

**GIS TABANLI BİR MAMDANI BULANIK
ÇIKARSAMA ARACININ GELİŞTİRİMİ VE
HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI ÜRETİMİNE
UYGULANMASI**

**DEVELOPING A GIS-BASED MAMDANI FUZZY
INFERENCE SYSTEM TOOL AND APPLICATION
ON THE LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP
PRODUCTION**

TURGAY ÖSNA

DOÇ. DR. EBRU SEZER

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. AYKUT AKGÜN

Eş Danışman

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2013

TURGAY ÖSNA'nın hazırladığı "GIS Tabanlı Bir Mamdani Bulanık Çıkarsama Aracının Geliştirimi ve Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimine Uygulanması" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan

(Prof. Dr. Candan Gökçeoğlu)

Üye

(Prof. Dr. Hayri Sever)

Üye (Danışman)

(Doç. Dr. Ebru Sezer)

Üye

(Yrd. Doç. Dr. Aykut Erdem)

Üye

(Öğr. Gör. Dr. Ahmet Burak Can)

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13.06.2013

Turgay ÖSNA

ÖZET

GIS TABANLI BİR MAMDANI BULANIK ÇIKARSAMA ARACININ GELİŞTİRİMİ VE HEYELAN DUYARLILIK HARİTASI ÜRETİMİNE UYGULANMASI

TURGAY ÖSNA

Yüksek Lisans, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. EBRU SEZER

Eş Danışman: Doç. Dr. AYKUT AKGÜN

Mayıs 2013, 67 Sayfa

Heyelan duyarlık haritası oluşturmak karmaşık bir problem olup, üretilmesinde bugüne kadar istatistiksel yaklaşımların yanı sıra, çeşitli esnek hesaplama yöntemleri de kullanılmıştır. Bulanık çıkarsama sistemlerinin doğal olaylar üzerine çok sayıda uygulaması mevcuttur. Heyelan duyarlılık haritası üretimi matematiksel olarak modellenmesi çok güç, ayrıca uzman görüşü tabanlı ve bağlam içinde değerlendirme gerektiren bir süreçtir. Bu özellikleri nedeniyle bulanık çıkarsama sistemleri heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılabilecek bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak modeli oluşturmak için

gereken bilgi altyapısı, birden çok aracın birlikte kullanımı ve özellikle modelleme için kullanılacak araçların karmaşıklığının bulanık sistemlerin bu problem için kullanımına engel oluşturacak nitelikte olduğu düşünülmektedir. Bu düşünceden hareketle, açık kaynak kodlu yazılım ve kütüphaneleri bir platform altında sarmalanarak harita görüntüleme, bulanık modelleme, çıkarsama ve sonuçlarını izleme yeteneklerini sunan GeoFIS yazılımı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: heyelan tespiti, bulanık çıkarsama sistemleri, uzman sistemler, duyarlılık haritası

ABSTRACT

DEVELOPING A GIS-BASED MAMDANI FUZZY INFERENCE SYSTEM TOOL AND APPLICATION ON THE LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP PRODUCTION

TURGAY ÖSNA

**Master of Science, Department of Computer
Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. EBRU SEZER

Co-supervisor: Assoc. Prof. AYKUT AKGÜN

May 2013, 67 Pages

To produce landslide susceptibility maps is a complex problem and, various statistical approaches and soft computing methods have been employed to solve it. In literature, there are several fuzzy inference system application on the natural event modeling. It is too difficult to model landslide susceptibility maps by classical mathematics, and the mapping process includes expert based and context specific assessment. Because of these characteristics, fuzzy inference systems come out as a method to produce landslide susceptibility maps. However, it is thought

that some factors such as knowledge required for modelling, necessity of more than one tool usage and especially complexity of the modeling tools blocks use of fuzzy inference systems to solve this problem. Act on this belief, GeoFIS which encapsulates some open source libraries and softwares and presents one platform is developed with the map visualization, fuzzy modeling and evaluation abilities.

Keywords: determination of landslide, fuzzy inference systems, expert systems, susceptibility map

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmaları sırasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, tez danıŐmanım Do. Dr. Sn. Ebru Sezer'e,

Tez alıŐmalarında vermiŐ olduğu destek ve yardımlarından dolayı eŐ danıŐmanım Doç. Dr. Sn. Aykut Akgün'e,

Lisans ve lisansüstü eğitimimi aldığım bölümüm Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği'nin tüm çalıŐanlarına,

Lisansüstü eğitimime destek veren bölüm başkanımız Prof. Dr. Sn. Hayri Sever'e,

Tez çalıŐmalarıma destek veren Ulusal CAD ve Mühendislik Çözümleri A.Ő. genel müdürü Sn. Serdar Ak ve yönetici Sn. Serkan Gazel'e,

Tez alıŐmaları sırasında manevi desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. BULANIK MANTIK	8
3.1. Bulanık Mantığa Giriş.....	8
3.2. Bulanık Kümeler	9
3.3. Bulanık Küme İşlemleri.....	10
3.3.1. Kesişim	11
3.3.2. Birleşim	11
3.3.3. Tümlleyen.....	12
3.4. Bulanık Kurallar	12
3.5. Bulanık Sistemler.....	13
3.5.1. Bulanık Sistemlerin Yapısı	13
3.5.2. Mamdani Bulanık Modeli	16
3.5.3. Takagi-Sugeno Bulanık Modeli	17
3.5.4. Sugeno Bulanık Modeli.....	18
4. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ.....	19
4.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Tanımı ve Özellikleri.....	19
4.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Bileşenleri.....	20
4.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri	23
4.3.1. Grafik Veriler	24
4.3.2. Grafik Olmayan Veriler	26
5. GeofIS YAZILIMI	27
6. ROC ANALİZİ	37
7. İNCELEME ALANI VE VERİ SETİ	41
7.1. İnceleme Alanı.....	41

7.2. Veri Seti	42
7.2.1. Topoğrafik Yükseklik	43
7.2.2. Eğim	44
7.2.3. Yamaç Yönelimi	45
7.2.4. Akarsu Güç İndeksi(SPI)	47
7.2.5. Topoğrafik Nemlilik İndeksi(TWI)	48
7.2.6. Litoloji	50
7.2.7. Heyelan Verisi	52
7.3. Tanımsal İstatistik	54
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	66

1. GİRİŞ

Heyelanlar genel tanım olarak, doğal ya da yapay olarak oluşmuş şev ve yamaçlardaki kaya veya zemin malzemesinin yerçekimi etkisi altında eğim aşağıya doğru hareketi olarak tanımlanır [1]. Heyelanların insan hayatı üzerine etki etmemesi durumunda, sadece doğal bir süreç olduğu kabul edilmektedir. Heyelan oluşumunun insan hayatı üzerinde etkisinin varlığından söz edildiği noktada ise heyelan duyarlılığından başlayarak tehlike ve risk kavramlarına gidildiği de bilinmektedir. Heyelan risk değerlendirmesinde bir altlık basamak olduğu düşünüldüğünde heyelan duyarlılığının (landslide susceptibility) belirlenmesi, heyelan-insan-taşınmaz ilişkisinin irdelenmesinde hayati bir önem taşıdığı anlaşılmalıdır. Heyelan duyarlılığı, en basit tanımıyla bir alanda, belirli bir yerde heyelan olma olayının konumsal olasılığı olarak tanımlanmaktadır [2]. Diğer bir ifadeyle, duyarlılık kavramında, zamansal tekrarlamaya olasılığının irdelenmesi gerekmemektedir. Heyelan duyarlılığının belirlenebilmesi ve üretilecek sonuç duyarlılık haritasının kalitesi, incelenecek alana ait jeolojik, jeomorfolojik, çevresel ve topoğrafik verilerin ne kadar doğru ve sağlıklı olduğu ile yakından ilişkilidir. Bunun yanında, incelenecek olan alanda daha önceden oluşmuş olan heyelanların bir arada haritalandığı bir heyelan envanter verisinin olması ve bu envanter verisinin de yine detaylı ve titiz bir biçimde hazırlanmış olması, çıktı-sonuç duyarlılık haritasının gerçekleştirilmesi ve doğrulanması açısından da son derece önemlidir. Sağlıklı veri üretimini takiben uygun bir değerlendirme yönteminin seçilerek verilerin doğruya en yakın sonucun alınmasına imkan tanıyacak nitelikte bir değerlendirme olanağı sunması da ayrıca önem arz eden bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır [3] [4].

Günümüzde özellikle heyelan açısından aktif olan bölgelerde gerçekleştirilen kentleşme ve altyapı ile ilgili çalışmalarda, heyelandan etkilenmenin ve zarar görmenin son derece yaygınlaştığı görülmektedir. Söz konusu bu durum, ilgili alanlarda planlama öncesi bir heyelan

duyarlılık değerlendirmesinin yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Önceden bir heyelan duyarlılık haritalamasının yapılmış olması durumunda, heyelan açısından duyarlı alanlar bilinmiş olacak ve böylece o alanlardan ya uzak durularak ya da gerekli mühendislik önlemleri alınarak insan hayatı ve mal kaybının en aza indirilmesi veya tamamen ortadan kaldırılmasına imkan tanınmış olacaktır. Bu nedenle, özellikle yerel yönetimlerin bu durumu göz önünde bulundurarak hareket etmesinde ve karar mekanizmalarını işletmelerinde son derece yarar olacağı düşünülmektedir. Bu noktadan hareketle; sadece araştırmacıların değil, ilaveten mühendislerin de günlük eylemleri içinde heyelan duyarlılık haritası üretebilme olanağına ihtiyaçları olduğu söylenebilir. Bu ihtiyacı karşılamak için geliştirilen birçok çalışma, veriden öğrenme temelli olup, uzman bilgisine doğrudan yer vermemekte ve ayrıca gelişmiş birden çok aracın aynı anda kullanımı zorlamaktadır. Dolayısı ile bu alandaki çalışmalar akademik araştırmalar içinde gömülü kalmış; günlük kullanıma açılmamıştır.

GeoFIS, pratik çözümünün hayati önem taşıdığı heyelan duyarlılık haritası üretme problemine odaklanmış, coğrafi bilgi sistemi ve bulanık çıkarsama ile modelleme yapabilmek için açık kaynaklı kütüphaneleri kullanarak, duyarlılık haritalaması süreci için tek bir platform olmayı amaçlamıştır. Ayrıca, veriden öğrenme yerine uzman görüşüne dayanarak literatüre yöntemsel olarak da katkı sunmuştur. Heyelan envanterinin GeoFIS'e yüklenmesinden başlayarak, modelleme yapabilmek, çıkarsama sonuçlarını üretme, duyarlılık haritasını görüntüleme ve seçili alan için modeli geriye doğru inceleme ve güncelleme yeteneklerine sahip olan GeoFIS, bu alanda çalışan araştırmacıların ve mühendislerin ihtiyacını karşılayan özel amaçlı bir yazılım olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Devam eden kesimlerde bölüm 2'de, heyelan duyarlılık problemine ait literatürde bulunan mevcut çözüm önerileri özetlenmiştir. Bölüm 3'te bulanık mantık ile ilgili bilgi verilmiş, bölüm 4 ise Coğrafi Bilgi Sistemleri

ve veri türleri anlatılmıştır. Devam eden kesimlerde bölüm 5, bölüm 6 ve bölüm 7'de GeoFIS uygulaması anlatılıp, sonuç değerlendirmesi yapılarak sonlandırılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Heyelan alanında en çok kullanılan kavramlar "Heyelan Duyarlılığı" ve "Coğrafi Bilgi Sistemleri"dir [5]. Bu kavramların öne çıkmasının ve sürekli olarak kullanılmasının başlıca nedenleri ise;

- Bilgisayar teknikleri ve coğrafi bilgilerdeki ilerleme
- Heyelanların sosyo-ekonomik önemi konusundaki bilinç düzeyindeki artış
- Heyelanların karmaşık yapısı'dır.

Heyelanların karmaşık yapısından dolayı günümüzde orta ölçekli heyelan duyarlılıkların değerlendirilmesi için bazı metotlar geliştirilmiştir. Bu metotları üç ana grup altında toplamak mümkündür;

- İstatistiksel metotlar (Örnek: [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21])
- Esnek hesaplama yöntemleri (Örnek: [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36])
- İndeks harita kombinasyonları (Örnek: [37] [38] [39] [40])

Heyelan duyarlılıklarının belirlenmesi alanında çıkarsama sistemi olmadan uzman görüşü tabanlı [41] heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapan çeşitli çalışmalar bulmak mümkündür. Ayrıca orta ölçekli(~1:25,000) heyelanların değerlendirilmesi için kullanılan tüm metotlarda bilgi eksikliği ve yüksek değişkenlik gibi kavramlar ele alınmıştır [22]. Bundan dolayı orta ölçekli heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde veri analizi süresince genelleştirme ve basitleştirme teknikleri kullanılmıştır. Fakat tüm bu teknikler uzman görüşünü dikkate almamaktadır. Bu yöntemlerin genelinde izlenen yöntem şu biçimde özetlenebilir: mevcut veri seti seçilen bir örnekleme yöntemi ile öğrenme (train), sınama(test) ve doğrulama(validation) olmak üzere üç veri kümesine ayrılır. Öğrenme veri kümesi kullanarak modelleme gerçekleştirilir ve model üretilir. Bu esnada, modelleyicinin kullandığı yöntem üzerinde ek bilgisi var ise model parametrelerini (öğrenme hata

payı, dallanma sayısı, gizli katman ve nöron sayısı vb.) özelleştirebilir, aksi halde kullanılan aracın varsayılan değerleri korunur. Bir başka deyişle, bu yöntemler bir kara kutu (black box) biçiminde kullanılır. Öğrenme sonucu elde edilen modelin genelleme yeteneği sınama verisi üzerinde gözlenir. Doğrulama verisi ile modelin kestirim değerleri üretilir ve performansı ölçülür. Heyelan duyarlılık haritası üretmek de karmaşık problemler içinde yer aldığından birçok makine öğrenimi yönteminin bu problemin çözümü için uygulandığı birçok çalışma literatürde mevcuttur (Örneğin [38] [42] [43] [34] [44]) . Ancak yukarıda açıklanan süreçten farklı olarak; heyelan duyarlılık bağlamında kullanılan verinin rastgele ya da tabakalı [45] örnekleme ile öğrenme verisi oluştururken, tüm veri sınama için kullanılır. Performans ölçümünde ise Liao'da [46] sunulan, gerçekleşmiş heyelanların doğru kestiriminde hareket eden göstergeler kullanılır. Bir başka deyişle; model gerçekleşmiş heyelanları sınama aşamasında ne kadar doğru kestirebilmiş ise, diğer noktalar için üretilen duyarlılık değeri de o kadar güvenilirdir. Buradan anlaşılacağı üzere, duyarlılık başarımlar ölçme yöntemi, duyarlılık kestirim yönteminden bağımsızdır. Ayrıca üretilen sonuçlar tamamen veriye özgü, veri bağımlılığı olan sonuçlardır. Karar ağaçları, yapay sinir ağları gibi metotlar kullanımında ise uzman kişinin değerlendirmesi tamamen dışarıda bırakılmaktadır. Bu yüzden heyelan duyarlılık değerlendirmesinde uzman görüşünü dikkate almak için Mamdani bulanık çıkarsama sistemleri gibi sistemlerin uygun bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

Bulanık çıkarsamanın avantajlı özellikleri Alvarez Grima [47] tarafından şu biçimde ifade edilmiştir: bulanık çıkarsama sistemleri sürekli ve kesikli değerleri işleyebilir, matematiksel kurallara dayanır, bağlama bağlı belirsizliklerde uzman yaklaşımını modelleyebilir ve bilginin bulanık eğer-ise (if-then) kuralları ile ifade edilmesini sağlar. Heyelan duyarlılık haritası üretme eylemi yukarıda belirtilen problem özelliklerini birebir taşımaktadır.

Ancak, heyelan duyarlılık kestiriminde veriden öğrenmeyi temel alan birçok yöntem karşın, uzman görüşüne doğrudan yer veren çalışma sayısı azdır [4] [48] [49] [50]. Bu durumu doğuran en önemli etken heyelan duyarlılık kestiriminde kullanılan veri hacminin büyük olmasıdır. Örnek bir veri setinin 106 nokta için 3-5 adet girdi parametre değerlerinden oluşabileceği rahatlıkla söylenebilir. Dolayısı ile modele veri yükleme ve alma işlemlerinin topluca yapılabildiği modelleme biçimleri daha kolay gerçekleştirilebilir niteliktedir. Bulanık çıkarsamayı, doğrudan girdi ve çıktıları toplu biçimde işleyebilecek biçimde geniş kullanıma sahip bir uygulama henüz mevcut değildir. Buna en yakın uygulama Matlab (MATLAB, 2009) olup, toplu çıkarsama yapabilmek için betik yazmayı gerektirir. Bahsi geçen bu betikleri yazarak, heyelan duyarlılık için ilk bulanık çıkarsama kullanımını örnekleyen çalışma MamLand [4] olmuştur. Bu çalışma da elde edilen başarımların bulanık çıkarsamanın bu problem için başarılı bir çözüm sunabildiğini göstermekle birlikte, sunduğu betiklerin kullanımı Matlab yazılımını gerektirmektedir. Ayrıca haritalama işlemleri için başka, modelleme işlemleri için başka bir yazılım kullanımını ortadan kaldıramamıştır. Bu da kişilere bu araçlarında kullanma bilgisini öğrenme zorunluluğunu getirmiştir. Ayrıca kullanılan araçların karmaşıklığı da problemin karmaşıklığına ek olarak eklenmektedir. Ek ve önemli bir tespit, uzman görüşünü modelleyen Mamdani türü çıkarsamada, uzman görüşünün anlık olarak değiştirilmesi ve etkilerinin incelenmesi; bir çıkarsamanın hangi bulanık kuralların tetiklenmesi ile gerçekleştiğinin tespiti; modelin optimize edilmesi için açık ihtiyaçlardır. Tüm bu sebeplerden dolayı bu çalışmada Mamdani bulanık çıkarsama sistemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretimi için özel bir araç geliştirilmiştir. Bu aracın heyelan duyarlılık haritası üretmede başka herhangi bir araca ihtiyaç duymaması da önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. GeoFIS yazılımı ile platform değiştirmeksizin harita işlemlerini ve modellemeyi birlikte yapabilmenin yanı sıra, kendi başına çalışabilir olma özellikleri sunulmaktadır. Böylelikle, bulanık

çıkarsamanın heyelan duyarlılık probleminin çözümünde kullanılmasını yaygınlaştırmak, veriden öğrenmenin yerine uzman görüşünü etkin kılmak, sadece araştırmacıların değil, mühendislik faaliyetlerinin içinde bu problemin çözümüne araç desteği verilmesi hedeflenmiştir.

GeoFIS uygulamasının genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Probleme özgü tek platform sunar
2. Kapsamlı veri analiz süreçlerine gerek duymaz
3. Uzman görüşünü esas alan bir Mamdani bulanık çıkarsama sistemini içerir
4. Eğer-ise kuralları yardımıyla uzman görüşünü modele doğrudan yansıtır ve modelin çeşitli bölgelerinde uzman düşünce sonuçlarının ayrıntılı incelenmesini sağlar.
5. Uzmanın modelimi sahaya uygun biçimde optimize edebilmesi için gerekli yetenekleri içerir
6. Hesaplama yükü az olduğundan dolayı sonuçlar kolaylıkla ve kısa bir zaman içerisinde görülebilir.

