal sistemdir. Bu anlamda, bulanık mantık çok değerli mantığın bir uzantısı olsa da gündemi klasik çok değerli sistemlerden oldukça farklıdır. Geniş anlamda bulanık mantık, bulanık küme teorisini de kapsar ve dar anlamıyla bulanık mantığı da içerir. Günümüzde bulanık mantık denildiğinde anlaşılan geniş anlamda bulanık mantıktır (Baykal ve Beyan, 2004).

2.2. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık kümelerde kullanılan mantıksal işleyiş şekli bulanık mantıktır (Klein, 1999). Bulanık küme teorisi, soyut küme teorisinin bir genelleştirmesidir. Yani bulanık küme teorisindeki tanımlar, teoremler ve ispatlar bulanık olmayan kümeler için de daima doğrudur. Bir bulanık kümede en az bir eleman 1 üyelik değerine sahipse (ya da yüksekliği 1 ise) bu bulanık küme "normal bulanık küme" denir. Kümenin herhangi bir elemanının alabileceği en büyük üyelik değeri o kümenin yüksekliğidir (Özkan, 2001).

Banaı (1993)'e göre Boolean mantığı ve bulanık kümeler arasında temelde üç önemli fark vardır:

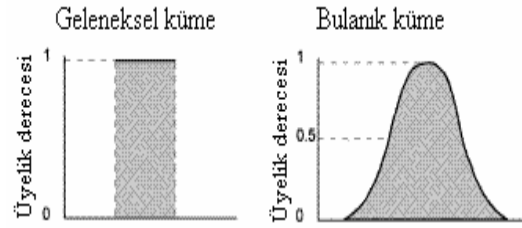
- 1) Bir bulanık küme, kümedeki objenin sınırlarını tanımlamada esnekliğe izin verirken Boolean tekniğinde ise kesin bir sınır tanımlanır.
- 2) Boolean tekniğinde yalnızca iki mümkün olay vardır. Buna göre bir eleman ya kümenin

içindedir ya da dışındadır. Bulanık kümede ise ideal noktaya yakınlığın derecesi dikkate alınır.

- 3) Boolean mantığı, bulanık kümenin tersine, bir kümedeki bir elemanın kısmi üyeliğini dikkate almaz.

2.2.1. Bulanık Kümede Üyelik Fonksiyonları

Geleneksel kümeler ile bulanık kümeler arasındaki en temel fark üyelik fonksiyonlarıdır. Geleneksel ve bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının alabileceği değerlerin gösterimi Şekil 1'deki gibidir. Şekil 1'in incelenmesinden de anlaşılacağı üzere geleneksel bir küme sadece bir üyelik fonksiyonu ile nitelenebilirken, bulanık bir küme teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelenebilir (Zadeh, 1984).



Şekil 1. Geleneksel ve bulanık kümede tanımlanan bir objenin üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonlarının uygulama ile örtüşen ve doğru bir şekilde belirlenmesi, bulanık küme teorisinin esasını oluşturmaktadır. Bu nedenle, üyelik fonksiyonları bir kez belirlendikten sonra, bulanık küme teorisinde bulanık olan herhangi bir şey kalmadığı söylenir. Bir sistemin işleyişi veya bir nesne için "ne kadar" veya "hangi noktadan sonra" gibi soruların yanıtları ile bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları oluşturulmaya çalışılır. Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunu belirleme süreci, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel olarak da yapılabilir (Özkan, 2003).

Genelde klasik bir X kümesinin elemanları $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ şeklinde gösterilirken, bunun bulanık hali

$$X = \left\{ \frac{\ddot{u}(x_1)}{x_1} + \frac{\ddot{u}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\ddot{u}(x_i)}{x_i} \right\}$$

şeklinde gösterilir. Bulanık kümenin sürekli olması

durumunda ise $x = \left\{ \int \frac{\ddot{u}(x)}{x} \right\}$ olur. Her iki

notasyonda da bölüm işareti asla bölmeyi göstermez, sadece alttaki gerçeğe yani küme öğelerine üstteki üyelik derecesinin karşılık geldiğini belirtir. Yukarıdaki denklemlerin ilkinde toplam işareti de alışılageldiğimiz toplamı değil, küme öğelerinin topluluğunu ifade etmek içindir. İkinci notasyonda integral işareti de asla bildiğimiz integral anlamına gelmez, yine topluluğu gösteren bir işaret olarak algılanmalıdır (Şen, 2001).

Olasılığa dayananlar başta olmak üzere kelime bilgisiyle ilişkili ifadelerin birçoğu algılama temellidir. Algılama organlarının yeteneği sınırlıdır ve beyin detayları çözmede, bilgi toplamada, algılamada

doğası gereği sınırlı bir kapasiteye sahiptir (Zadeh, 2004). Bulanık bir kümede, belirli bir niceliği niteleyen semantik yaklaşımlar ya da sözel ifadeler (düşük, orta, yüksek... gibi), kümedeki üyeliğin derecesine bağlı olarak (örneğin erozyonun derecesini tanımlarken) kullanılırlar (Metternicht, 1997; Metternicht ve Gonzalez, 2005). Bulanık mantığın sözel değişkenlerin kullanımına izin vermesi diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığıdır. Değişken değeri olarak, bir dildeki kelimeleri alan değişkene sözel değişken denir. Burada sözü edilen kelimeler, geleneksel küme teorisinde sınır koşulunu net olarak ifade edemeyen kelimelerdir. Bazı kelimelerin anlamı, karmaşıklık, subjektiflik veya belirsizlik gösterebildiği için sözel bir değişkenin bulanık kümelerle dayanarak tanımlanması gerekir. Sözel değişkenler, net olarak ifade edilemeyen kavramların yaklaşık olarak nitelenebilmesini sağlar. Böylece sözel değişkenler, sözel ifadeleri matematiksel olarak ifade edebilmek için bulanık kümelerin kullanımını gerektiren bir araç haline gelirler. Bulanık kümelerde sözel ifadeleri oluştururken sıklıkla kullanılan kurallardan birisi de EĞER-O HALDE kurallarıdır (Eğer bitki örtüsü zayıf ise o halde erozyon riski yüksektir... gibi). Bulanık EĞER-O HALDE kuralları veya bulanık algoritmalar, matematiksel olarak bulanık bağıntılara denktir. Bulanık EĞER-O HALDE kuralına dayanarak bulanık akıl yürütme süreci (bulanık ortamda çıkarım yapma) ise matematiksel olarak bir bileşke işlemidir (Özkan, 2003).