GeoFIS yazılımı kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretmek için aşağıdaki aşamaların gerçekleştirimi sağlanmalıdır:

- a. Verilerin programa aktarılması
- b. Verilerin seçimi
- c. Bulanık çıkarsama sisteminin kurulması
- d. Sonuç haritaların üretimi ve analizi

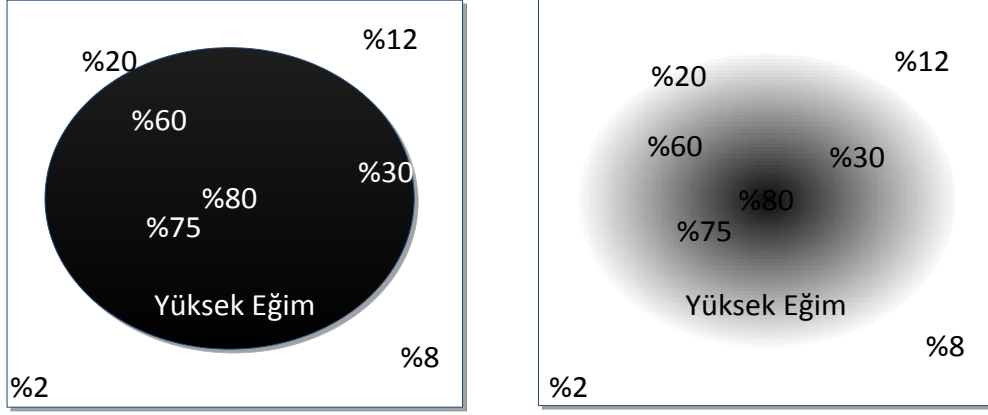
3. BULANIK MANTIK

3.1. Bulanık Mantığa Giriş

Belirsizlik durumu karmaşık problemlerin çözümünde dikkate alınması gereken ve genellikle problemin doğasında mevcut olan bir kavramdır. Gerçek dünyada klasik mantık belirsizliği tanımlamakta yetersiz kalabilmektedir. İnsan düşünce yapısı klasik mantığın belirlediği kurallardan daha çok bulanık mantığın belirlediği belirsizlik ya da bulanıklık içeren anlatımdan oluşmaktadır. Bu nedenle insan düşünce yapısına daha uygun olan bulanık mantık bu çalışmada tercih edilmiştir.

Bulanık mantık, 1961 yılında Lütü Askerzade'nin yayınladığı bir makale sonucu oluşmuş düşünce sistemidir¹. Klasik mantık yaklaşımına göre bir varlık bir kümenin "elamanı" ya da "elemanı değil" şeklinde ifade edilmekte iken bulanık mantık yaklaşımında ise bir varlık bir kümeye üyelik derecesi olarak belirtilen "değer ölçüsünde aittir" ya da "değildir". Bulanık mantığa klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlarda ihtiyaç duyulmuştur. Klasik mantıkta bir ifade tamamen yanlış ise 0 değerinde ve tamamen doğru ise 1 değerindedir. Ancak bulanık mantıkta bir ifadenin 0 veya 1 değerini alması sadece çok özel durumlarda oluşur. Bu özel durumların dışında tüm ifadeler 0'dan büyük 1'den küçük reel değerler alırlar. Şekil 3.1'de bu durumun görsel bir ifadesi sunulmuştur. Bu yüzden bir varlık bir kümeye ait olabileceği gibi birden fazla kümeye de ait olabilmektedir. Bu aidiyet derecesi de üyelik derecesi olarak adlandırılmaktadır.

¹ http://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k



Şekil 3.1. Yüksek eğitim ifadesinin klasik küme ve bulanık kümede gösterimi

Bulanık mantıkta bulanık küme kadar önemli başka bir kavram ise sözel değişkenlerdir. Sözel değişken, değeri sözel ifade olan değişkendir. Örneğin "iyi", "kötü", "güzel", "çirkin", "sıcak", "soğuk" gibi değerler sözel değişkenlere atanabilecek değerler arasındadır. Her bir sözel değişkenin alabileceği değerler ise bulanık kümelerle gösterilmektedir.

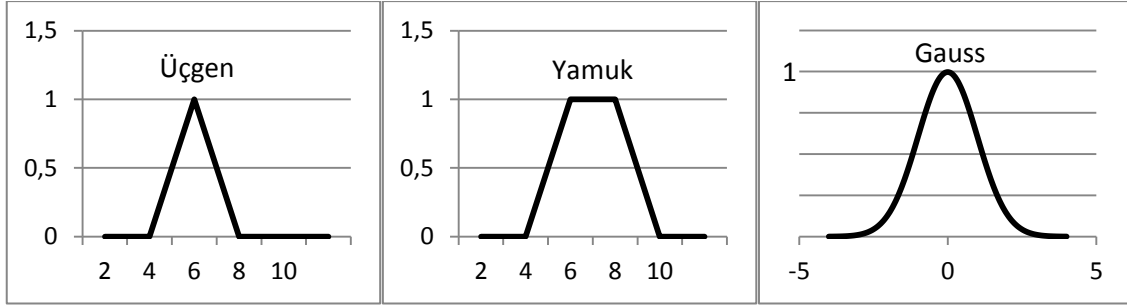
Bulanık mantık çok farklı alanlarda kullanılabilir. Uzman bilgisini kolayca modellemesi ve belirsiz kavramları bile matematiksel olarak kolayca ifade edebilmesi bulanık mantığın sağladığı en büyük avantajlar olarak göze çarpmaktadır. Bulanık mantık sistemlerinin ilk uygulama örnekleri çimento sanayi ve su arıtma sistemlerinde olmuştur. Daha sonra ise asansörler, klimalar, fotoğraf makineleri, taşımacılık gibi alanlarda kullanılmış ve zamanla neredeyse tüm alanlara girmeyi başarmıştır. Özellikle Japonya'da Sendai metrosunun bulanık sistemle kontrol edilmesi ve bunun da çok fazla başarılı olması sonucunda çok fazla ilgi çekmeye başlamıştır.

3.2. Bulanık Kümeler

Klasik mantık yaklaşımına göre bir varlık bir kümenin elmanı ya da elemanı değil şeklinde ifade edilmekte iken bulanık mantık yaklaşımında ise bir varlık bir kümeye üyelik derecesi olarak belirtilen değer ölçüsünde ait ya da değildir. Üyelik fonksiyonları bir elemanın bir kümeye aidiyet derecesini belirten fonksiyonlardır. Aslen bulanık

kümeler bir sözel değişkenin alabileceği değerlerdir. Örneğin "eğim" sözel değişkeni "düşük", "orta" ve "yüksek" olmak üzere üç sözel değer alabilir. Sonuç olarak sözel değerlerin aslen bulanık kümeler olduğu ve keskin değerlerin bulanık kümelere aidiyetini gösteren üyelik derecelerinin de sözel değerler ile keskin değerler arasındaki dönüşümü sağladığı söylenebilir.

Üyelik fonksiyonları için matematiksel fonksiyonlar tanımlanır ve üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında sonsuz sayıda değer alabilmektedir. Bir başka deyişle üyelik dereceleri, üyelik fonksiyonlarının çıktısıdır. Şekil 3.2'de bulanık çıkarsama sistemlerinde kullanılan çeşitli(üçgen, yamuk, gauss) üyelik fonksiyonu örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları

Sahada ölçülen keskin değerler, üyelik fonksiyonu girdisini oluştururlar. Üçgen üyelik fonksiyonunu inceleyecek olursak; x ölçülen değer ve $\mu(x)$ x 'in üyelik derecesi olmak üzere;

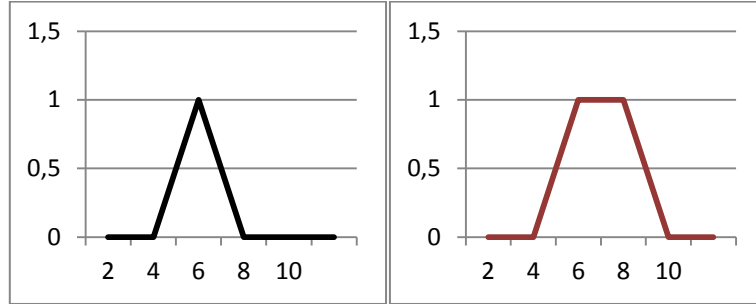
- $\mu(x) = (x - a) / (b - a)$ $x \leq b$
- $\mu(x) = (c - x) / (c - b)$ $x > b$

Burada a üçgen üyelik fonksiyonu alt sınır değerini, b tepe noktasını, c ise üyelik fonksiyonu üst sınırını ifade etmektedir. Bir başka deyişle; a, b ve c üçgeni oluşturan noktalarıdır.

3.3. Bulanık Küme İşlemleri

Klasik kümeler üzerinde yapılan tüm işlemler, bulanık kümeler kullanılarak da yapılabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan bulanık kümeleme işlemleri kesişim, birleşim ve tümleyendir. Klasik küme

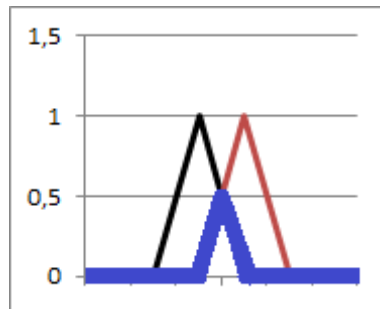
işlemlerinden farkı, 0 ile 1 arasındaki tüm değerleri ele almasıdır. Şekil 3.3'te A ve B bulanık kümelerine ait iki grafik gösterilmektedir. Bu bulanık kümeler üzerinde yapılacak işlemler sonraki bölümlerde incelenmektedir.



Şekil 3.3. A ve B bulanık kümelerine ait örnek üyelik fonksiyonları

3.3.1. Kesişim

Bulanık iki kümenin kesişim işlemi " \wedge " ile ifade edilir. Klasik küme işlemlerindeki kesişim işlemi iki kümenin ortak elemanlarının oluşturduğu kümeyi bulmak için kullanılmaktadır. Bulanık kümelerde kesişim kümesindeki elemanların üyelik derecelerinin bulunması için, tüm bulanık kümelerdeki elemanların üyelik derecelerinin minimumu hesaplanır. Şekil 3.4 A ve B bulanık kümelerinin kesişimini gösterir grafiktedir.

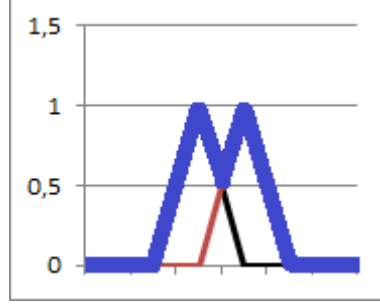


Şekil 3.4. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi

3.3.2. Birleşim

Bulanık iki kümenin birleşim işlemi " \vee " ile ifade edilir. Bulanık iki kümeye ilişkin birleşim kümesi her iki kümedeki tekrar edenler haricindeki elemanların her biri alınır. Bu birleşim kümesine ilişkin üyelik

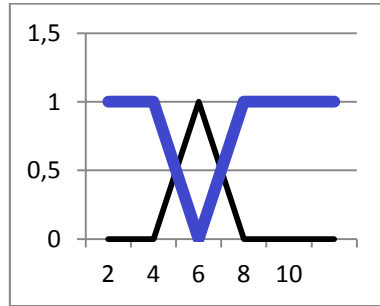
fonksiyonları ise her bir kümeye ait elemanların üyelik değerlerinin en büyük değeri alınır. Örnek olarak A ve B bulanık kümelerinin birleşimini gösterir grafik Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi

3.3.3. Tümleyen

Bulanık A kümesinin tümleyen kümesi " \bar{A} " olarak gösterilmektedir. Bulanık kümeye ait elemanların dışında kalan tüm elemanları içeren kümeye bulanık kümenin tümleyen kümesi denmektedir. Örnek bir tümleyen bulanık küme aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 3.6. A bulanık kümesinin tümleyeni

3.4. Bulanık Kurallar

Yaygın olarak kullanılan bulanık sistemlerde bilgi bulanık kurallar ile temsil edilmektedir. EĞER-İSE şeklindeki kurallar standartlaşmış kural mekanizmasıdır. Bulanık modelleme türüne göre kuralların yapısı değişmekle birlikte; değişim kuralların sonuç kısımlarında gerçekleştirilmektedir. Mamdani türü örnek bir EĞER-İSE kuralı aşağıdaki gibi yazılabilir:

- IF a_1 AND a_2 AND $a_3...$ AND a_n THEN b

Burada a_i , $1 \leq i \leq n$ ve b birer bulanık önermedir. İlerleyen kesimde yer alan farklı bulanık çıkarsama modellerinde de değinildiği üzere sonuç kısmın polinom ya da hem polinom hem de sözel değişken olması mümkündür. Ancak görüleceği üzere, uzmanın görüşünü doğrudan ifade ettiği koşul kesimleri ortaktır. Bir başka deyişle; uzman sistemlere benzer olarak her bir kural, sistemin çıktısı ile ilgili uygun varsayımları temsil eder [53].

3.5. Bulanık Sistemler

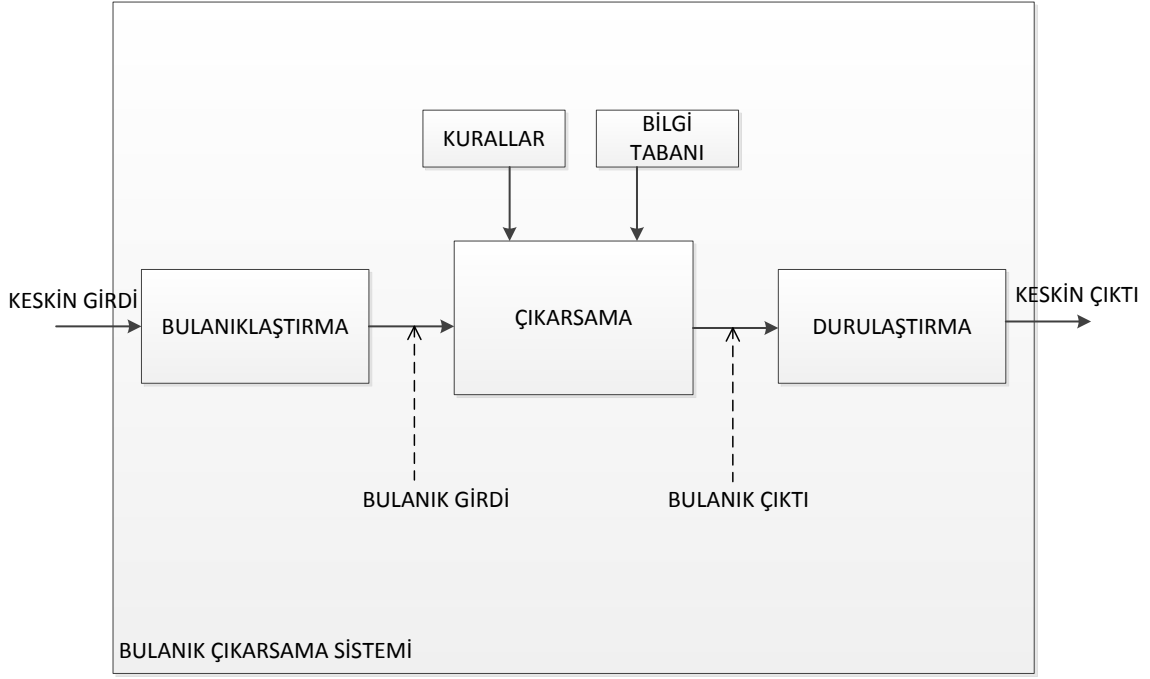
3.5.1. Bulanık Sistemlerin Yapısı

Bulanık sistemler; girdilerin tümünü çıktıların tümüyle ilişkilendirerek küme ve kuralların tanımlamasını yapmaktadır. Bu nedenle de bulanık sistemlerin çalışma yapısı matematiksel bir neden-sonuç fonksiyonunun çalışma şekline benzemektedir.

Bulanık sistemlerdeki en önemli kavramlardan bir tanesi bulanık kurallardır. Bulanık kurallar, kontrol amacını gerçekleştirmek üzere tasarlanmış bulanık kontrol kurallarını içermektedir. Bu aşamanın temel amacı ise uzman bilgilerini neden-sonuç ilişkisi içerisinde ifade etmektir. Bir bulanık çıkarsama sistemi temel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır:

1. Bulanıklaştırma
2. Çıkarsama
3. Birleştirme
4. Durulaştırma

Şekil 3.7'de örnek bir bulanık çıkarsama sisteminin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 3.7. Bulanık çıkarılma sistemi genel görünümü

Bulanıklaştırma: Keskin girdi değerlerinin bulanık değerlere dönüştürüldüğü aşamadır. Bu adım bulanıklaştırma ya da bulanık dönüştürücü olarak bilinir ve girdi değerleri için olan belirsizliği teşhis eder. Bunun için öncelikle bulanık küme sayısı belirlenir. Üyelik fonksiyonlarının şekli ve yeri de belirlendikten sonra girdi değerlerini bulanık değerlere dönüşüm için gerekli işlemler tamamlanmış olur. Klasik mantıkta bir varlığın bir bölümünün bir kümeyle ait olması gibi bir kavram düşünülemez. Oysa bulanık mantığın doğası gereği böyle bir kavram oluşmaktadır.

Çıkarsama: Bulanık kural tabanında giriş çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren mekanizmadır. Bu mekanizma, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar [53]. Basit bulanık sistemlerde, tüm kurallar paralel çalışır. Bir bulanık çıkarım mekanizmasının çalışma şekli iki adımda görülebilir:

- Her bir kural için sonuç değerlerini hesaplamak

- Birleştirilmiş bir sonuç hesaplamak

Bu aşamada her bir kural kendi başına koşul ve sonuç kısmı ile tetiklenir ve çalıştırılır.

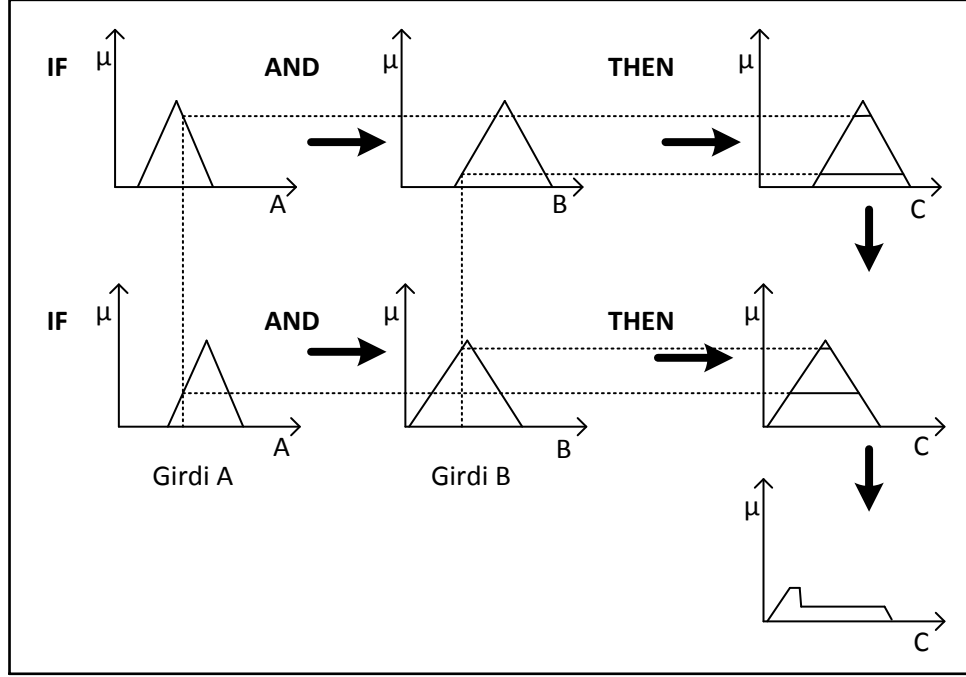
Birleştirme: Çıkarsama yapıldıktan sonraki sözel değişken değerlerinin birleştirilmesi aşamasını belirtmektedir. Diğer bir ifadeyle her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesidir.

Durulaştırma: Birleştirme işlemi sonucunda elde edilen değerlerden keskin değer elde etme aşamasıdır. Gerçek dünya problemlerinde bulanık değerler olmadığı için ilk aşamadan yapılan bulanıklaştırma işleminin tersi olarak bu aşamada durulaştırma yapılmaktadır. Durulaştırma yapmak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar;

- **Maksimum Üyelik Yöntemi:** Üyelik fonksiyonlarının en büyük değeri alınarak durulaştırma işlemi yapılır.
- **Ağırlık Merkezi Yöntemi:** En yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemle durulaştırma işlemi yapılırken sonuç bulanık kümelerinin ağırlık merkezi hesaplanır.
- **Toplamların Merkezi Yöntemi:** En hızlı durulaştırma yöntemidir. İki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları kullanılır.
- **Maksimum Ortalama Yöntemi:** Sonuç bulanık kümelerin en büyük üyeliklerinin ortalaması ile durulaştırma işlemi yapılır.
- **Maksimumun En Büyüğü Yöntemi:** Tüm çıktıların birleşimi sonucu ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en büyük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanmaktadır.
- **Maksimumun En Küçüğü Yöntemi:** Tüm çıktıların birleşimi sonucu ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanmaktadır.
- **En Büyük Alan Merkezi Yöntemi:** Eğer sonuç bulanık kümesi, en az iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa, dış bükey

bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır.

Bulanık çıkarsama sistemlerinin genel çalışma şeması Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Bulanık çıkarsama sistemleri genel çalışma şekli

Bulanık sistemler klasik sistemlerin geliştirilmiş bir biçimi olduğundan, aralık değerli sistemlerin geliştirilmiş bir biçimi gibi bakılabilir. En yaygın bulanık sistemler eğer-ise biçiminde tanımlanan kural tabanlı bulanık sistemlerdir. Otomatik kontrol sistemleri, karar destek sistemleri, uzman sistemler ve görüntü tanıma gibi birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

3.5.2. Mamdani Bulanık Modeli

Mamdani bulanık modeli ilk defa 1972 yılında buhar makinesini ve kazan bileşimini kontrol etmek için Prof. Ebrahim Mamdani² tarafından önerilmiştir. Bu model insan konuşma ve anlaşma yapısına uygun olduğundan dolayı kolay oluşturulabilmekte ve sıklıkla kullanılmaktadır.

² <http://www.iis.ee.ic.ac.uk/~amamdani/>

Bu modelde EĞER-İSE şeklinde gelen bulanık önermelerden oluşmaktadır ve uzman bilgisinden faydalanmaktadır. Bulanıklaştırma, çıkarsama, birleştirme ve durulaştırma aşamalarından oluşur.

Mamdani tipi bulanık modeller girdi olarak keskin değerler alırlar ve bulanık kümeyi keskin değere dönüştürmek için durulaştırma işlemini kullanırlar.

Bu modelin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir³;

- Oluşturulması basittir.
- Sezgiseldir.
- İnsan davranış ve duyularına uygundur.

3.5.3. Takagi-Sugeno Bulanık Modeli

Takagi-Sugeno bulanık modeli Takagi, Sugeno ve Kang tarafından 1985 yılında önerilmiş bir bulanık modeldir. Mamdani tipi bulanık model üzerine kurulmuş yeni bir model olarak düşünülebilir. Verilen bir giriş-çıkış kümesinden bulanık kuralları oluşturmak için sistematik bir yaklaşım getirmiştir. Keskin girdi değerlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani tipi bulanık modelleme ile aynıdır. İki model arasındaki temel fark çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Takagi-Sugeno tipi bulanık modelde çıktı üyelik fonksiyonu $z = f(x,y)$ şeklinde doğrusal bir üyelik fonksiyonudur.

Bu modelleme yaklaşımında kuralların İSE kısmı modelin girdi değişkenlerinin parametrelerinden oluşan eşitliği ifade ettiğinden dolayı Mamdani tipi bulanık modelindeki durulaştırma işlemindeki hesaplama yükü ve zaman kaybının önüne geçen basit bir matematiksel yaklaşım sunmaktadır.

Takagi-Sugeno tipi bulanık modelin avantajları⁴;

³<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html>

⁴<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html>

- Hesaplama için çok uygundur.
- Doğrusal olmayan sistemlerin kontrol edilmesi için doğrusal teknikler kullanılabilir.
- Optimizasyon ve uyarlanabilir tekniklerle birlikte iyi çalışır.
- Çıktı uzayında sürekliliği garantiler.
- Matematiksel analiz için uygundur.

3.5.4. Sugeno Bulanık Modeli

Sugeno tarafından önerilmiş bir modeldir. Takagi – Sugeno modeline göre daha çok sezgiye dayanmaktadır ve uygulanması kolay olduğu için de daha çok tercih edilmektedir.

4. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ

4.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Tanımı ve Özellikleri

Coğrafi Bilgi Sistemi kısa adıyla CBS dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik mekana/konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin; toplanması, işlenmesi, yönetimi, mekânsal analizi, sorgulanması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım, personel, coğrafi veri ve yöntem bütünüdür⁵. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde yer alan bilgiler konumsal bilgileri içermesinin yanında bu bilgileri açıklayan öznitelik bilgileri de içermektedir.

Harita destekli uygulamalarda veriler grafiksel olarak gösterilebildiğinden dolayı tüm verilerin tek bir çatı altında toplanıp analiz edilebilmesi Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bilgilerin tek bir çatı altında toplanması ve analiz edilebilmesi yeteneğinden dolayı da sistemin başarımı ve güvenilirliği daha da çok olacaktır. Coğrafi Bilgi Sistemleri yeryüzüne ait bilgileri coğrafik anlamda referansıyla birlikte ilişkilendirerek saklar. Bu da konumsal bilgi ve analizi için son derece önemli bir yaklaşım olarak göze çarpmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerini içeren dünya üzerinde çeşitli yazılımlar mevcuttur. Netcad, Arc/Info, Intergraph, MapInfo, Grass, SmallWorld, Genesis, Idrisi, vb gibi yazılım araçları coğrafi bilgi sistemlerindeki kavramları içeren araçlarıyla aşağıdaki problemlere çözüm ya da çözümler sunmaktadır:

- Elimde X bölgesine ait veriler nasıl bir dağılım göstermektedir?
- X ve Y bölgeleri arasındaki yol uzunluğu ne kadardır?
- X bölgesinde yaşayan insan sayısı kaçtır ve metrekareye kaç insan düşmektedir?

⁵ http://tr.wikipedia.org/wiki/Co%C4%9Frafi_bilgi_sistemi

- X bölgesinde bulunan maden rezervine minimum maliyetle hangi bölgeden kazı yaparak erişebilirim?
- Okul yapımına en uygun yer neresidir?
- A noktasından B noktasına en kısa hangi yolu kullanarak gidebilirim?

Eldeki verilerin sürekli olarak artmasından dolayı bu verilerin kontrolü de zorlaşmaktadır. Burada Coğrafi Bilgi Sistemlerinin özellikleri devreye girerek verinin kolay ve etkili bir biçimde kontrol edilmesi sağlanır. Coğrafi bilgi sistemleri veri tabanı yönetimi, coğrafi analiz yeteneği ve karar destek sistemi özelliklerinin hepsini içerdiğinden dolayı her geçen gün önemi artmaktadır.

Genel olarak günümüzde bütün CBS sistemlerinin yapılarında bulundurduğu karakteristikler aşağıdaki gibi özetlenebilir [55]:

- Konumla ilgili olan veya olmayan verilerle ilgilenir.
- Geniş veri tabanı kullanır.
- Özel CBS fonksiyonları vardır: Seçme, transfer, sorgulama, analiz ve sunma.
- Modelleme ve analitik kabiliyetleri bulunmaktadır.
- Her türlü kararları destekleme potansiyeli vardır.
- Farklı isteklere göre değişen özelliklere sahip kaliteli çıktı verme imkanına sahiptir.

4.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Bileşenleri

Coğrafi bilgi sistemlerinin beş temel bileşeni vardır. Bunlar:

1. Donanım

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin çalışmasını sağlayan bilgisayar ve yan ürünlerin tamamı olarak adlandırılır. Bilgisayar, yazıcı, tarayıcı gibi birçok farklı donanımı mevcuttur.

2. Yazılım

Coğrafi bilgileri depolama, işleme, analiz ve görüntüleme gibi işlemleri sağlayan bilgisayar programı olarak düşünülebilir.

3. Veri

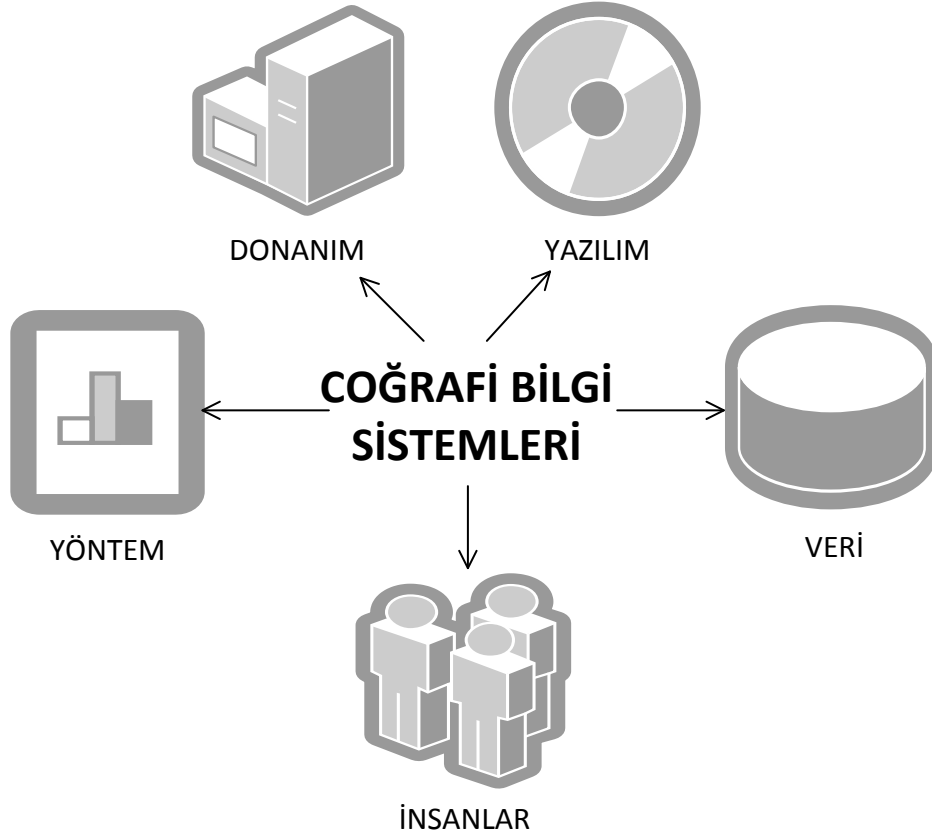
Grafik ve grafik olmayan veriler olarak ikiye ayrılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin temel ögesi olarak kabul edilmektedir. Fakat veri kaynaklarının çokluğu ve birçok farklı formatının olması veri toplama ve düzenleme işini oldukça zor ve maliyetli bir hale getirmektedir.

4. İnsanlar

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin kullanıcıları olarak insanlar CBS'nin önemli bir bileşenini oluştururlar. Çünkü gerçek dünya problemlerini çözmek için geliştirilmiş sistemler ve uygulamaları insanlar yönetmektedirler. Bundan dolayı Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin gelişmesi için de insanların bu gibi sistemleri kullanması ve isteklerini belirtmesi gerekmektedir.

5. Yöntem

Konuma dayalı verilerin belli standartlar çerçevesinde üretilmesi Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin daha iyi bir şekilde işlemlerini sağlamaktadır. Bundan dolayı kurumlara özgü olan bu uygulamalar CBS'nin önemli unsurlarından birini oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri temel bileşenleri

Tüm bu unsurlar Coğrafi Bilgi Sistemlerinin temel yapı taşı olarak düşünülebilir. Her birinin kendine özgü özel görev ve amaçları mevcuttur. Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımında ortak olarak bulunması gereken işlemler 4 ana başlık altında toplanabilir:

- Coğrafi veri girişi için gerçekçi aracı sunması
- Konumsal sorgulama, işleme, analiz ve görüntüleme yeteneğini içermesi
- Veri tabanı yönetim sistemine sahip olması
- Ek donanımlara bağlantılar için arayüz desteğinin olması

Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri yaşamımızın bir parçası haline geldiği için hemen hemen tüm alanlarda örnek uygulamalarını görmek mümkündür. Özellikle coğrafi verilerin söz konusu olduğu her alanda

çalışabilir bir sistem sunmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin genel uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Őehir planlaması
- Tarım planlaması
- Doğal kaynakların yönetimi
- Harita ve plan üretimi
- Arazi planlaması
- Savunma sanayi uygulamaları
- Jeoloji uygulamaları
- Pazarlama
- Nüfus yoğunluklarının belirlenmesi
- Turizm uygulamaları
- Telekomünikasyon uygulamaları
- Arkeoloji çalışmaları
- Adres yönetimi
- Sivil savunma
- Trafik sistemleri
- Kara, hava, deniz ulaşım ağları
- Toplu taşımacılık
- vb.

4.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri

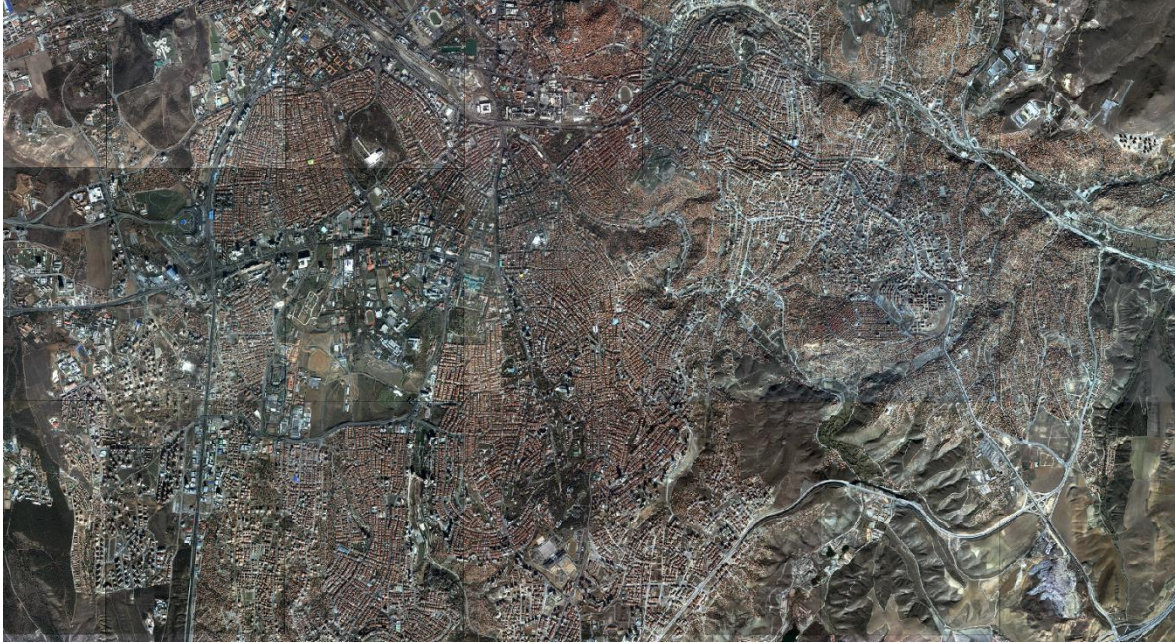
Coğrafi veriler belirli bir yerle ilişkilendirilmiş veri olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayı her nokta coğrafi kodlama ile konum ile ilişkilendirilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde kullanılan veriler grafik ve grafik olmayan veriler olarak iki gruba ayrılmaktadır.

4.3.1. Grafik Veriler

Verinin yeri, şekli ve sınırları gibi bilgileri vermektedir. Grafik veriler çeşitli kaynaklardan vektör ve raster formatında sağlanmaktadır.

1) Raster Veriler

Yeryüzündeki herhangi bir bölgenin piksel cinsinden görüntüsüdür. Birbirine komşu grid şeklindeki aynı boyuttaki hücrelerden oluşmaktadır. Dolayısıyla bir bölgenin raster gösterimi $i \times j$ pikselden oluşur. Uygu görüntüleri bu tipteki verilere örnek olarak gösterilebilirler. Raster verilerin metrik geometrileri de pikselin orta noktalarının koordinatlarıdır.



Şekil 4.2. Örnek bir raster veri görüntüsü⁶

2) Vektör Veriler

(x, y) koordinatlarıyla ifade edilen nokta, çizgi ve alanların çizgisel görüntüsüdür. 3 çeşit vektör verisi bulunmaktadır.

- **Nokta verileri:** Tek bir olgu ile ifade edilebilen veriler nokta verisi olarak adlandırılmaktadır. Örneğin; bir okulun bulunduğu yer

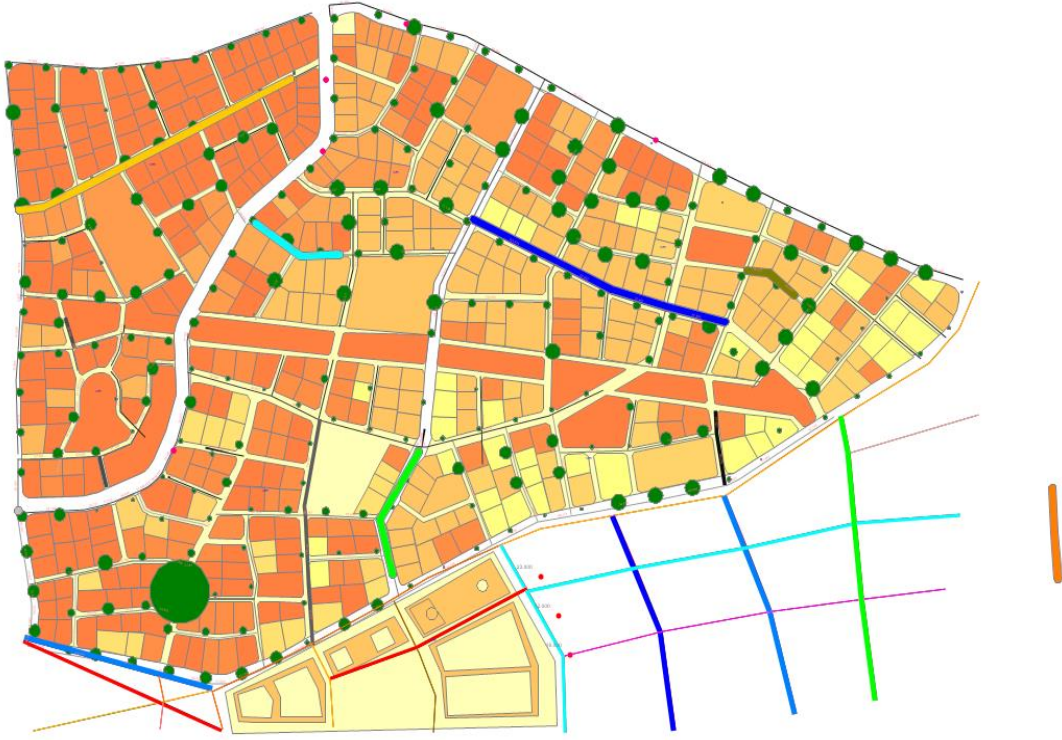
⁶ Veri Netcad Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş.'den temin edilmiştir.