3. SİSTEM KAVRAMI VE BULANIK SİSTEMİN GENEL YAPISI

3.1. Sistemin Tanımı

Genel sınırları ile sistem bir veya daha çok amaca veya sonuca ulaşmak üzere aralarında ilişkiler olan fiziksel veya kavramsal birden çok bileşenin oluşturduğu bütündür. Bu tanımlamanın içerdiği dört unsur aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Baykal ve Beyan, 2004).

- 1) birden çok bileşenin gerekliliği,
- 2) bileşenler arası ilişkiler,
- 3) bileşenlerin oluşturduğu bir bütün,
- 4) bütünün amacı

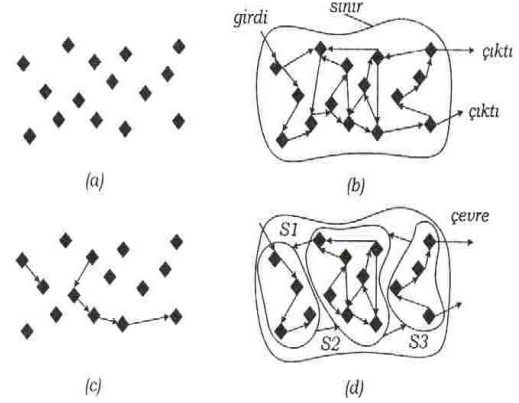
Sistemi oluşturan alt bölümlere ise alt sistemler denir. Sistemin tanımının görsel ifadesi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'nin incelenmesinden sonra,

- a) aralarında ilişkiler bulunmayan eleman kümesinin sistem olmadığı,
- b) birkaç elemanı arasında ilişki bulunan bir kümenin sistem tanımlanmasına uymadığı,
- c) sistemin, elemanları arasında pek çok ilişki olan ve sınırları, girdi ve çıktıları olan bir yapı olduğu ve
- d) bir sistemin birden fazla alt sistemlerinin (S1, S2, S3 gibi) olabileceği

söylenbilir.

Ele alınan sistemlerin tamamen dışında kalan her şey sistemin çevresini oluşturur. Çevre ile karşılıklı

etkileşme sistemin davranışını etkiler. Sistemin dışında meydana gelen, onu etkileyen ve sistemin dışında onlardan doğrudan etkilenmeyen etkilere sistemin girdileri denir. Dış etki veya girdilerin etkisi ile sistemin durumunda meydana gelen değişikliklere veya sistemi tanımlayan parametrelerdeki değişimler ise sistemin çıktıları şeklinde isimlendirilir.

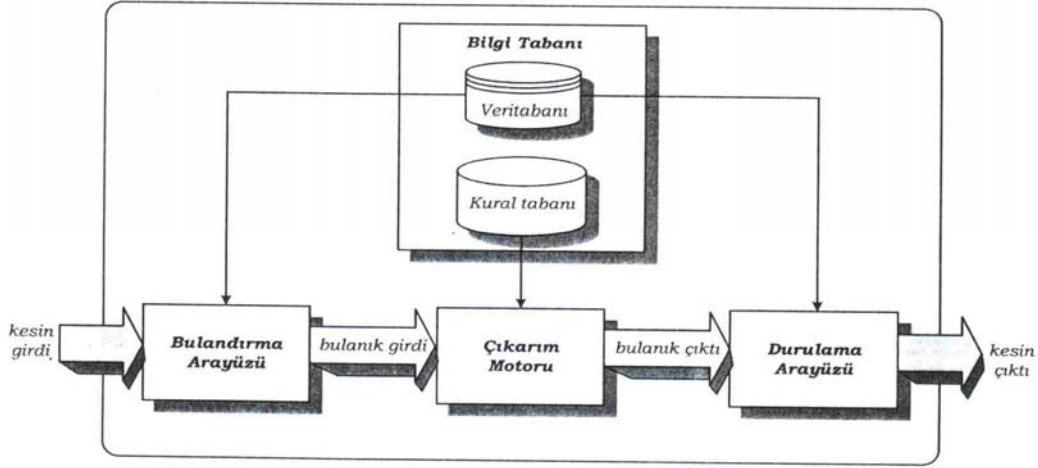


Şekil 2. Sistemin tanımı

3.2. Bulanık Sistemin Genel Yapısı

Bulanık sistemin genel yapısı Şekil 3'de gösterildiği gibidir. Bu şekilde görülen her bir ünitenin kendine özgü görevi vardır. Bulandırma arayüzünün görevi kesin girdi değerlerini işleyerek bulanık değerlere çevirmektir. Bu amaçla sistem girdi değerlerini alır, girdi değişken aralığının uygun evrensel kümeye dönüştürülmesini sağlar ve girdi verilerini uygun sözel değerlere (bulanık kümeler) dönüştürür. Çıkarım motoru (karar verme mantığı) bulanık kavramlara dayalı insan karar verme işlemi taklit eder. Ayrıca semantik kuralları kullanan bulanık denetim etkinliklerini uygular. Çıkarım motoru akıl yürütme işlemi uygulamaktadır. Bu uygulamayı bulanık çıktıları elde etmek üzere yapmaktadır. Bilgi tabanı uygulama alanı hedeflerinin bilgisini içerir, kural ve üyelik fonksiyonlarını tanımlar. Bilgi tabanı bir veri tabanı ve sözel kural tabanından oluşur. Veri tabanı denetim kuralları ve veri işlemede kullanılan gerekli tanımları içerir. Sözel kural tabanı, stratejiyi ve kuralları sözel ifadeler aracılığı ile tanımlamaktadır. Kural tabanı, sözel olarak ilgili sistemin modellenmiş hali olarak görülebilir. Durulama arayüzünün görevi ise bulanık çıktı değerlerini kesin değerlere çevirmektir (Tayfur ve ark., 2003).