- **Çizgi verileri:** Birden fazla noktanın birleşmesiyle oluşan verilerdir. Örneğin; Elektrik hatları, yollar, nehirler vb.
- **Alan verileri:** Belirli bir noktadan başlayıp tekrar aynı noktada son bulan ve bunun sonucunda alan tipinde şekil oluşan verilerdir. Örneğin; Göller, ormanlar, arsalar vb.



Şekil 4.3. Çizgi verilerinden oluşan örnek bir vektör veri⁷

⁷ Veri Netcad Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş.'den temin edilmiştir.



Şekil 4.4. Çizgi, nokta ve alan verilerinden oluşan örnek bir vektör veri⁸

4.3.2. Grafik Olmayan Veriler

Coğrafi Bilgi Sistemleri'ndeki grafik verileri tanımlayan fakat grafik olmayan bilgileri oluşturmaktadır. Harita üzerinde olan verilerin detayları ile ilişkili verilerdir.

⁸ Veri Netcad Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş.'den temin edilmiştir.

5. GeoFIS YAZILIMI

GeoFIS yazılımı açık kaynak kodlu coğrafi bilgi sistemi yazılım kütüphanesi üzerine kurulmuş, bulanık mantık ve bulanık çıkarsama sistemlerini içerisine alan ve veri üzerinde analiz/çıkarsama yapabilen bir yazılımdır. GeoFIS yazılımı gerçekleştiriminde iki noktaya önem verilmiştir:

- Kendi başına çalışabilir bir uygulama olması
- Heyelan duyarlılık haritası üretme sürecindeki tüm aşamaları içeren tek bir platform olması

Bu gereksinimleri karşılamak için açık kaynak kod kütüphanesi olan DotSpatial⁹ ve FuzzyNet¹⁰ kütüphaneleri GeoFIS yazılımı içerisinde kullanılmıştır.

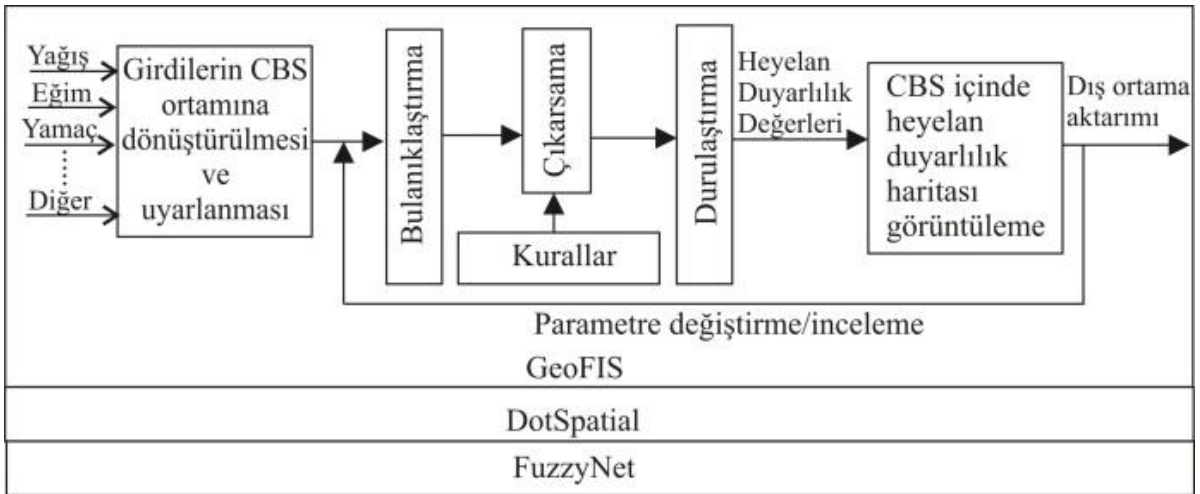
DotSpatial kütüphanesi “.NET” uygulama çerçevesiyle yazılmış açık kaynak kodlu bir coğrafi bilgi sistemi yazılım kütüphanesidir. FuzzyNet ise yine .NET için geliştirilmiş, içerisinde Mamdani bulanık çıkarsama sistemi desteği olan yazılım kütüphanesidir. GeoFIS bu iki kütüphaneyi sarmalayarak kullanan, .NET uygulama çerçevesi ile geliştirilmiş, örnek haritaların gösterilmesini sağlayan, raster veri, resim gibi çeşitli veri formatları destekleyen bir yazılımdır. Ayrıca harita üzerinde veri analizi ve modellemesi yapılmasına da olanak vermektedir. Şekil 5.1’de GeoFIS yazılımının genel görünümü verilmiş ve aşağıda da uygulamanın temel özellikleri listelenmiştir:

- Bütünleştirilmiş CBS ve bulanık çıkarsama modülleri ile çözümün gereksediği tüm işlemleri içeren tek platform
- Başka uygulamalara ihtiyaç duymadan kendi başına çalışabilir masa üstü uygulama
- Uzman bilgisini etkin kılan modelleme özelliği
- Toplu girdi-çıkı işlemleri gerçekleştirme

⁹ <http://dotspatial.codeplex.com>

¹⁰ <http://sourceforge.net/projects/fuzzynet>

- Anında haritalama/görsel inceleme
- Bölgesel çıkarsama modelleri kurabilme
- Seçili alanlar için model davranışını ayrıntılı inceleme/günleme
- Kullanıcı dostu arayüzler
- Harita üzerinde etiketleme özelliği
- Projeksiyon desteği
- Etiketleme/Semboloji desteği



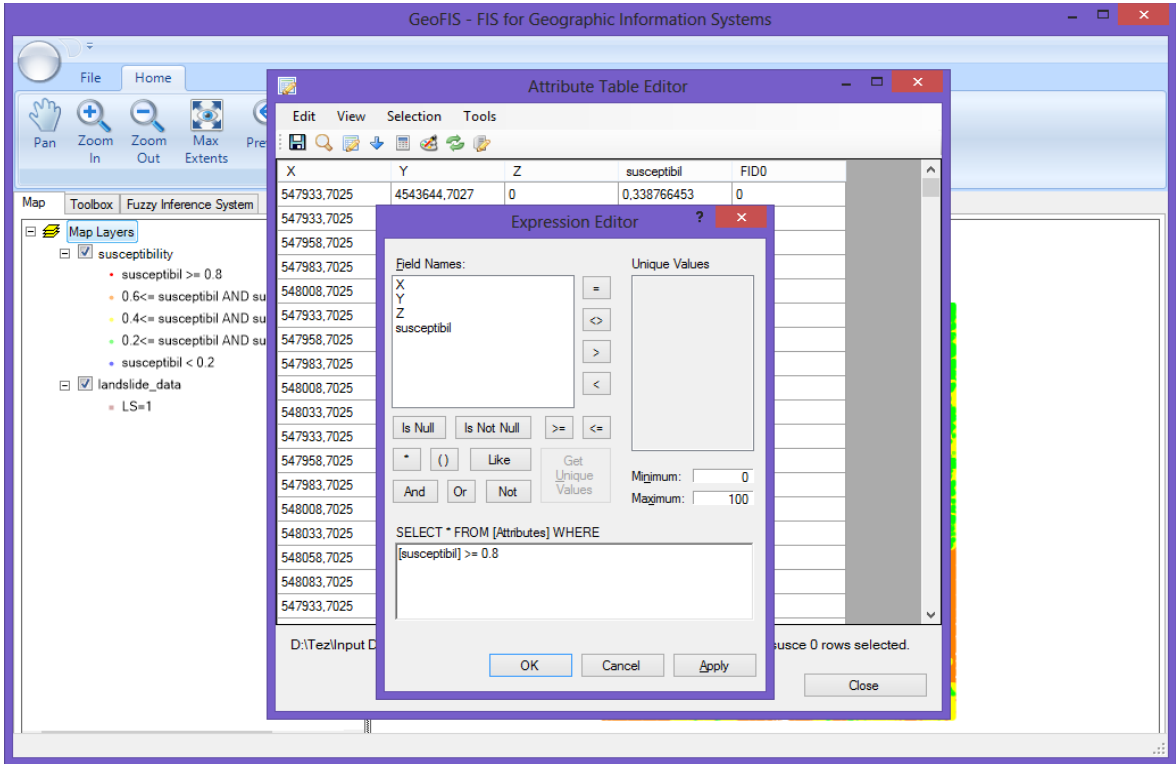
Şekil 5.1. GeoFIS yazılımı genel bileşen görünümü

GeoFIS uygulaması içerisinde Mamdani türünde bir bulanık çıkarsama modeli olup, bu modelin gerektirdiği tüm aşamalara sadık kalınmıştır. Bu yazılım içerisinde bulanık üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyon desteklenmektedir. Bulanık kümeler arası kesişim işlemi için $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x)$ ve birleşim işlemi için $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x)$ yaklaşımı seçilmiş, eşlik prensibi sağlanmıştır. Durulaştırma aşamasında ise ölçekleme yaklaşımı desteklenmiştir. Durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi, maksimum üyelik derecesinin en büyüğü, maksimum üyelik derecesinin en küçüğü ve maksimumların ortalaması yöntemleri uygulama içerisinde mevcuttur.

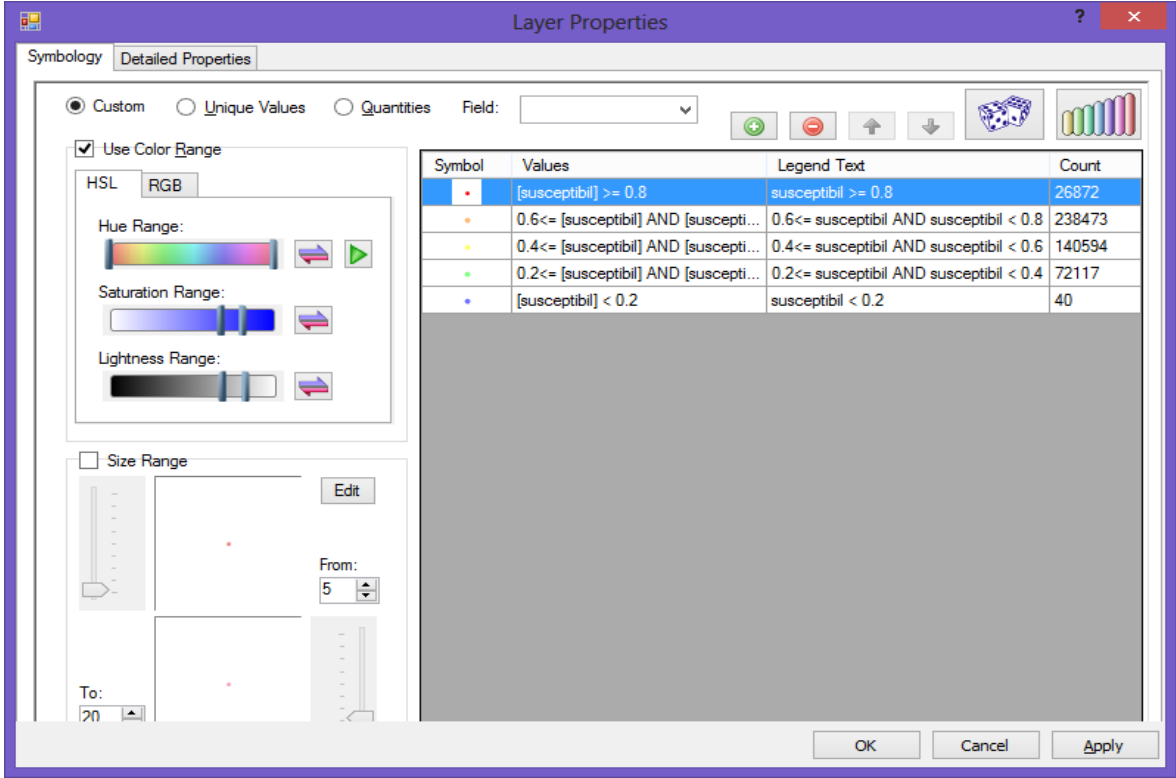
GeoFIS yazılımı vektör dosya formatındaki verileri sisteme kolaylıkla aktarabilmektedir. GeoFIS yazılımı içerisinde desteklenen .shp uzantılı dosya formatı coğrafi bilgi sistemlerinde popüler bir vektör veri formatıdır. Uygulamaya .shp uzantılı dosya formatındaki veriler

doğrudan aktarılabileceği gibi bu formatta olmayan metin, excel dosyalarındaki veriler de uygulamada bulunan "veri aktar" seçeneğiyle coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılabilecek formata (.shp) çevrilebilmektedir. Bunun için excel ya da metin dosyasındaki verilerin hangi koordinatlarda olduğu bilgisinin belirtilmesi yeterli olmaktadır. Uygulama ortamına aktarılan veriler özelliklerine göre renklendirilebilmektedir. Böylelikle görsel olarak harita üzerinde aktif bir şekilde sonuçlar görülebilmektedir.

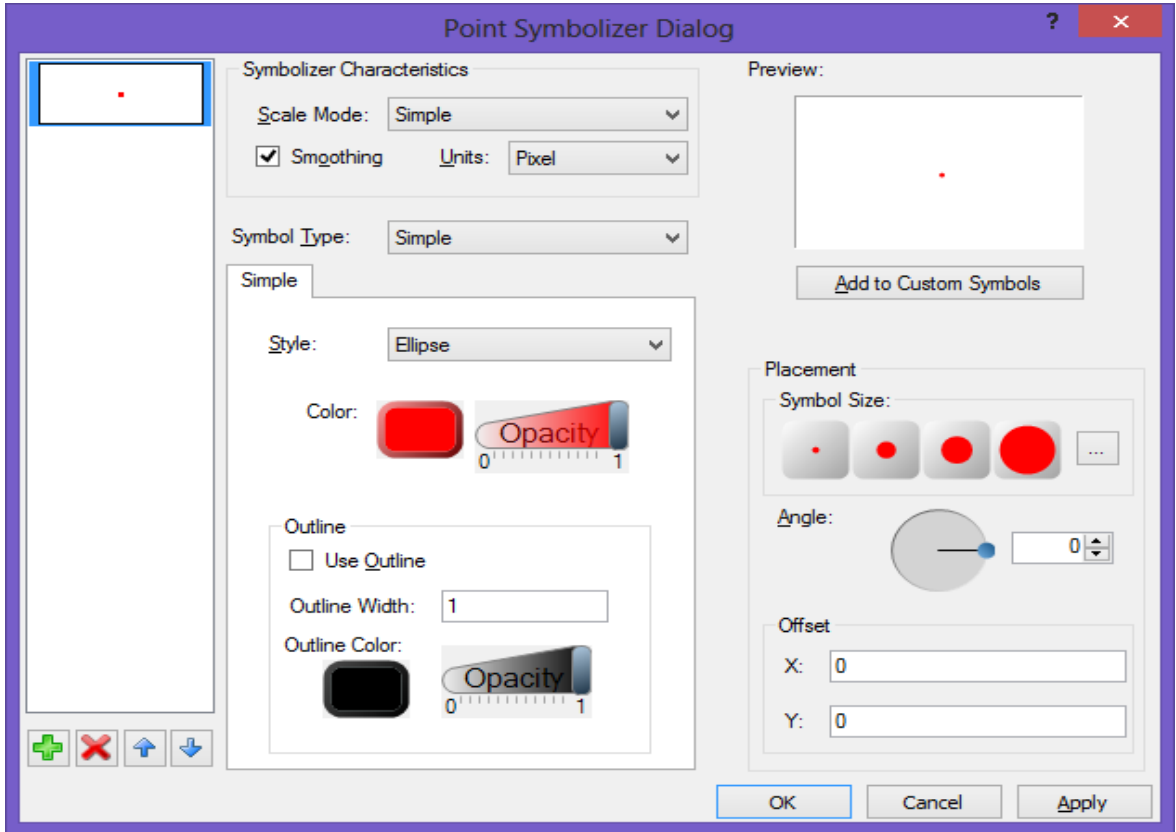
Heyelan duyarlılığını etkileyen faktörlerden yağış miktarı, eğim, toprak yapısı gibi veriler GeoFIS üzerindeki *veri ekle* işlemiyle uygulamaya aktarılır. İhtiyaç duyulması durumunda veri üzerinde sorgu ifadeleri yazılarak veri hakkında daha geniş bilgi edinilebilmektedir(Şekil 5.2). Ayrıca yazılan sorgu gruplarına göre veriler farklı renklere boyanıp veri hakkında daha da net bilgi elde edilip verinin görsel ifadesi sağlanabilir(Şekil 5.3). Renklendirme işlemi içinde Şekil 5.4'te belirtildiği üzere değişik kombinasyonlar mevcuttur.



Şekil 5.2. Veri sorgulama/inceleme arayüzü



Şekil 5.3. Örnek bir verinin değişik gruplara göre renklendirilmesi ve gruplardaki toplam eleman sayısının incelenmesi

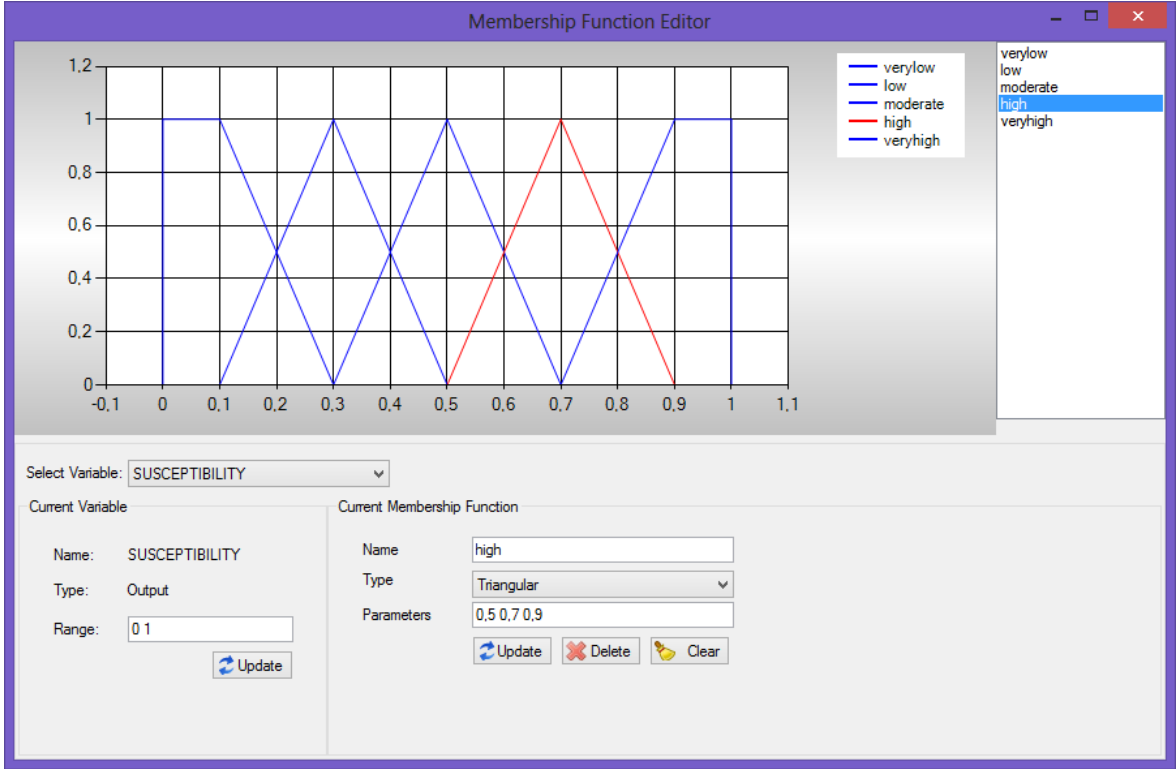


Şekil 5.4. Semboloji/renklendirme arayüzü

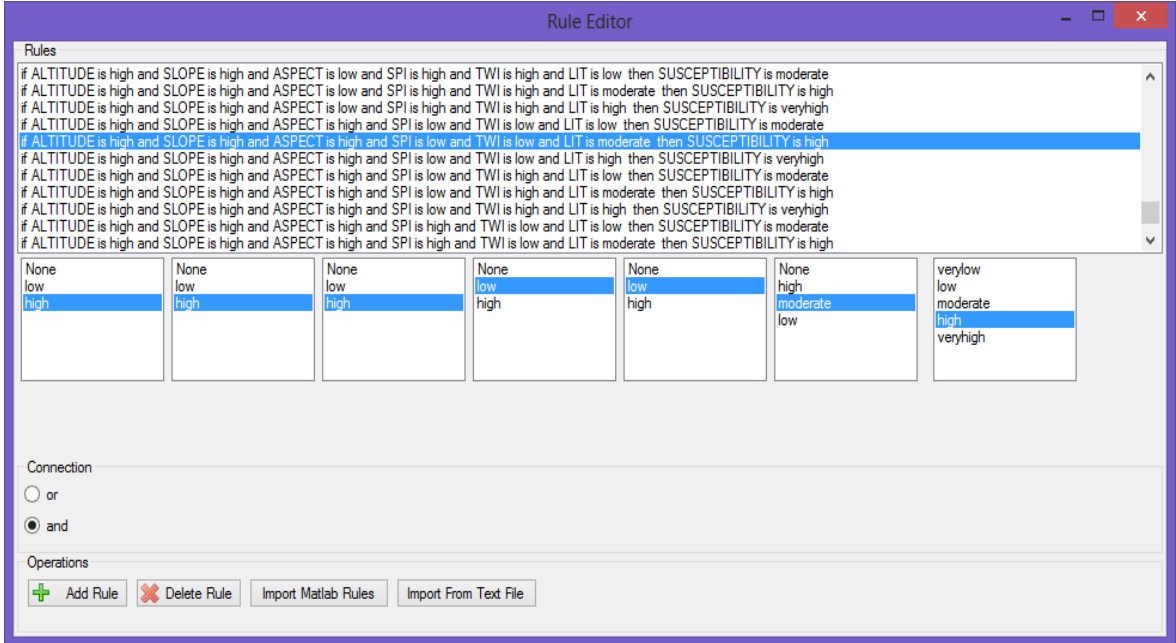
Verileri uygulamaya aktardıktan sonra uygulama içerisinde bulanık çıkarsama sistemi tanımlaması adımına geçilir. Harita üzerinden belli bir bölge seçilip bunun üzerinde çalışılabileceği gibi tüm harita üzerinde de çalışılabilmektedir. Belli bölgeler üzerinde seçim yeteneği uzmanın yüklenen haritada belli bir bölge için ayrıntılı çalışma isteğini karşılayabilme, harita içinde yerel çalışma bölgeleri oluşturabilme ve aynı haritadaki farklı bölgeler için farklı bulanık modelleme yapabilme gibi gereksinimleri karşılamak için eklenmiştir. Çünkü aynı harita içindeki farklı bölgelerin, bulanık bağlamları yani uzman bakış açısı birbirinden farklı olabilmektedir.

Bulanık çıkarsama sistemi için öncelikle hangi verilerin girdi olarak kullanılacağı seçilerek belirlenir. Seçilen değerlerin en küçük ve en büyük değerleri görsel olarak ekranda görülebilecektir. Bu değerler bulanık değişkenlerimizin en küçük ve en büyük değeri olarak güncellenmektedir. Daha sonra bu değer aralıklarının uzman görüşüne bağlı olarak değiştirilmesi de uygulama yetenekleri arasında mevcuttur.

Girdi değerlerini belirledikten sonra sistemin üyelik fonksiyonları ve kurallarının tanımlanacağı bölüme geçiş yapılır. Tanımlanan her girdi için o girdi değerinin alacağı değer aralıklarına göre üyelik fonksiyonları tanımlanır (Şekil 5.5). GeoFIS yazılımı içerisinde üyelik üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları desteklenmektedir. Üyelik fonksiyonlarını tanımladıktan sonra bulanık çıkarsama sisteminin kurallarının tanımlanması aşamasına geçilir. Bulanık kural tabanı, kontrol amacını gerçekleştirmek üzere tasarlanmış bulanık kontrol kurallarını içermektedir. Uzman bilgisinin neden-sonuç ilişkisi içerisinde ifade edilebildiği bu kısım Şekil 5.6'deki arayüzde gösterilmektedir. Tanımlanan üyelik fonksiyonları kullanılarak sistemin bulanık kuralları uzman tarafından belirlenir ve kural tabanı oluşturulur. Tüm bu aşamalar tamamlandıktan sonra bulanık çıkarsama sistemi için gerekli parametreler belirlenmiş olur.



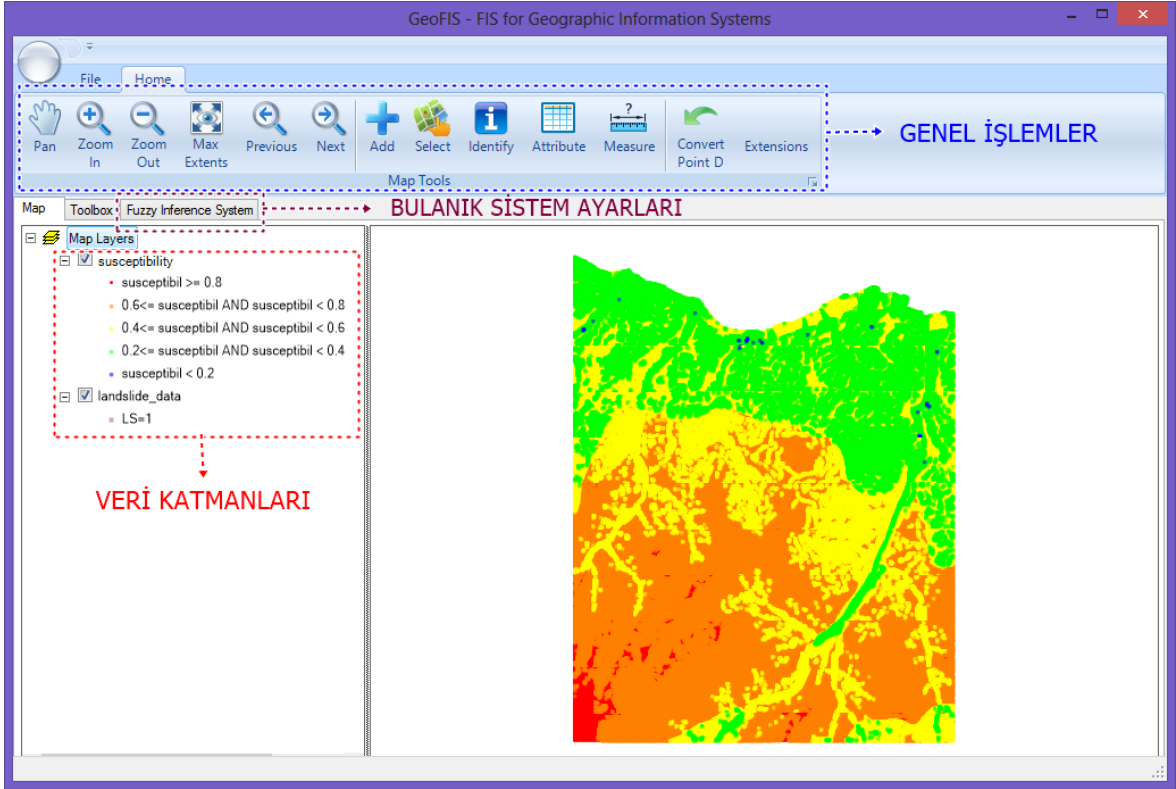
Şekil 5.5. Üyelik fonksiyonu tanımlama ve değiştirme arayüzü



Şekil 5.6. Bulanık çıkarılma sistemi için kural tanımlama arayüzü

Bulanık çıkarılma sisteminin gerek duyduğu tüm parametreler tanımlandıktan sonra sistem çalıştırılıp sonuçlar görülebilir. Sistem çalıştırdıktan sonra hesaplanan heyelan duyarlılık değerleri ayrı bir katman olarak haritaya eklenir (Şekil 5.7). GeoFIS içerisinde yer alan etiketleme

ve semboloji yetenekleri kullanılarak istenildiği gibi veri güncellenebilmektedir. Böylelikle farklı eşik değerleri için yapılan farklı renk tonlamaları ile yüksek duyarlılıkların görsel ifadesi gerçekleştirilir.



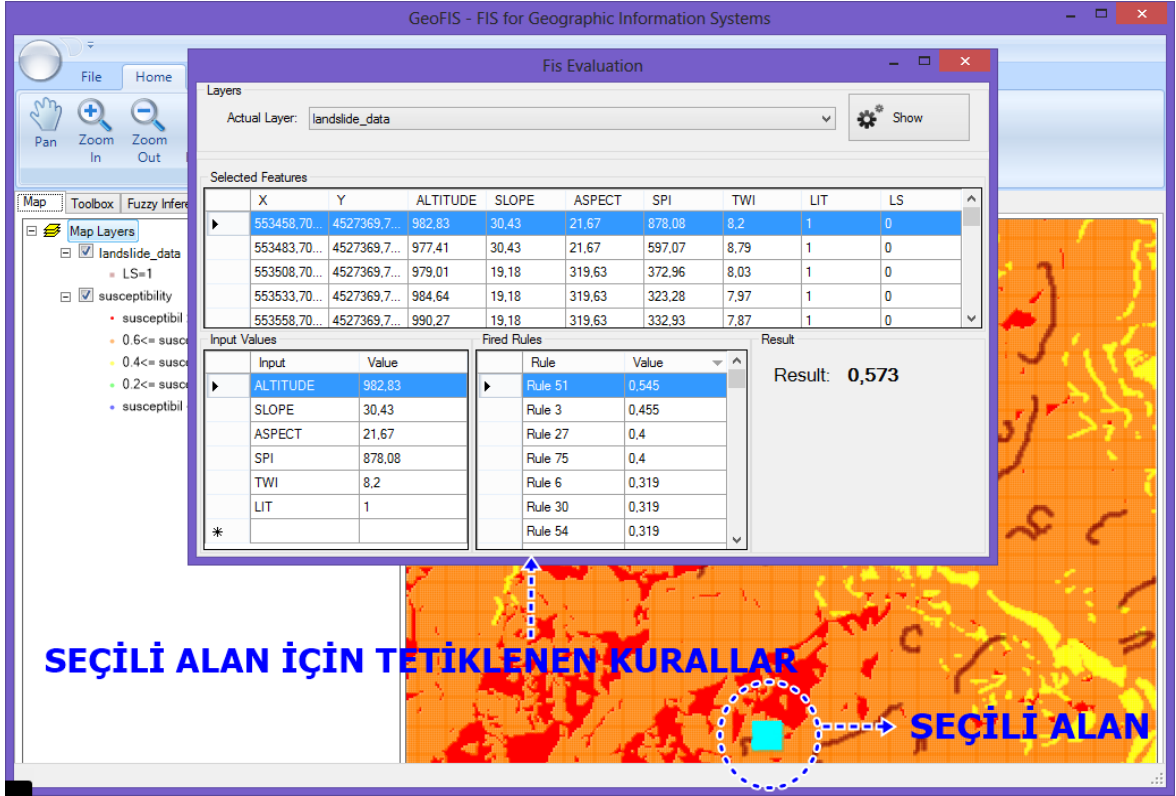
Şekil 5.7. Bulanık çıkarsama sistemi kullanılarak oluşturulan harita

Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile heyelan envanteri üst üste bindirilerek gerçekleşmiş heyelan olaylarının çıkarsama sonuçları ile ne kadar örtüştüğünü görsel olarak incelemek de mümkündür. Gerçek verilerle sistemin ürettiği veriler karşılaştırılarak ters mühendislikle hangi kuralların ve üyelik fonksiyonlarının doğru değerleri üretmede daha fazla etkiye sahip olduğu belirlenebilir. Uygulamada belli bir bölge seçilip bu bölgede hangi kuralların hangi üyelik dereceleriyle tetiklendiği incelenerek kuralların iyileştirilmesi için geri bildirim sağlanır. Şekil 5.8'de gösterildiği gibi üretilen harita üzerinde bir bölge seçilip bu bölgedeki girdi değerlerinin neler olduğu görülebilmektedir. Aynı zamanda bu girdi değerlerine bağlı olarak üretilen bulanık çıkarsama keskin değerlerine hangi kuralların ne derece tetiklenerek etki ettikleri de gözlemlenebilmektedir. Kurallar ve üyelik fonksiyonları bu geri

bildirime göre yeniden revize edilerek toplamda modelin iyileştirilmesi sağlanmış olur. Revize edilen parametre değerleri tüm harita üzerine yaygınlaştırılabilir ya da geri alınabilir. Tüm parametreler belirlendikten sonra uygulama haritanın tümü üzerinde çalıştırılır ve her bölge için ayrı ayrı çıktı değerleri üretilir. Çizelge 5.1’de örnek bir çalışmaya ait bilgiler bulunmaktadır:

Çizelge 5.1: Örnek bir çalışmaya ait bilgiler

İşlemci	İntel Core i7 – 3632QM 2.20 GHz
İşlemci Türü	64 bit işlemci
RAM	8 GB
Toplam Veri Sayısı	~478.000
Toplam Girdi Sayısı	6
Toplam Kural Sayısı	96
Çalışma Süresi	~15 dakika



Şekil 5.8. Seçili bir alandaki girdi değerleri ve tetiklenen kurallar

GeoFIS yazılımını kullanarak heyelan duyarlılık haritası üreten bir uzmanın uygulamada kullanabileceği yetenekler Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Uzman uygulamaya veri ekleyebilmekte, veri üzerinde analiz ve sorgulama yapabilmekte ve bulanık çıkarsama sistemi kurup sonuçlarını görebilmektedir.

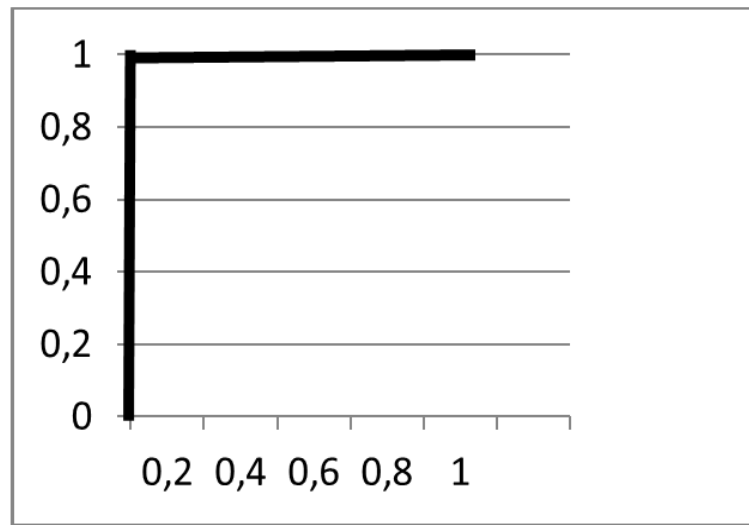


Şekil 5.9. GeoFIS uygulamasını uzmana sağladığı yetenekler

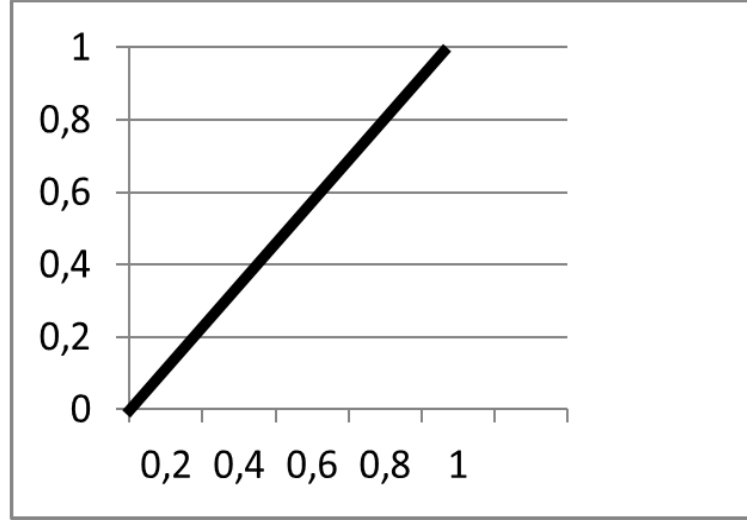
6. ROC ANALİZİ

ROC eğrisi, ikili sınıflandırma sistemlerinde ayırım eşik değerinin farklılık gösterdiği durumlarda, hassasiyetin kesinliğe olan oranıyla ortaya çıkmaktadır. Daha basit anlamda ise doğru pozitiflerin yanlış pozitiflere olan kesri olarak da ifade edilebilir [58].

Bir ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitifler(duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflerin (1-özgüllük) oranlarının yer aldığı bir eğridir. ROC eğrisi üzerindeki her nokta, farklı eşik değerlerine karşılık gelen duyarlılık ve 1-özgüllük değerlerini ortaya koyar. Genelde düşük yanlış pozitiflik oranlarını veren eşik değerleri, düşük doğru pozitiflik oranına da sahiptir [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70]. Doğru pozitif oranının yüksek, yanlış pozitif oranının düşük olduğu sonuçlar başarılı sonuçlar olarak adlandırılmaktadır. ROC eğrisi $y = x$ eksenine yaklaştıkça başarının seviyesi düşer. Sistemin başarısının tek bir değer ile ifade edilmesi ROC eğrisinin altında kalan alan ile ifade edilmektedir. Bu alan değeri ne kadar büyük ise sistemin güvenilirlik değeri de o kadar yüksek olur. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de ROC eğrisinin en iyi ve en kötü durumlarının grafiksel gösterimi görülmektedir.



Şekil 6.1. ROC eğrisinin en iyi durumunu gösterir grafik



Şekil 6.2. ROC eğrisinin en kötü durumunu gösterir grafik

ROC analizi yapılırken bir sınıflandırma yapılmaktadır. Bu sınıflandırmanın sürekli olması durumunda bir eşik değeri belirlenip bu eşik değerine göre değişken iki sonuçlu hale getirilir. Dolayısıyla değişken değeri bu eşik değerine göre pozitif(P) ve negatif(N) olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Tahmin ve gerçek değerler bu sınıflamadan geçirildiğinde dört farklı sınıfa ayrılmış olurlar. Bunlar;

1. Eğer tahmin edilen değer pozitif(P) ve gerçek değer de pozitif(P) ise doğru pozitif(TP) olarak adlandırılır.
2. Eğer tahmin edilen değer pozitif(P) ve gerçek değer negative(N) ise yanlış pozitif(FP) olarak adlandırılır.
3. Eğer tahmin edilen değer negatif(N) ve gerçek değer de negatif(N) ise doğru negatif(TN) olarak adlandırılır.
4. Eğer tahmin edilen değer negatif(N) ve gerçek değer pozitif(P) ise yanlış negatif(FN) olarak adlandırılır.

Anlatılanları çizelge şeklinde gösterecek olursak Çizelge 6.1'deki görünümü elde ederiz.