Bulanık kümeler ya da bulanık mantığı ve buna karşılık gelen matematiksel çatıyı kullanan statik ya da dinamik sistemler "bulanık sistemler" olarak tanımlanır. Bu sistemler, bulanık mantıkla çıkarım ve karar vermeye dayalı çalışma ilkeleri olan mekanik, elektriksel ve benzeri sistemlerdir. Bulanık bir sistem tasarlamak, dijital bir platformda ve esnek yöntemlerle bulanık mantık çıkarım ve karar verme süreci sağlayacak bir sistem geliştirmeye karşılık gelmektedir. Bulanık sistemler EĞER-O HALDE şeklinde kurallarla tanımlanıyorsa *kural tabanlı bulanık sistemler* olarak adlandırılırlar.



Şekil 3. Bulanık sistemin genel yapısı

4. MODEL KAVRAMI

Sistemler tam anlamıyla kavrayabileceğimiz ya da ulaşabileceğimiz sınırlarımızın çok ötesinde karmaşıklığa sahiptir. Bundan dolayı modeller kullanarak gerçek sistemler incelenebilir ve anlaşılabilir hale getirilmiş olur. Örneğin Qualitative Approach erozyon modeli (van Zuidam,1986) bir havzada meydana gelen toprak kayıplarına hangi faktörün ne ölçüde etki ettiğini anlamamıza yardımcı olabilir.

Model kavramı, bilimsel anlayıştaki önemli unsurlardan biridir. Model, sistem bütünü olarak görülen doğada gerçekleşen olayların belirli bir yönünün çeşitli yöntemlerle ve çeşitli düzeylerde minyatürleştirilmesi veya karikatürleştirilmesi olarak da ifade edilebilir. Süreç ve olguların manipüle edilebilmesi ve uygulamaya sokulmasında model yaklaşımları kritik önem taşımaktadır. Bir sistem bilgisayarlarda modellenirken, sistemin model ve özelliklerini tanımlayan fonksiyonlara, veri madenciliği ile elde edilen deneysel verilere ya da uzman personelin sözel ve nitel terimlerle ifade ettiği bilgilere dayandırılabilir. Buna göre aşağıdaki gibi üç tip model paradigmasından bahsedilebilir:

- 1) integral-diferansiyel paradigması
- 2) veri paradigması
- 3) nitel paradigma

İntegral-diferansiyel paradigması denilen model yaklaşımında, sistemin süreç ve özelliklerine ilişkin temel (fiziksel, kimyasal vb) bilgiler, diferansiyel ya da integral eşitlikler olarak modellenmektedir. Veri paradigması, yapay sinir ağları yaklaşımında gibi, bilgi ve biçimsel bağlantılar elde etmek için veri madenciliği ile deneysel verinin işlenmesine dayanır. Nitel paradigma ise sözel ve nitel olarak ifade edilen uzman bilgisine dayanarak yapılan modellemedir. Bu modeller bulanık sistemler olarak kabul edilirler (Baykal ve Beyan, 2004).

Bulanık modelleme yeni bir modelleme paradigmasıdır. Sayısal veriyi kullanabilen klasik kara kutu modelleme tekniklerine göre bulanık model yaklaşımının daha başarılı olması, nicel ve nitel bilgiyi

eşzamanlı olarak kullanabilme yeteneğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Mendel, 1995).

5. EROZYON TAHMİN MODELİ

Bulanık mantık algoritması, toprak erozyonu çalışmalarında geleneksel erozyon tahmin modellerini geliştirmek ya da erozyon sınıflarını oluşturmak için kullanılabilir (Tayfur ve ark., 2003). Erozyon tahminine ilişkin geleneksel çalışmalarda çoğunlukla havza bazlı Üniversal Toprak Kayıp Denklemi (USLE) esas alınmaktadır. Mitra ve arkadaşlarının (1998) "Büyük bir havzadaki erozyonun tahmininde bulanık mantık uygulamaları" başlıklı çalışmaları bu konuya iyi bir örnek oluşturmaktadır.

Söz konusu çalışmada, geniş bir havzadaki toprak erozyonunu tahminlemek için bulanık kural tabanlı sistemi esas alan iki farklı model (İki Değişkenli Model, İDM ve Üç Değişkenli Model, ÜDM) oluşturulması üzerinde durulmaktadır. Oluşturulan modellerle elde edilen sonuçlar USLE'den elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak yorumlanmıştır. Verilerin formatı ve kaynağı Çizelge 1'de verilmiştir.

İDM için bulanık kural tabanı, eğim açısı ve arazi kullanım oranından meydana gelmektedir. Arazi kullanım oranı ormanlık alanların mera alanlarına oranlanması olarak tanımlanmıştır (O/M). ÜDM için bulanık kural tabanı, eğim açısı (FLS), arazi örtüsü (FLC) ve toprak erodibilite faktörü (FK)'nden oluşmaktadır. 30 m çözünürlüğü olan bu üç değişken, yeniden sınıflandırma stratejileri kullanılarak dijital ortamda bulandırılmıştır.