Çizelge 6.1: ROC analizi sınıflandırması sonucu oluşan çizelge

		Gerçek Değer	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Edilen Değer	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

Belli bir sınıfa ait kestirilen koşullu olasılıklar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [71]:

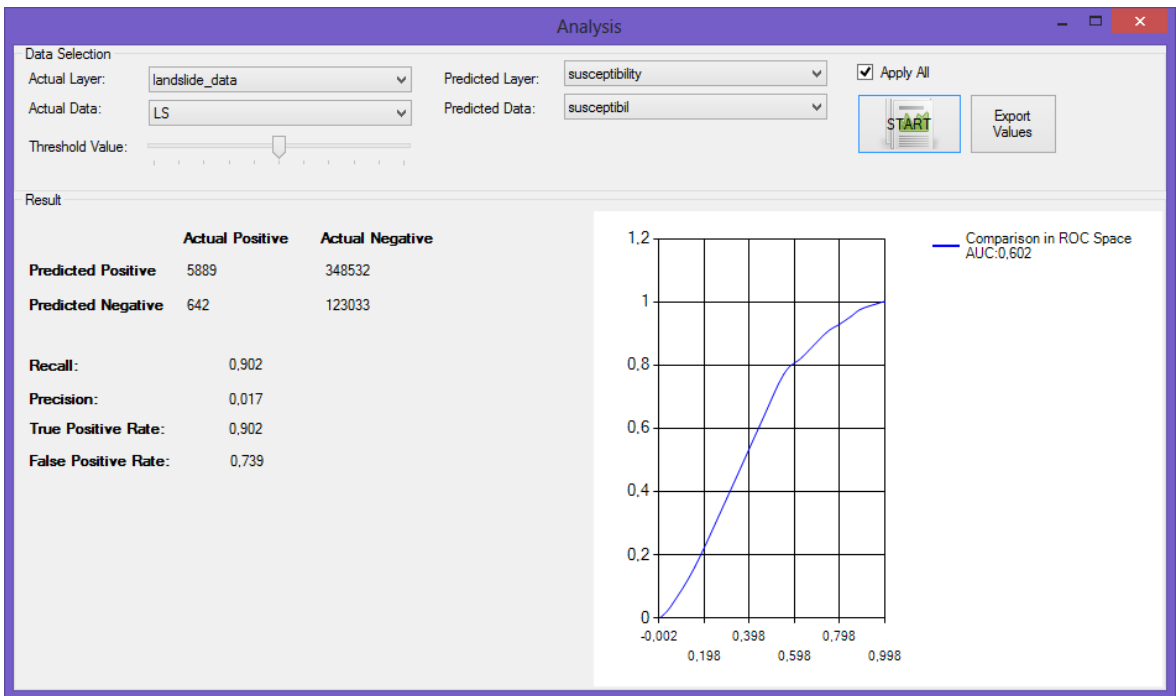
- **Duyarlılık(Doğru Pozitif Oran):** Gerçekte pozitif olanlar içinden uygulanan test sonucunda pozitif olarak bulunanların oranını ifade eder.
- **Özgüllük(Doğru Negatif Oran):** Gerçekte negatif olanlar içinden uygulanan test sonucunda negative olarak bulunanlarının oranını gösterir.
- **Yanlış Pozitif Oran (1-Özgüllük):** Gerçekte negatif olanlar içinden uygulanan test sonucunda pozitif olarak bulunanların oranını ifade eder.
- **Yanlış Negatif Oran:** Gerçekte pozitif olanlar içinden uygulanan test sonucunda negatif olarak bulunanların oranını ifade eder.

GeoFIS uygulaması gelişmiş Coğrafi Bilgi Sistemi ve bulanık çıkarsama özelliklerinin yanında analiz yapabilme yeteneklerine de sahiptir. ROC analizi ile bulanık çıkarsama ile üretilmiş veriler analiz edilebilmektedir. Şekil 6.1, GeoFIS içerisinde ROC analizinin yapıldığı bölümün örnek ekran görüntüsünü içermektedir. Ekran görüntüsünden de görülebileceği gibi toplamda 6531 adet heyelan olmuş bölgeden 5889 tanesi doğru olarak tahmin edilmiştir. Uygulamanın 642 adet bölgede heyelan olmaz tespiti ise gerçekte olduğu için hatalı olarak oluşmuştur. Heyelan tespitinin doğru yapıldığı ve yanlış yapıldığı tahminler

oranlandığında ise yüksek bir oranda gerçekte heyelan olmuş bölgelerin tespit edildiği saptanmıştır. Tahmin sonuçları Çizelge 6.2’de daha ayrıntılı olarak görülebilecektir. Eğri altında kalan alan ise 0.602 olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.2: Karışıklık Matrisi(Confusion Matrix)

		Gerçek Değer	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Edilen Değer	Pozitif	5889	348532
	Negatif	642	123033



Şekil 6.1. GeoFIS uygulamasındaki ROC analiz sonuçları

7. İNCELEME ALANI VE VERİ SETİ

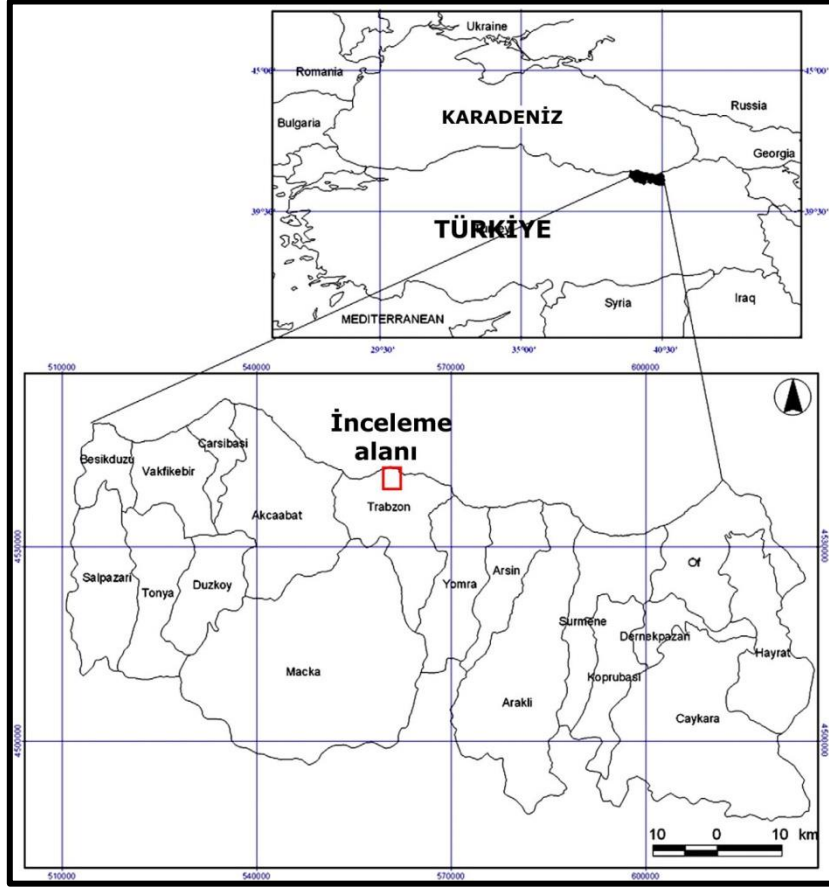
7.1. İnceleme Alanı

İnceleme alanı olarak seçilen su toplama havzası, Trabzon iline bağlı Değirmendere vadisinin bir kısmını içine alan yaklaşık 300 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 7.1). Trabzon - Erzurum karayolunu da içeren çalışma alanında, Değirmendere'nin açmış olduğu vadinin her iki yamacında değişik zamanlarda ve farklı türlerde kütle hareketlerinin gerçekleştiği bilinmektedir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinin kütle hareketi yoğunluğuna bakıldığında, başta 1988 yılında Maçka iline bağlı Çatak Köyü'nde meydana gelen ve 12 kişinin yaşamını yitirmesine ve binlerce liralık maddi hasarın meydana gelmesine neden olan katastrofik Çatak heyelanı, 2010 yılında ise yine aynı vadi içerisinde yer alan ve Trabzon merkeze bağlı Kaymaklı Mahallesi'nde meydana gelen ve 2 kişinin ölümüne neden olan kaya düşmesi olayları inceleme alanında meydana gelen son yıllardaki önemli kütle hareketlerinin başlıcalarındandır. Bunların dışında, aynı alan içerisinde oldukça fazla sayıda kaya düşmesi, moloz akması, heyelan gibi kütle hareketlerinin meydana geldiğini de söylemek mümkündür.

Verilen bu örneklerden de anlaşılacağı üzere inceleme alanı kütle hareketleri, özellikle de heyelanlar açısından oldukça duyarlı bir morfoloji ve jeolojiye sahiptir.

İnceleme alanında deniz seviyesinden 1350 metre seviyesine değişen yükseltilere sahip olduğu görülmektedir. Sarp ve oldukça dik eğime sahip yamaçları barındıran alanda, çoğunlukla oldukça yüksek ayrışma derecesine sahip volkanik-volcano tortul özellikte olan kaya gruplarının yüzeylendiği görülmektedir.



Şekil 7.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası ([73]'den değiştirilerek alınmıştır).

İnceleme alanında iklim nispeten yumuşak olup, yazları nemli, kışları ise yağışlı geçmektedir. Uzun yıllar ortalamasına bakıldığında yaklaşık 800 mm'lik bir yağış miktarının gerçekleştiği görülmektedir [74].

7.2. Veri Seti

Tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık çalışmalarında sıklıkla kullanılan verilerden topoğrafik ve jeolojik veriler kullanılmıştır. Buna ilave olarak, seçilen inceleme alanında meydana gelmiş heyelan lokasyonları, kurulan modelde kullanılmak üzere veri seti olarak dikkate alınmıştır. Bu çerçevede, topoğrafik veri olarak morfolojik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, akarsu güç indeksi (SPI), topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) verileri kullanılmıştır. Jeolojik veri olarak ise, MTA tarafından hazırlanan 1:100.000 ölçekli jeoloji haritasından yararlanılmıştır. Heyelan verisi olarak, MTA tarafından hazırlanan ve

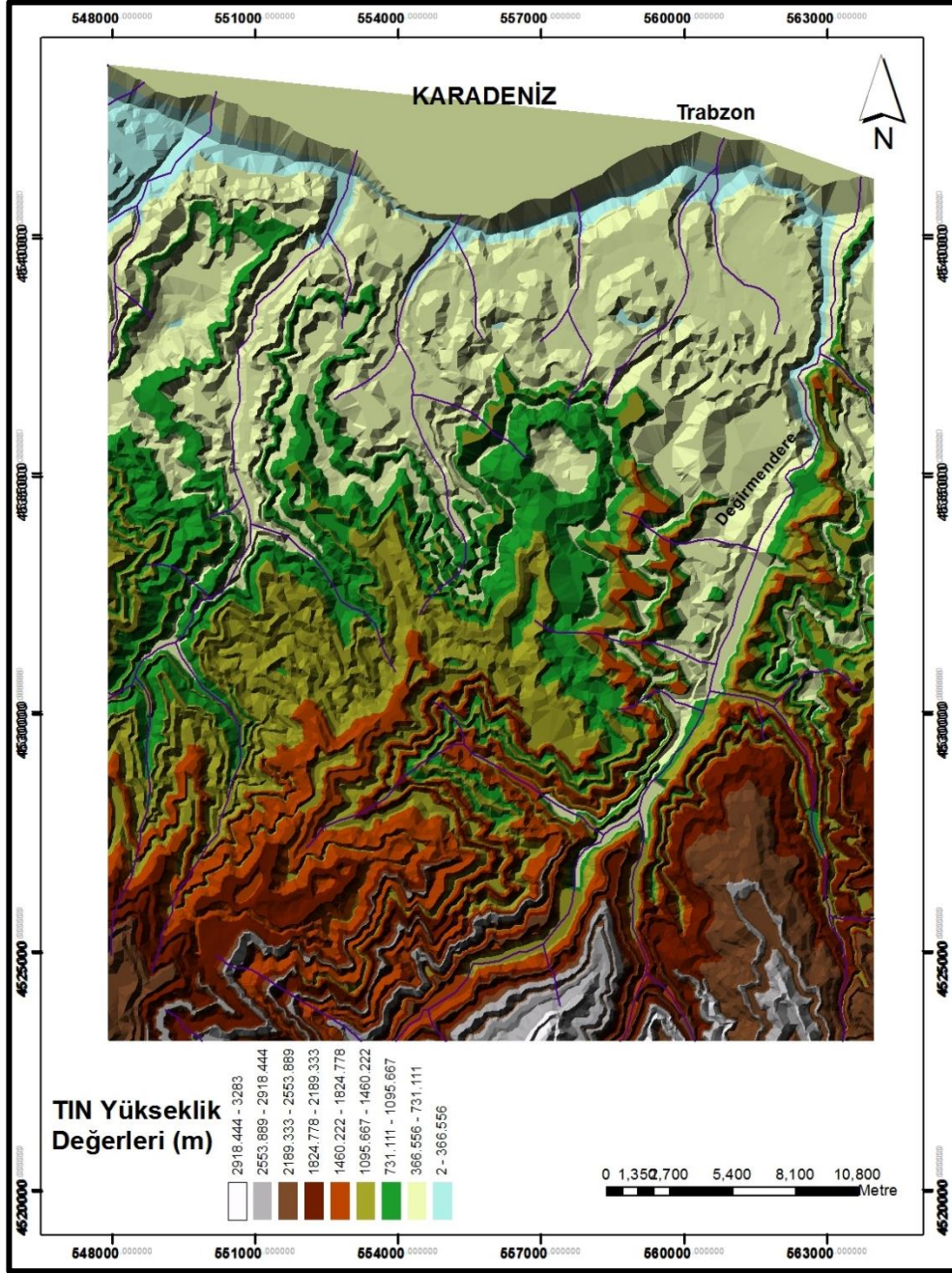
1:25.000 ölçekli olan Türkiye Heyelan Envanter Haritasında yer alan heyelan verilerinden yararlanılmıştır.

Sözö edilen verilerin elde edilme şekilleri ve bunlara ilişkin genel özellikler aşağıda bölümlerde sunulmuştur.

7.2.1. Topoğrafik Yükseklik

Topoğrafik yükseklik verisi için 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita kullanılmıştır. Basılı olan topoğrafik harita ArcGIS 9.3.1 yazılımı kullanılarak eş yükselti eğrileri 10 m'de bir geçecek biçimde sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan topoğrafik harita kullanılarak öncelikle TIN veri modeli yardımıyla sayısal yükseklik modeli (SYM) elde edilmiştir (Şekil 7.2). Bu model, çalışmada topoğrafik veri olarak kullanılan diğer verilere de altlık teşkil etmesi açısından son derece önemlidir. TIN veri modelinde elde edilen SYM, mekansal çözünürlüğü 25 metre olacak biçimde raster veri modeline dönüştürülmüştür. Böylelikle, diğer ikincil topoğrafik verilerin elde edilmesi daha kolay biçimde sağlanmıştır.

Elde edilen SYM verisine bakıldığında inceleme alanındaki ortalama yükseklik değerlerinin minimum 100 m, maksimum 1350 m ve ortalama 590 m olduğu görölmektedir. Topoğrafik veri ile ilgili elde edilen tanımsal istatistik değerleri Çizelge 7.1'de sunulmuştur.

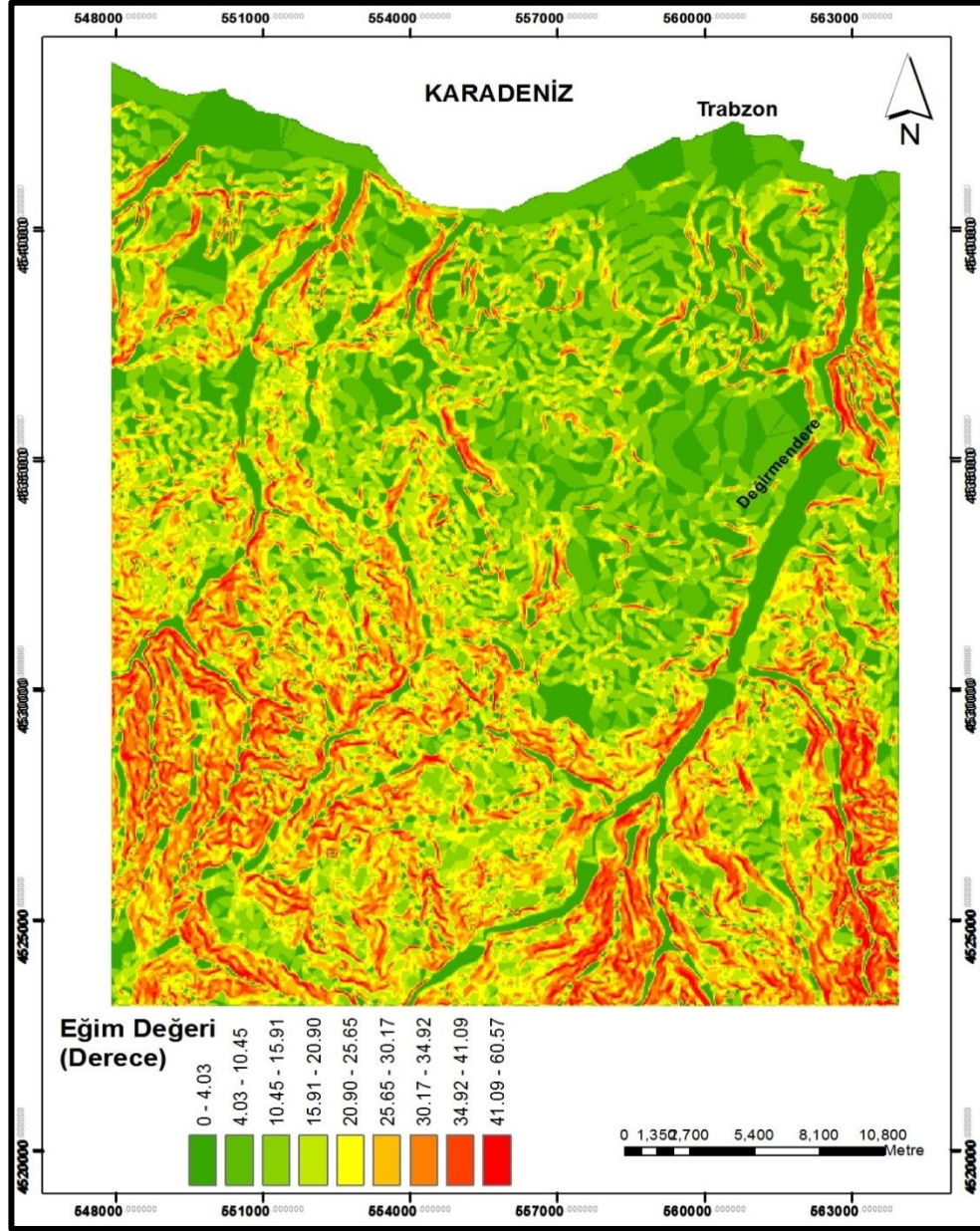


Şekil 7.2. İnceleme alanına ait TIN modelinde oluşturulmuş sayısal yükseklik modeli (SYM).

7.2.2. Eğim

Elde edilen SYM kullanılarak yine ArcGIS 9.3.1 yazılımı yardımıyla alana ait yamaç eğimi verisi elde edilmiştir. Elde edilen veriye göre inceleme alanındaki yamaçların 0 dereceden 68 dereceye değiştiği, ortalama yamaç eğimlerinin ise yaklaşık 21 derece olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7.1). Belirlenen yamaç eğimlerinin, ayrışmış ve zayıf litolojik özelliğe

sahip kaya birimleri ile bir araya gelmesi durumunda, yamaçların heyelan gibi kütle hareketlerine son derece duyarlı bir hal kazandığı da bölgede yapılan benzer çalışmalarda vurgulanmıştır [13] [73].

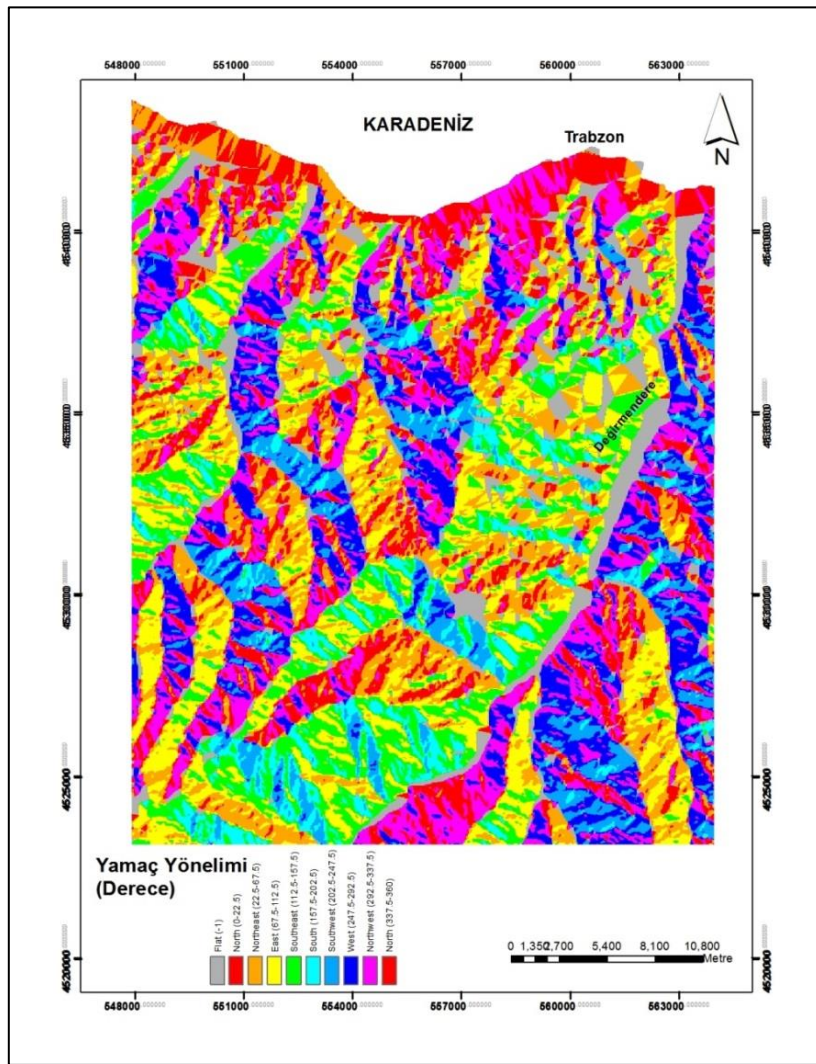


Şekil 7.3. İnceleme alanına ait SYM'den üretilmiş yamaç eğimi verisi.

7.2.3. Yamaç Yönelimi

Üretilen SYM verisinden üretilen ikincil topoğrafik verilerden bir diğeri ise yamaç yönelim, bilinen diğeri ismiyle bakı verisidir. Yamaç yönelimi, topoğrafik yamaçların 0-360 derece arasında hangi yöne doğru

yönelmiş olduğu ifade eden sayısal bir değere karşılık gelmektedir. Bu veri, daha fazla yağış, rüzgar, güneş ışınımı alanların belirlenmesine, dolayısıyla sözü edilen bu özelliklerin kütle hareketi oluşumuna nasıl bir etkide bulunduğu irdelenmesine olanak verdiği ilgili heyelan duyarlılık literatüründe yapılmış benzer çalışmalarda da belirtilmiştir [73] [75] [76]. Tez alanı için hazırlanmış olan yamaç yönelim haritasına bakıldığında, inceleme alanındaki yamaçların çoğunlukla 143 derecelik yönelim ile güneydoğuya doğru bakmakta oldukları belirlenmiştir (Çizelge 7.1).



Şekil 7.4. İnceleme alanına ait SYM'den itibaren üretilmiş yamaç yönelim verisi.

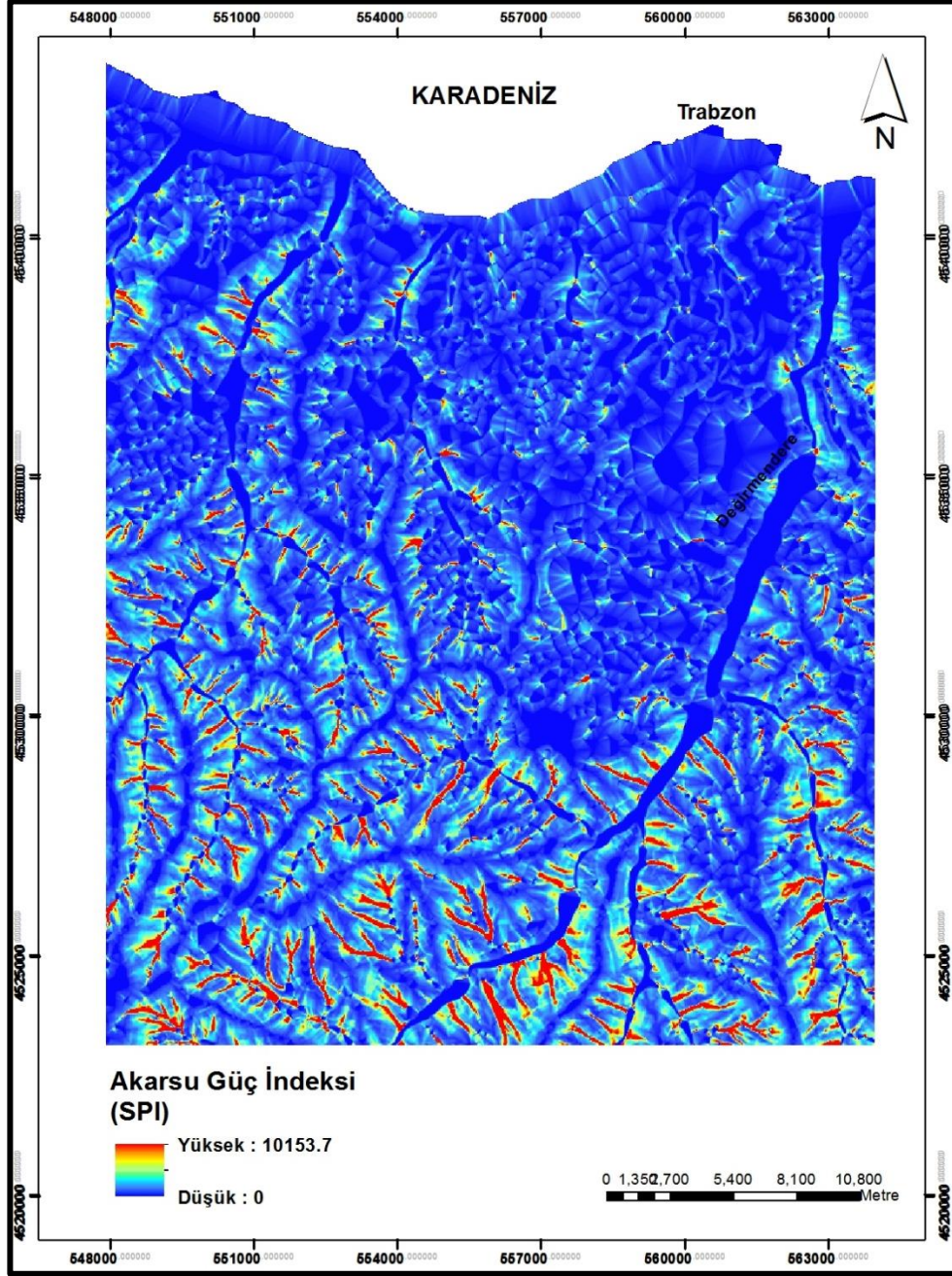
7.2.4. Akarsu Güç İndeksi(SPI)

Akarsu güç indeks (SPI), sayısal topoğrafik veriden ikincil olarak üretilen sayısal morfolojik bir veridir. SPI, yüzey sularının aşındırıcı etkisinin, suyun debisinin (q) spesifik havza alanına (As) oranına biçiminde ifade edilir [77] ve aşağıdaki verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$SPI = As \times \tan\beta$$

Buradaki As değeri özel havza alanını (m²/m), β ise derece olarak eğim değerini ifade etmektedir [78]. Bu parametre, yamaç eğimi ve drenaj alanı ilişkisini dikkate almasından ötürü heyelan duyarlılık çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılan bir değerlendirme parametresi olarak görülmektedir [7] [78] [79].

Tez çalışması kapsamında üretilen sayısal topoğrafik harita kullanılarak DIGEM (Conrad, 2002) yazılımı kullanılarak SPI verisi üretilmiş, daha sonra bu veri ArcGIS 9.3.1. yazılımına aktarılmıştır. Üretilen SPI haritasına bakıldığında, 0 ile 6498.54 değeri arasında bir ölçekte verilerin ölçeklendirildiği görülmektedir. Bu ölçeklendirme konusunda bir standart bir aralık bulunmamakta, değerler tamamen arazinin morfolojik yapısı ile değişmektedir.



Şekil 7.5. İnceleme alanına ait akarsu güç indeksi (SPI) verisi.

7.2.5. Topoğrafik Nemlilik İndeksi(TWI)

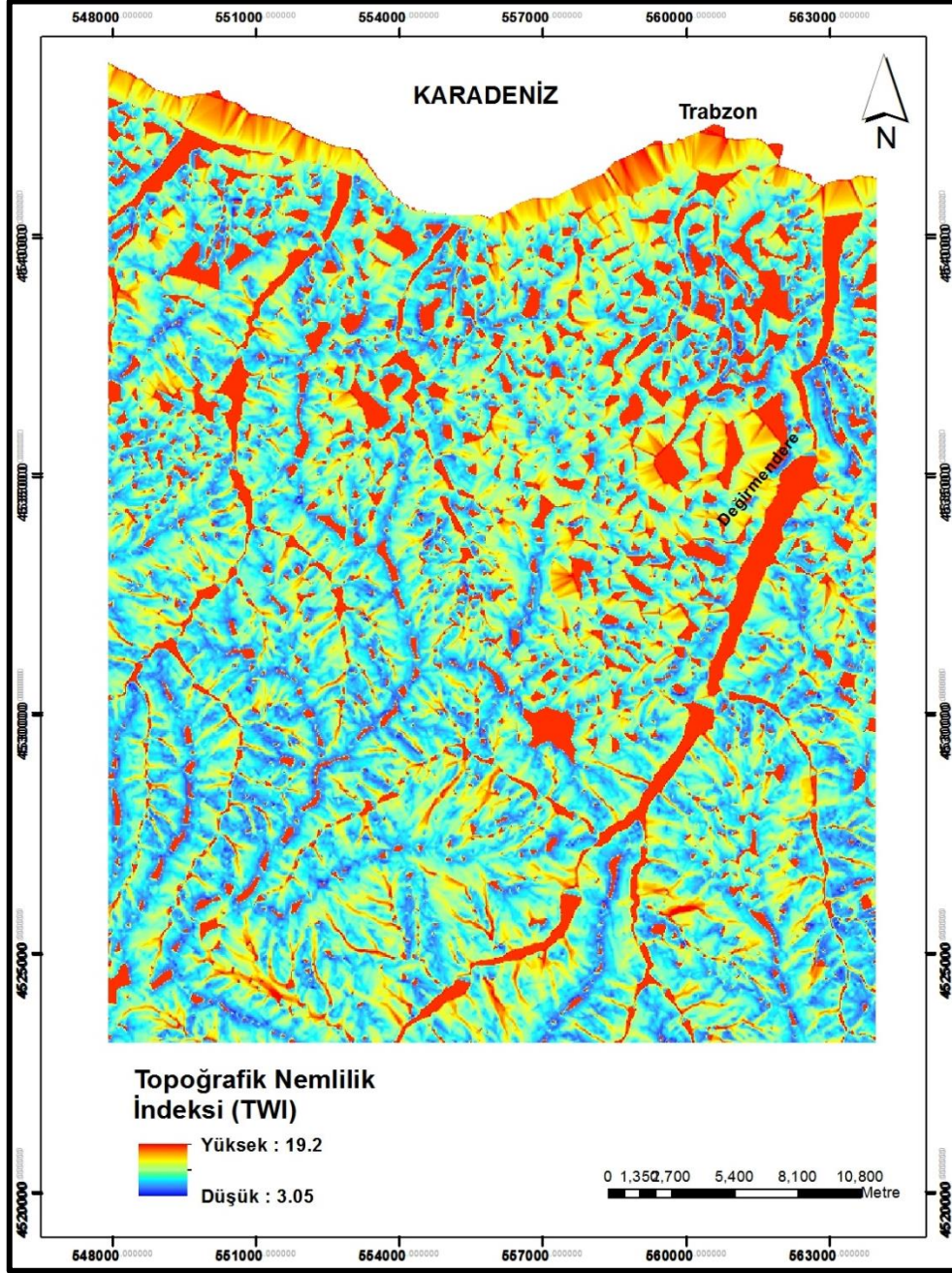
Topoğrafik nemlilik indeksi verisi (TWI), sayısal arazi modeli kullanılarak üretilen bir diğer ikincil sayısal morfolojik veridir. Bu veri, havzanın beslenme alanının üst kısmını oluşturan alandan hesaplanan bir morfolojik indeks olup, Beven ve Kirkby (1979) tarafından ilk olarak

tariflenmiştir. TWI, aşağıda sunulan eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$TWI = \ln(A_s/\tan\beta)$$

Burada A_s değeri spesifik havza alanı (m^2/m), β derece olarak eğim değerini vermektedir. Bu veri de, akarsu güç indeksine benzer olarak heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan önemli değerlendirme parametrelerden birisi olarak görülmektedir [7] [78].

Tez çalışması kapsamında inceleme alanı için TWI verisinin oluşturulması için yine DİGEM (Conrad, 2002) yazılımından faydalanılmıştır. Burada oluşturulan TWI verisi, SPI verisi gibi yine ArcGIS 9.3.1. yazılımına aktarılmıştır. Üretilen TWI verisine bakıldığında, veri değerlerinin minimum 3.67 ile maksimum 14.53 arasında bir ölçekte belirlendiği görülmektedir. Bu ölçek yine sabit bir ölçek dahilinde değerlendirilmeyip, tamamen morfolojik değişimlere bağlı olarak her arazi için değişiklik sunabilmektedir.



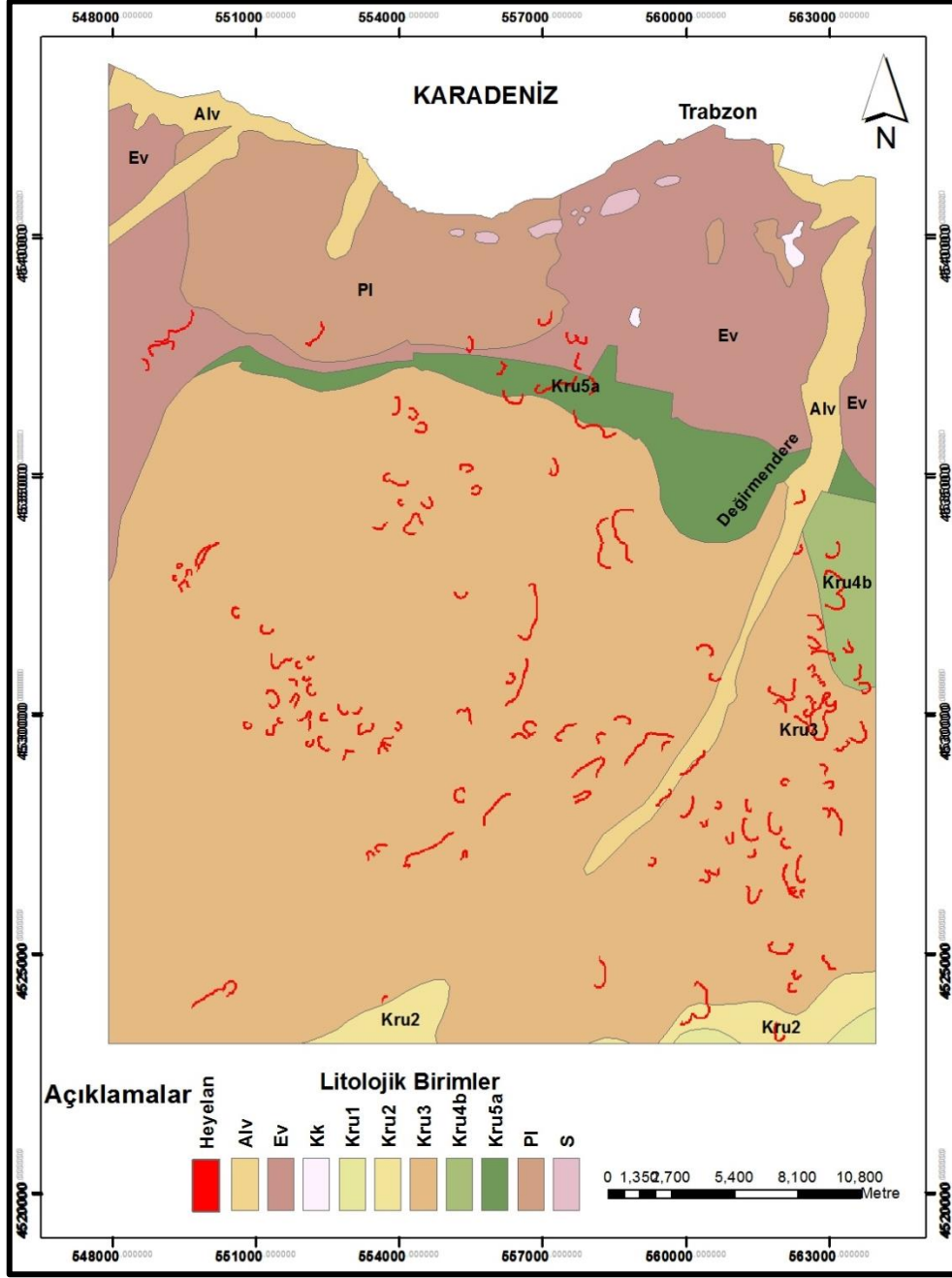
Şekil 7.6. İnceleme alanına ait topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) verisi.

7.2.6. Litoloji

Tez çalışması kapsamında seçilen alana ait heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan bir diğer parametre alanda yüzeyleme veren kaya gruplarını gösteren litoloji haritasıdır. Litoloji, bir alandaki heyelan oluşumunu denetleyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Çünkü, heyelan oluşumu ve daha geniş ifadeyle kütle

hareketi türü, direkt olarak litoloji tarafından denetlenmektedir [7] [78]. Bu amaçla, inceleme alanına ait ve MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve 1:100.000 ölçekte hazırlanmış litoloji haritası kullanılmıştır. Bunun için, basılı olarak temin edilen litoloji haritası taranarak bilgisayar ortamına atılmıştır. Daha sonra, ArcGIS 9.3.1 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına atılmış harita gerçek dünya koordinatlarına uygun olması amacıyla jeoreferanslanmıştır. Böylelikle, harita, üzerinde araziden alınan koordinatlarının birebir olarak işlenebilmesine uygun hale getirilmiştir. Jeoreferanslanmış litoloji haritası üzerindeki kaya grupları, vektör veri formatında sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen vektör formatındaki harita, gerekli sayısal analizlerin yapılabilmesi amacıyla raster veri formatına dönüştürülmüştür. Bu dönüştürmede, daha önce hazırlanan ve yukarıdaki bölümlerde anlatılan diğer topoğrafik verilerle uyum sağlaması amacıyla aynı mekansal çözünürlük değeri olan 25 metre hassasiyeti dikkate alınmıştır.