5.1. Bulanık Kural Tabanının Oluşturulması

Modellerin geliştirilmesi için her bir girdi değişkenin kodlanması, bulandırılması ve daha sonra karar verme mekanizması için bulanık sonuç çıkarma mühendisliği içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Mitra ve çalışma arkadaşları (1998) bulanık mantık temelli sistem için kural yapısını Wang ve ark. (1990) ve Burrough (1993)'den benimsenip modifiye edilmesini önermişlerdir.

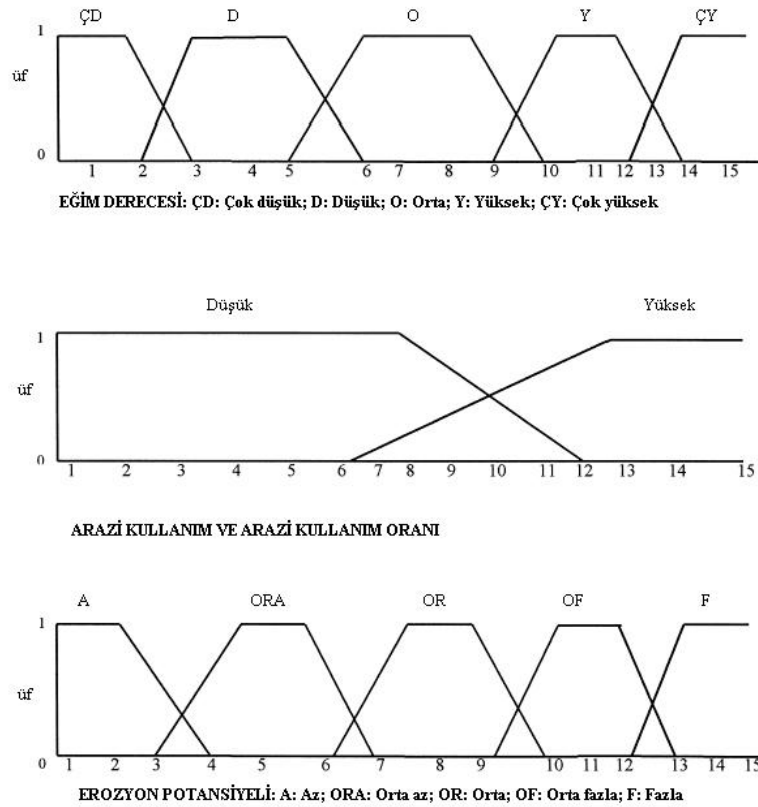
Tablo 1. Örnek çalışmada kullanılan verilerin kaynağının tanımlanması

Değişkenler	Ölçek/ Çözünürlük	Format	Kaynak	Yorumlamalar
LC	1:24000	Mylar	TVA	Oran hesaplandı/grid
LC	1:250000	Mylar	USGS	Oran hesaplandı/grid
C faktörü kategorileri	30m	Dijital	U of A	15 kategoride sınıflandırıldı
K faktörü kategorileri	30m	Dijital	U of A	8 kategoride sınıflandırıldı
LULC	30m	Dijital	U of A	12 kategoride sınıflandırıldı
LS faktörü	30m	Dijital	U of A	15 kategoride sınıflandırıldı
Eğim (°) haritalar	1:24000 ve 1:250000	Paper	USGS	Topoğrafik haritadan hesaplandı
Eğim (°) kategoriler	30m	Dijital	U of A	15 kategoride sınıflandırıldı

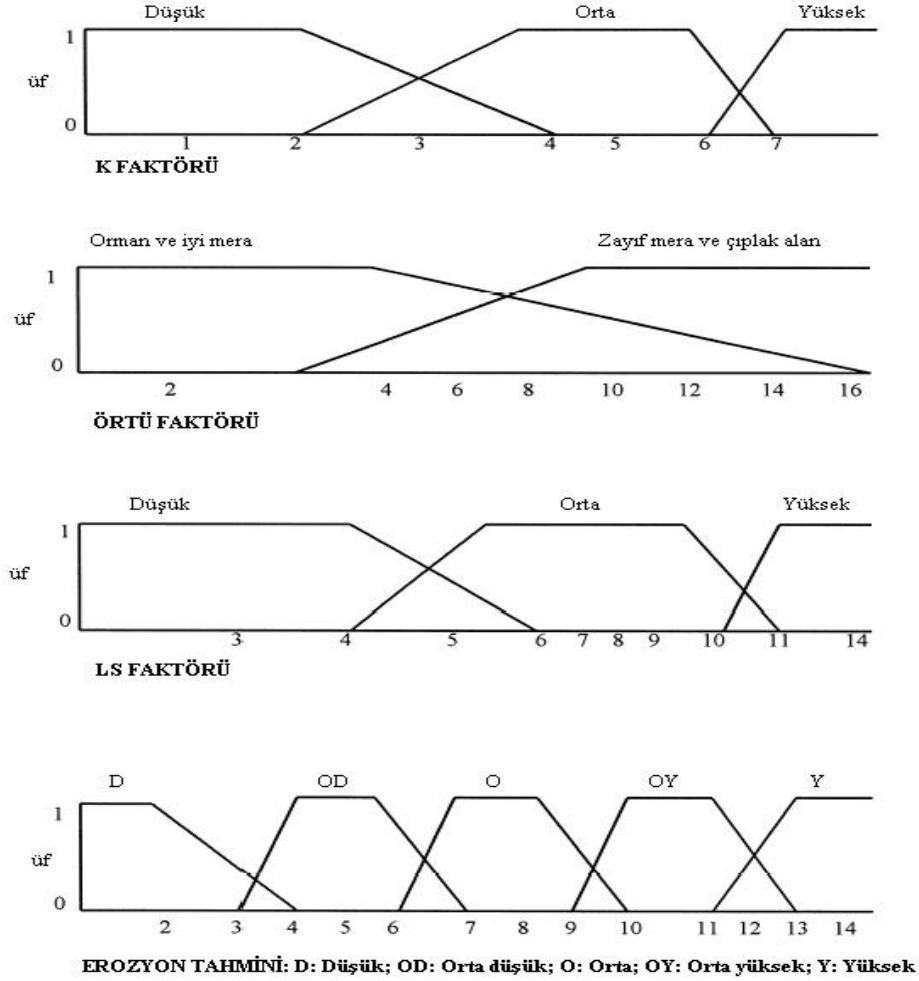
TVA: Tennessee Valley Authority; USGS: US Geological Survey; U of A: University of Arkansas at Fayetteville

Modelde eğim ve toprak erozyonu arasındaki ilişkiler kurulmuş ve Bosworth ve Foster (1972)'den uyarlanan kural tabanı içerisinde değerlendirilmiştir. En iyi

yazılım performansının sağlanması amacıyla yamuk şekilli üyelik fonksiyonları seçilmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5).



Şekil 4. Erozyon miktarının tahmininde kullanılan İDM için bulanık kategorilerin açıklanmasında kullanılan bulanık kümeler diyagramı (üf: Üyelik fonksiyonu 0-1 arasında değerler almaktadır)



Şekil 5. Erozyon miktarının tahmininde kullanılan ÜDM için bulanık kategorilerin açıklanmasında kullanılan bulanık kümeler diyagramı (üf: Üyelik fonksiyonu 0-1 arasında değerler almaktadır)

5.1.1. İki Değişkenli Model (İDM)

İki değişkenli modelde girdiler eğim ve arazi kullanım oranıdır. Parselde (30 m'lik gridle) hesaplanan eğim değişkenine ait değerler 0-87 arasında değişmektedir. Eğimler dijital ortamda GRASS 4.0 (Westervelt ve ark., 1989) kullanılarak hesaplanmaktadır (Çizelge 2).

Arazi kullanımına ilişkin veriler sayısal olmadığı için değişken olarak bulandırılmaları zordur. Bu nedenle havza içerisinde arazi kullanımındaki değişimin sürekliliğini temsil etmek üzere sayısal bir indeks geliştirilmiştir. Havzada, orman, mera ve bitkisel üretim yapılan alanlar ana arazi kullanım kategorileri olarak tanımlanmaktadır. O/M değerleri, bulanık sonuç çıkarma sisteminde, her bir grid içerisinde, iki ana arazi kullanım örneği yerleştirilerek tanımlanır. Tanımlama sonuçları O/M'nin sıfır ile sonsuz arasında değerler alabileceğini göstermektedir. , ancak bu sayısal aralık, IDRISI 4.1 (Eastman, 1993) ve raster tabanlı GIS' tipi programlarda kabul edilemezdir. Tipik çalışmalarda bu aralığın 1-16 arasında tutulduğu dikkate alınmalıdır.

Çizelge 2. İDM için yeniden sınıflandırılan eğim ve arazi örtüsünün tanımlanan kategorileri.

Bulanık kategori	Eğim açısı (°)	Arazi örtüsü
1	1-5	Yaprak döken orman
2	6-10	Karışık orman
3	11-15	Yaprak dökmeyen orman
4	16-20	İyi mera
5	21-25	Orta mera
6	26-30	Zayıf mera
7	31-35	Ağaçlı mera
8	36-41	Aşırı otlatılmış mera
9	42-47	Çift sıra ürün
10	48-54	Sıra ürün
11	55-61	
12	62-68	
13	69-75	
14	76-81	Çıplak toprak
15	82-87	

5.1.2. Üç Değişkenli Model (ÜDM)

Üç değişkenli modellerde girdi için veri kümeleri içerisindeki bulanıklığın oluşturulmasında veriler birkaç kategoride yeniden sınıflandırılmıştır. Bu girdiler FK, FLS ve FC'yi içerir. Sınıflandırmada K faktörü 8, LS faktörü 15 ve örtü faktörü 11 kategoriye ayrılmaktadır (Çizelge 3). K faktörü, ilişkili toprak haritalama ünitelerinin yeniden sınıflandırılması yoluyla elde edilmektedir. Her bir hücredeki (30 m'lik) C faktörü, toprak haritalama ünitesindeki alansal örtüye göre ağırlıklı olarak belirlenmektedir. LS değerleri 1-10488 arasında kategorilere ayrılmıştır. Bu veriler minimum bulanıklıktadır ve eşit olmayan aralıklardaki 15 kategoride yeniden sınıflandırılabilir.

5.2. Bulanık Sonuç Çıkarma Motoru

Bulanık sonuç çıkarımında Numatra (1991) tarafından geliştirilen bulanık sonuç çıkarma motoru veya bunun modifiye edilmesi ile oluşturulan tekniklerden yararlanılmaktadır. Söz konusu yazılım tekniği,

- 1) hafızada depolanan yarayıslı veriler için bütün bir kural tabanı açılması,
- 2) verilerin gridlere ayrılması,
- 3) yazılımın bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarını ve bulanık kuralları ataması,
- 4) çıktı olarak toprak erozyonunun tahminlenmesi,
- 5) havzadaki bütün hücreler işlenene kadar ikinci adıma geri dönülmesi

şeklinde çalışmaktadır. Buradan elde edilen çıktılar IDRISI programında geliştirildikten sonra (Çizelge 4 ve Çizelge 5) GIS işlemcileri aracılığı ile erozyonun uzamsal dağılımını gösteren haritalar elde edilmektedir. Örneğin bulandırma mekanizmasından geçen verilerden sonra İDM'nin çıktı dosyasını oluşturan Çizelge 4'e göre eğim açısının çok küçük olduğu arazi üzerinde yayılım gösteren mera toprağında tahminlenen toprak erozyonu sözel olarak "düşük" şeklinde ifade edilirken eğim açısının çok büyük olduğu araziler üzerinde yer alan mera toprağında ise tahminlenen toprak erozyonu "yüksek" şeklinde belirtilebilir. Çizelge 5'de ise ÜDM parametrelerine ait verilerin bulanık çıkarım motorundan çıkması sonucunda elde edilen sözel değerlendirme skalası mevcuttur. Çizelge 5'e göre toprak aşınım faktörü (K)'nin yüksek ve eğim uzunluğunun fazla olduğu orman toprağında toprak erozyonu "orta yüksek" olarak tahminlenebilir. Aynı K faktörü ve eğim uzunluğu sınıfında yer alan mera toprağında ise tahminlenen toprak erozyonu sınıfı "yüksek" olarak bulunur.

5.3. İDM ve ÜDM ile Elde Edilen Sonuçların USLE'den Elde Edilen Sonuçlarla Karşılaştırılması

Tahmin edilen değerlerin geçerlilik kontrolü için elde edilen sonuçların standart yöntemlerle ile karşılaştırılması gerekir. Bu doğrultuda bulanık

mantık temelli modeller olan İDM ve ÜDM kullanılarak havza içerisinde tahminlenen erozyon alanları, USLE ile yapılan tahminlemelerle karşılaştırılabilir. Mitra ve çalışma arkadaşlarının (1998) verileri esas alındığında üç modelden elde

Çizelge 3. ÜDM için LS, K ve LC faktörlerinin tanımlanan kategorileri.

Bulanık kategori	FLS	FK	FLC
1	1-97	0.15	Yaprak döken orman
2	111-262	0.17	Karışık orman
3	273-480	0.20	Yaprak dökmeyen orman, iyi mera
4	485-731	0.24	Orta mera, iyi mera (f, t, g)
5	733-988	0.24	Ulaşım alanı, çalılık, zayıf mera; zayıf mera (g)
6	999-1338	0.32	Karışık ve imar alanı
7	1342-1645	0.37	Ağaçlı mera, orta mera (g)
8	164-1993	0.43	Aşırı otlatma (esleme alanı)
9	2010-2385		Çift ürün
10	2411-2793		Sıra ürün, çiftlik işlemleri
11	2812-3241		Değişik alanlar (çıplak toprak)
12	3254-3769		
13	3800-4425		
14	4451-5112		
15	5114-10,488		

Semboller; f : gübreleme, t: teras yapma, g: oyuntu oluşumu

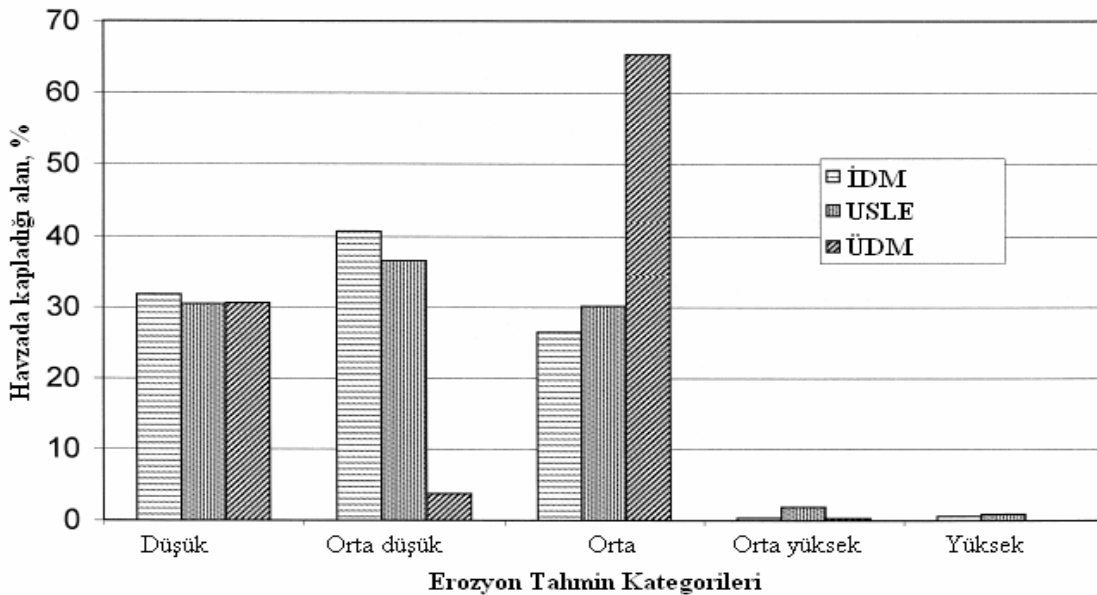
Çizelge 4. Toprak erozyonunun İDM ile tahminlenmesi için kural tabanları

Eğim açısı	Girdi değişkenleri		Çıktı değişkenleri	
	Arazi kullanımı		Tahminlenen toprak erozyonu	
Çok küçük	Mera		Düşük	
Çok küçük	Orman		Düşük	
Küçük	Mera		Orta	
Küçük	Orman		Düşük	
Orta	Mera		Orta yüksek	
Orta	Orman		Düşük	
Büyük	Mera		Orta yüksek	
Büyük	Orman		Orta düşük	
Çok büyük	Mera		Yüksek	
Çok büyük	Orman		Orta yüksek	

edilen sonuçlar Şekil 6’da gösterildiği gibi beş kategoride (1.düşük, 2.orta düşük, 3.orta, 4.orta yüksek ve 5.yüksek) değerlendirilebilir. GRASS isimli GIS programı kullanılarak elde edilen İDM ve ÜDM verileri ile USLE denklemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki Şekil 6’da görülmektedir. Şekil 6’da da görüleceği üzere girdi olarak arazi kullanımı ve eğimi kullanan İDM, beş kategorinin hepsinde, havzadaki erozyonu USLE’nin tahminine benzer şekilde tahminlemiştir. İDM ve USLE’nin sonuçlarının örtüşmekte, ÜDM’nin ise orta düşük ve orta derecede erozyonda USLE’den çok farklı değerler verdiğini göstermektedir. İDM ile USLE’nin sonuçlarının örtüşmesi, her iki modelin de girdi olarak aynı basit değişkenleri kullanmasına ve bu girdilerin doğasındaki bulanıklığa atfedilmiştir. Genel olarak bulanık mantık yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar USLE modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar ile alansal bakımından uyumludur. Bu açıdan özellikle İDM ile USLE arasında kuvvetli derecede korelasyon görülmektedir. Özellikle bir alanın etüdü (survey) ile ilgili çalışmalarda İDM ekonomik kazançlar sağlayabilmektedir. Birkaç değişken kullanan bu model daima ucuz olmaktadır. Dahası İDM için girdi değişkenleri topoğrafik haritalardan, alansal fotoğraflardan ve/veya site verilerinden kolaylıkla edinilebilmektedir.

Çizelge 5. Toprak erozyonunun ÜDM ile tahminlenmesi için kural tabanları

K faktörü	Girdi değişkenleri		Çıktı değişkenleri
	Örtü faktörü	Eğim uzunluğu	Tahminlenen toprak erozyonu
Düşük	Orman	Düşük	Düşük
		Orta	Düşük
		Yüksek	Orta düşük
	Mera	Düşük	Orta düşük
		Orta	Orta
		Yüksek	Orta yüksek
Orta	Orman	Düşük	Orta düşük
		Orta	Orta
		Yüksek	Orta yüksek
	Mera	Düşük	Orta
		Orta	Orta yüksek
		Yüksek	Orta yüksek
Yüksek	Orman	Düşük	Orta düşük
		Orta	Orta düşük
		Yüksek	Orta yüksek
	Mera	Düşük	Orta
		Orta	Orta yüksek
		Yüksek	Yüksek



Şekil 6. İki bulanık model ve USLE modelinin çalışılan havzada tahminledikleri toprak erozyonu miktarlarının karşılaştırılması

6. SONUÇ

Model çözümler irdelendiğinde bazı modeller basit ve nitel özellikte iken toprakla ilişkili çalışmalarda kullanılan birçok matematiksel model kompleks yapı ve disiplinler arası niteliktedir. Kompleks modellerin sonucunu açıklamak çoğunlukla zordur ve gerçek koşullardaki toprakla ilişkili işlemleri yansıtmayabilir. Örneğin arazi değerlendirmesine ilişkin bir uygulama çalışması, kimya ve fiziğe dayalı bir *karar verme-gerçekleştirme* işlemidir, fakat hükümlerin sonuçlarını değerlendirebilmek için sosyal bilgiler ve kurumlara ait bilgiler de gerekmektedir. Bu nedenle toprak bilimindeki birçok model, modelleyicinin tercihler yapmasını zorlayıcı nitelikte çoklu, çoğunlukla çelişen ve çıktısı girdi verisini desteklemeyen özelliktedir.

Bulanık mantık yöntemlerini kullanmak, az sayıda değişkenle çalışılmak istendiği durumlarda, büyük bir havzadaki toprak erozyonu potansiyelini belirlemek için nispeten kolay bir yoldur. Saha çalışmalarının maliyeti surveyin ölçeğine bağlıdır. Bölgesel bir ölçekteki çalışma için oransal olarak kaba veri kümeleriyle çalışılacak olan pilot bir proje, alansal erozyon problemlerini belirlemeye yardımcı olabilir. Böylece problemler alanlar tanımlanıp dağılımları belirlenebilir. Bulanık mantık modelleri ile farklı çözünürlükteki veri kümelerine ait serilerinin kullanımı devamlı olarak problemler alanların alansal uzunluğunun daraltılmasına yardım eder. Böylece daha iyi veri kümeleri bütün bölge için değil spesifik problemler alanlar için gerekecektir. Daha sonra en iyi veri kümeleri ile problemler alanlar belirlenecek ve bu şekilde bütün alan çalışılmış olacaktır. Bu yaklaşım bütün bölgedeki potansiyel problemler alanların tanımlanması ve yerinin belirlenmesinde etkin bir maliyet azalması sağlayacaktır.

Herhangi bir çözünürlükte bulanık mantık temelli model uygulaması dijital ortamda sadece ucuz GIS paketlerini gerektirmesi nedeniyle göreceli olarak pahalı değildir. Geleneksel grid yöntemleri kullanılarak elde edilebilen eğim ve arazi kullanım/arazi örtüsü veri kümeleri, bulanık mantık temelli modeller ile kullanılabilir. Makul bir veri kümesi için pahalı GIS kurulumlarını satın almaya gerek yoktur, sade grafik paketler bulanık mantık temelli çıktılarını gösterebilir. Gelişmekte olan ülkelerdeki toprak erozyonu çalışmalarında bulanık mantık temelli modellerin kullanılması, büyük ölçüde ekonomik kazanç sağlamaktadır. Bulanık mantık temelli modellerin temel avantajı, pahalı dijital verilerden tam anlamıyla yararlanılamayan ucuz ve basit tekniklerin kullanılma zorunluluğu bulunan gelişmekte olan ülkelerde, özellikle toprak erozyon potansiyelinin survey keşifleri ile yapılmak istendiği durumlarda başarıyla kullanılabilir olmasıdır.

7. KAYNAKLAR

Akyürek, Z. and Okalp, K., 2006. A fuzzy-based tool for spatial reasoning: A Case study on soil hazard prediction. 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. Edited by M. Caetano and

- M.Painho. 5-7 July, Lisbon, Portugal. URL:www.spatial-accuracy.org/2006/PDF/Akyurek2006accuracy.pdf. Son erişim: 21/05/2008.
- Baja, S., Chapman, D. M. and Dragovich, D., 2002. A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modeling approach in GIS environment. *Environmental Management*, 29(5): 647-661.
- Banai, R., 1993. Fuzziness in geographical information systems: contributions from the analytical hierarchical process. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* 7: 315-329.
- Baykal, N. ve Beyan, T., 2004. Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler. ISBN: 975-8695-09-6, Ankara.
- Bosworth, D. A., and Foster, A. B., 1972. *Approved Practices in Soil Conservation*. The Interstate Printers and Publishers, 1-22.
- Brule, F. C., 1985. Fuzzy systems – a tutorial. Source: Internet Newsgroups: comp.ai: URL:http://www.quadralay.com/www/Fuzzy/tutorial.html.
- Burrough, P. A., 1993. The technologic paradox in soil survey: new methods and techniques of data capture and handling. *ITC J.* 1: 15-30.
- Cohen, S., Svoray T. and Laronne, J. B., 2005. Catchment scale soil erosion modeling using GIS and soft computing techniques. URL: http://www.cosis.net/abstracts/EGU05/00676/EGU05-J-00676.pdf. Son erişim: 19/05/2008.
- Eastman, J. R., 1993. IDRISI V 4.1 update, Worcester, MA. Clark University Graduate School of Geography, US.
- Hacısalihioğlu, S., Kalay, H. Z ve Oktan, E., 2002. Toprak aşınımını (erozyonu) kantitatif olarak belirleyen modellerin değerlendirilmesi. *Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi ve Yönetilmesi Sempozyumu*. Editör: S. Önder, 18-20 Eylül, Antakya. Kongre Kitabı ISBN: 975-7989-19-3, 379-384.
- Hacıyakupoğlu, S. ve Ertek, T. A., 2002. Erozyon araştırmalarında Cs-137 ve Pb-210 ölçümlerinin kullanılması ve Türkiye’de uygulanabilirliği. *Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi ve Yönetilmesi Sempozyumu*. Editör: S. Önder, 18-20 Eylül, Antakya. ISBN: 975-7989-19-3, 396-401.
- Klein, L., 1999. *Sensor and Data Fusion Concepts and Applications*. SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA.
- Kohli, A. and Khara, K. L., 2006. Evaluation of modeled of soil erodibility estimates using lab-scale simulated rainstorm in submountains region Northern India. 18th World Congress of Science, July 9-15, Philadelphia, Pennsylvania, USA. URL: http://crops.confex.com/crops/wc2006/techprogram/P12024.HTM. Son erişim: 21/05/2008.
- Korner, S., 1967. Laws of thought. In: *Encyclopedia of Philosophy*, Vol. 4. MacMillan, New York, 414-417.
- Lagacherie, P., Cazemier, D. R., vanGaans, P. F. M. and Burrough, P. A., 1997. Fuzzy k-means clustering of fields in an elementary catchment and exploration to large area. *Geoderma*, 77: 197-216.
- Lejewski, C., 1967. Jan Lkasiewicz. In: *Encyclopedia of Philosophy*, Vol. 4. MacMillan, New York, 104-107.
- McBratney, A. B. and Odeh, I. O. A., 1997. Application of fuzzy sets in soil science: Fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma* 77: 85-113.

- Mendel, J. M., 1995. Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial, *IEEE Proc.*, 83 (3): 345-377.
- Metternicht, G. I., 1997. Modelling soil erosion hazard by using a fuzzy knowledge based approach. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/iel3/4810/13419/00615220.pdf?arnumber=615220>. Son erişim: 16/ 05/2008.
- Metternicht, G. and Gonzalez, S., 2005. FUERO: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction. *Environmental Modelling & Software*, 20: 715-728.
- Mitra, B., Scott, H. D., Dixon, J. C. and McKimmey, J. M., 1998. Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed. *Geoderma* 86: 183-209.
- Numatra, K., 1991. General Purpose Fuzzy Reasoning Library, Version 3.0. Tokyo University, Japan.
- Özdemir, N., 2002. Toprak ve Su Koruma. İkinci baskı, OMÜ Üniv. Yay. Zir. Fak. Ders Kitabı No: 22, Samsun.
- Özkan, E. M., 2001. Fuzzy Mantıkta Yaklaşık Usavurma ve Bir Probleme Uygulanması. Yıldız Teknik Ün. Fen Bil. Enst. Mat. Müh. Anabilim Dalı Doktora Tezi. ISBN: 975-461-119-X, İstanbul.
- Özkan, M. M., 2003. Bulanık Hedef Programlama. ISBN: 975 7338 958, Bursa.
- Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. ISBN: 975-8509-23-3, İstanbul.
- Tayfur, G., Özdemir, S. and Singh, V. P., 2003. Fuzzy logic algorithm for runoff-induced sediment transport from bare soil surfaces. *Advances in Water Resources*, 26: 1249-1256.
- Tran, L. T., Ridgley, M. A., Duckstein, L. and Sutherland, R., 2002. Application of fuzzy logic-based modeling to improve the performance of the Revised Universal Soil Loss Equation. *Catena*, 47: 203-226.
- Van Zuidam, R. A., 1986. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smits Publishers, The Netherlands, 442.
- Wang, F., Hall, G. and Subaryano. 1990. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application. *Int. J. GIS* 4: 261-283.
- Westervelt, J., Shiporo, M. and Goran, W., 1989. GRASS: Geographical Resources Analysis Support System. US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratories, Champagne, IL, US.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8: 338-353.
- Zadeh, L. A., 1984. Making computers think like people. *IEEE Spectrum* August, 26-32.
- Zadeh, L. A., 2004. A note on web intelligence, world knowledge and fuzzy logic. *Data & Knowledge Engineering*. 50: 291-304.