Litoloji haritasında, heyelan oluşumunu denetleyen kaya grupları, orjinal hallerinden itibaren üç ana grup altında toplanmıştır. Bu gruplardan 1 no'lu grup Alüvyon birimi olarak isimlendirilen ve dere yataklarında birikmiş, 0 derece eğime yakın topoğrafik eğime sahip ve olan ayrık zemin niteliğinde olan, heyelan oluşumunun hiç görünmediği litolojiyi denetlemektedir. 2 no'lu grup, nispeten heyelan oluşumunun daha yoğun görünmeye başladığı, çoğunlukla karasal kırıntılı çökel kayalarının oluşturduğu grubu temsil etmektedir. 3 no'lu grup ise heyelan oluşumunun en sık görüldüğü, volkanik, volkano-tortul ve tortul ara katkılı kaya gruplarını temsil etmektedir.

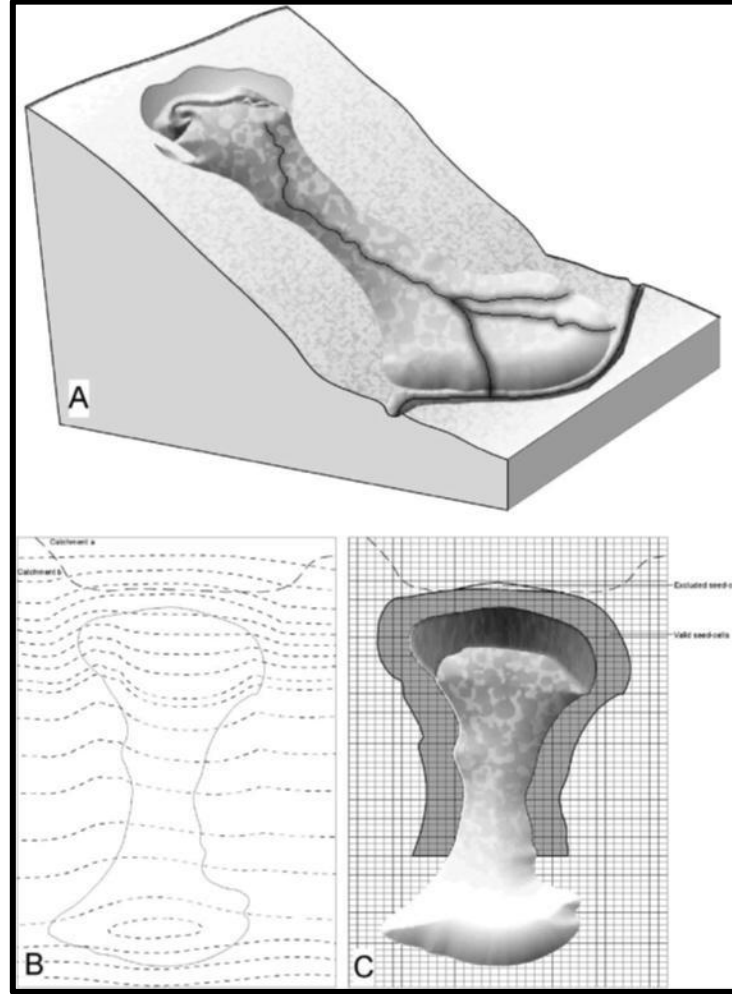


Şekil 7.7. İnceleme alanına ait litoloji haritası ve alanda oluşmuş heyelan lokasyonları. (MTA) (Alv: Alüvyon, Ev: Eosen volkanikleri, Kk: Karbonifer birimleri, Kru1, Kru2, Kru3, Kru4b, Kru5a: Kretase Volkanotortul birimleri, Pl: Pliyosen çökel birimleri, S: Seki).

7.2.7. Heyelan Verisi

Tez çalışması kapsamında kullanılan heyelan lokasyon verisi için, MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve hem sayısal hem de basılı

olarak temin edilebilen 1:25.000 ölçekli heyelan envanter verisinden faydalanılmıştır. Bu veri setinde, heyelan kütleleri, kayma ve birikme bölgeleri ile birlikte haritalanmaktadır (Şekil 7.8). Ancak, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde bu tür bir veri kullanımının, elde edilecek heyelan duyarlılık verisinin doğruluğunu önemli ölçüde etkilediği de yapılan bazı çalışmalarda ayrıntılı olarak tartışılmıştır [21] [44] [82].



Şekil 7.8. Kök hücresi yaklaşımı: (A) Heyelana ait blok diyagram (B) Havza sınırları ve heyelan kütlelerinin kayma ve birikme bölgeleri ile birlikte haritalanması (C) Kök hücresinden oluşturulan ve kayma bölgesinden itibaren belli bir mesafede belirlenen tampon bölge. (Gri hücreler analizlerde kullanılan kök hücrelerini göstermektedir [75].

Bu noktadan hareketle, tez çalışmasında önerilen modelde kullanılan heyelan veri setinde de, yukarıda şekilsel olarak gösterilen kök hücre yaklaşımı benimsenmiştir. Bu maksatla, arazide haritalanmış olan

heyelan kütlelerinin başlangıç kısmını ifade eden ve esas ayna olarak isimlendirilen kısımdan itibaren 50 metrelik bir bölge dikkate alınmış, birikim bölgesi bu değerlendirmenin dışında tutulmuştur.

7.3. Tanımsal İstatistik

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan ve elde edilme aşamaları yukarıdaki bölümde anlatılan verilerin tanımlayıcı istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 7.2’de verilen değerlere bakıldığında, inceleme alanında alansal dağılım bakımından en geniş alana yayılı olan litolojik birimlerin Kru ve Ev ön simgesi ile simgelenen ve volkanik ve volkano-tortul birimleri ifade eden (yeşil renkli) birimler olduğu görülmektedir. Frekans oranı değeri, birim içinde heyelan olma olasılığını ifade eden bir birim olarak tanımlanmakta olup, heyelan oluşan alandaki grid hücre sayısı yüzde değerinin o parametreye ait toplam grid hücre sayısı yüzdesine oranı ile ifade edilen bir değerdir [14]. Bu değere göre en fazla heyelan olma olasılığının Kru4b, Kru3 ve Kru2 birimleri ile volkano-tortul birimler olduğu görülmektedir.

Heyelan duyarlılık değerlendirmesi için kullanılan diğer topoğrafik verilere ait tanımsal istatistik değerleri ise aşağıda verilen Çizelge 7.1’de sunulmuştur. Buna göre heyelan olayının ortalama 590 m kota sahip, 20 derece eğimli ve güneydoğuya dönük (143 derece) yamaçlarda sık olarak görüldüğü belirlenmiştir.

Çizelge 7.1: Topoğrafik verilere ait tanımsal istatistik değerleri.

		Yükseklik	Yamaç Eğimi	Yamaç Yönelimi	SPI	TWI
N	Geçerli	6531	6531	6531	6531	6531
	Kayıp	0	0	0	0	0
Ortalama		590.4380	20.7700	143.8797	140.7517	6.5869
Medyan		544.2400	21.8200	119.6600	68.2000	6.1500
Mod		500.00	.00	-1.00	.00	10.13
Std. Sapma		248.13826	12.41416	116.24321	289.33936	1.52125
Varyans		61572.596	154.111	13512.483	83717.265	2.314
Çarpıklık		.462	-.072	.272	8.037	1.239
Çarpıklık Std. Sapması		.030	.030	.030	.030	.030
Kurtosis		-.206	-.320	-1.332	106.777	1.121
Std. Error of Kurtosis		.061	.061	.061	.061	.061
En düşük		100.00	.00	-1.00	.00	3.67
En yüksek		1350.00	66.78	359.55	6498.54	14.53

Çizelge 7.2: Litoloji verisine ait tanımsal istatistik ve frekans oranı değerleri

Litoloji	Grid Hücre	% (a)	Heyelan Oluşan Alandaki Grid Hücre	% (b)	Frekans Oranı (b/a)
Alv	22615	4.73	90	1.38	0.291
Ev	69649	14.57	319	4.88	0.335
Kk	505	0.11	0	0.00	0.000
Kru1	1191	0.25	0	0.00	0.000
Kru2	8827	1.85	137	2.10	1.136
Kru3	305202	63.84	5354	81.98	1.284
Kru4b	7509	1.57	299	4.58	2.915
Kru5a	18827	3.94	205	3.14	0.797
Pl	42587	8.91	127	1.94	0.218
S	1184	0.25	0	0.00	0.000

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Teknolojinin sürekli gelişmesiyle kullanılan sistemler her geçen gün daha da karmaşıklaşmaktadır. Bu sistemlerin karmaşıklığı ve her geçen gün daha da karmaşıklaşacağı düşüncesi karar destek ve kontrol mekanizmalarında farklı yaklaşımların geliştirilmesine neden olmaktadır. Bulanık mantık, insanların günlük yaşamlarında kullandığı dili kullandığı ve uzman kişilerin tecrübelerini problemin çözümüne dahil ettiği için her geçen gün popülaritesi artan bir esnek hesaplama yöntemidir. Bu yazılımda kullanılan Mamdani bulanık çıkarsama yöntemi, modelin oluşturulmasının basit ve insan duyularına uygun olduğu için tercih edilmiştir. Yine uygulamanın konusu olan Coğrafi Bilgi Sistemleri özellikle son yıllarda savunma sanayisi, belediyeler ve kamu kurumları tarafından sıkça tercih edilen bir alan olarak durmakta ve her geçen gün de önemi artarak devam etmektedir. Bu tez çalışmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Çıkarsama Sistemleri beraber kullanılarak gerçek bir dünya probleminin çözümüne farklı bir bakış açısı getirilmiş ve çözümü için bir araç geliştirilmiştir.

Heyelanlar ülkemizde sıkça görülen, can ve mal kaybına neden olan önemli bir problem olarak karşımızda durmaktadır. Bu zararları en aza indirmek için afetlere ilişkin bilgileri sistematik bir şekilde toplayan kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Fakat halen daha kapsamlı ve düzenli bir veri bulma zorluğu mevcuttur. Bundan dolayı da Coğrafi Bilgi Sistemleri dahil her alanda bu konu üzerinde çalışma yapmak güç bir hal almaktadır. Verinin işlenmesi ve düzenlenmesinden dolayı zaman kaybı artmakta ve gerçek problemin üzerine yoğunlaşmaya engel olmaktadır.

Ülkemizde heyelan duyarlılığının belirlenmesi için şimdiye kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle uzman görüşü dikkate alınmadan veriden yola çıkılarak sonuç değerlendirmesi yapılmıştır. Bu tez kapsamında verilerin değerlendirilmesi aşamasında Mamdani Bulanık Çıkarsama Sistemi kullanıldığından dolayı uzman görüşü doğrudan

modele yansıtılabılmış ve sistemin daha sağlıklı sonuç üretebilmesine olanak sağlamıştır. Veriler sistematik olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamına aktarılmış. Daha sonra bu veriler bulanık mantık kuralları çerçevesinde ele alınarak heyelanların tespiti için farklı bir bakış açısı kullanılmış ve güçlü bir karar destek sistemi kurulmuştur.

Sonuç olarak, günümüzde heyelanları oluşturduğu can ve mal kayıplarından dolayı heyelanların önceden tespit edilmesinin ve bu görevi yerine getiren sistemlerin önemi artmıştır. Farklı çalışmalarda değişik yöntemler kullanılarak bu sistemlerin başarımı yayınlanmıştır. Uluslararası bir heyelan uyarı sistemi gerekliliği tüm dünyaca bilinmektedir. Fakat doğa olaylarının anlaşılmasının güç olması, bu konuda yapılacak çalışmalarda kullanılacak veriye ulaşımın zorluğu bu gibi sistemlerin şimdiye kadar kurulamamasının önündeki başlıca engeller olarak düşünebiliriz. Ülkemizde de heyelanların önceden tespiti için çeşitli çalışmalar yapılmış fakat kapsamlı bir heyelan tanıma sistemi ortaya konulamamıştır. Bu çalışmada da veriye ulaşım zorluğu ile karşılaşmıştır. Uygulamada heyelanların tespiti için uzman görüşünü dikkate alan farklı bir yaklaşım önerilmiş ve sonuçlar gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Cruden, D. M., A simple definition of landslide. Bulletin IAEG, 43:27-29, **1991**
- [2] Varnes, D., Landslide hazard zonation: a review of principles and practices. Unesco press, France, **1984**
- [3] Akgün, A., A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision and likelihood ratio methods: case study at İzmir, Turkey, Landslides, 9(1), 93-106, **2012**
- [4] Akgun, A. , Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Pradhan, B., An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, Computers & Geosciences, 38, 23-34, **2012**
- [5] Gokceoglu, C., Sezer, E., **2009**. A statistical assessment on international landslide literature (1945-2008). Landslides 6, 345-351
- [6] Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Duman, T.Y., **2005**. Susceptibility assessment of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses. Geomorphology 72, 250-271
- [7] Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., **2005**. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. Engineering Geology 81, 65- 83
- [8] Lee, S., **2005**. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. International Journal of Remote Sensing 26, 1477-1491
- [9] Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., **2006**. A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: The Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). Environmental Geology 50, 941-961
- [10] Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., Sonmez, H., **2006**. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. Environmental Geology 51, 241-256
- [11] Pradhan, B., Singh, R. P., Buchroithner, M. F., 2006. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. Advances in Space Research 37, 698-709.

- [12] Lee, S., Pradhan, B., **2006**. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Earth System Science* 115 (6), 661–672
- [13] Akgun, A., Bulut, F., **2007**. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology* 51, 1377–1387
- [14] Akgun, A., Dag, S., Bulut, F., **2008**. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology* 54 (6), 1127–1143
- [15] Tunusluoglu, M. C., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., Sonmez, H., **2008**. Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: A case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey). *Environmental Geology* 54, 9–22
- [16] Lamelas, M.T., Marinoni, O., Hoppe, A., De La Riva, J., **2008**. Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain). *Environmental Geology* 54, 963–977
- [17] Pradhan, B., Lee, S., Mansor, S., Buchroithner, M. F., Jallaluddin, N., Khujaimah, Z., **2008**. Utilization of optical remote sensing data and geographic information system tools for regional landslide hazard analysis by using binomial logistic regression model. *Applied Remote Sensing* 2, 1–11
- [18] Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., **2008**. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: The Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards* 46 (3), 323–351
- [19] Turer, D., Nefeslioglu, H.A., Zorlu, K., Gokceoglu, C., **2008**. Assessment of geo environmental problems of the Zonguldak province NW Turkey. *Environmental Geology* 55 (5), 1001–1014
- [20] Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., **2008a**. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology* 94 (3-4), 401–418
- [21] Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., **2011**. Probabilistic risk assessment in medium scale for rainfall induced earthflows: Catakli catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 280431
- [22] Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., **2002**. Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology* 41, 720–730
- [23] Arora, M. K., Gupta, A. S. D., Gupta, R. P., **2004**. An artificial neural network approach for landslide hazard zonation in the

- Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing* 25 (3), 559–572
- [24] Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., **2004**. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology* 75, 229–250
- [25] Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S., Park, H., **2004**. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology* 71, 289–302
- [26] Ercanoglu, M., **2005**. Landslide susceptibility assessment of SE Bartin (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5, 979–992
- [27] Lui, Y., Guo, H.C., Zou, R., Wang, L.J., **2006**. Neural network modelling for regional hazard assessment of debris flow in Lake Qionghai Watershed, China. *Environmental Geology* 49, 968–976
- [28] Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., **2006**. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology* 85 (3-4), 347-366
- [29] Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A., **2008**. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology* 94, 379–400
- [30] Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., **2008b**. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology* 97, 171–191
- [31] Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M. F., **2009**. Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: A case study in Malaysia. *Applied Geomatics* 1, 3–15
- [32] Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., Sole, A., **2008**. Neural networks and landslide susceptibility: A case study of the urban area of Potenza. *Natural Hazards* 45, 55–72
- [33] Yilmaz, I., Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey), *Computers and Geosciences* 35 (6), 1125–1138, **2009**
- [34] Pradhan, B., Sezer, E.A., Gokceoglu, C., Buchroithner, M.F., Landslide susceptibility mapping by neuro-fuzzy approach in a landslide prone area (Cameron Highland, Malaysia), *IEEE*

Transactions on Geoscience and Remote Sensing 48 (12), 4164–4177, **2010**

- [35] Nefeslioglu, H.A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A.S., Duman, T.Y., **2010**. Assessment of landslide susceptibility by Decision Trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2010/901095, 1-15
- [36] Sezer, E. A., Pradhan, B., Gokceoglu, C., **2011**. Manifestation 1 of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Applications*, doi:10.1016/j.eswa.2010.12.167
- [37] Anbalagan, R., Singh, B., **1996**. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains-a case study from Kumaun Himalaya, India. *Engineering Geology* 43 (4), 237-246
- [38] Gokceoglu, C. ve Aksoy, H., Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques, *Engineering Geology* 44, 147–161, **1996**
- [39] Turrini, M.C., Visintainer, P., **1998**. Proposal of a 1 method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. *Engineering Geology* 50, 255–265
- [40] Ayenew, T., Barbieri, G., **2005**. Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. *Engineering Geology* 77 (1–2), 1–15
- [41] Ercanoglu, M., Kasmer, O., Temiz, N., Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 67, 565–578, **2008**
- [42] Lee, S., Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing* 26, 1477–1491, **2005**
- [43] Nefeslioglu, H.A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A.S., Duman, T.Y., Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, 1–15. doi:10.1155/2010/901095, **2012**
- [44] Yilmaz, I., **2009**. Landslide susceptibility using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences* 35 (6), 1125–1138
- [45] Show-Jane, Y., Yue-Shi, L., Cluster-based under-sampling approaches for imbalanced data distribution, *Expert System with Applications*, 36, 5718-5727, **2009**

- [46] Liao, T.W., Classification of weld flaws with imbalanced class data, Expert System with Application, 35, 1041-1052, **2008**
- [47] Alvarez Grima, M., Neuro-Fuzzy Modeling in Engineering Geology .A. A. Balkema, Rotterdam, 244, **2000**
- [48] Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C., Mapping slope failure potential using fuzzy sets, Journal of Geotechnical Engineering ASCE 118, 475-494, **1992**
- [49] Saboya, Jr., F., Alves, M.G., Pinto, W.D., Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic, Engineering Geology 86, 211-224, **2006**
- [50] Ercanoglu, M., Kasmer, O., Temiz, N., **2008**. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. Bull Eng Geol Environ, 67, 565-578
- [51] MATLAB, User's Guide Version 7.8, R2009a. MathWorksCo. ,USA, **2009**
- [52] Anonim, http://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k (Nisan **2013**)
- [53] Sen, Z., **2001**, Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Sanat Yapım Evi, Ekim 2001, İstanbul
- [54] Anonim, http://tr.wikipedia.org/wiki/Co%C4%9Frafî_bilgi_sistemi (Nisan **2013**)
- [55] Vahap Tecim, **2008**, Coğrafi Bilgi Sistemleri – Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi
- [56] Anonim, <http://dotspatial.codeplex.com> (Nisan **2013**)
- [57] Anonim, <http://sourceforge.net/projects/fuzzynet> (Nisan **2013**)
- [58] John A. Swets, Signal detection theory and ROC analysis in psychology and diagnostics : collected papers; Swets, **1996**
- [59] Dirican A. **1991**. ROC eğrisi çözümlenmesi ile tanı testlerinin değerlendirilmesi ve bilgisayar uygulaması
- [60] Knapp RG, Miller III MC. **1992**. Clinical Epidemiology and Biostatistics. United States Of America, Williams&Wilkins Press
- [61] Obuchowski NA, McClish D. **1997**. Sample size determination for diagnostic accuracy studies involving binormal ROC curve indices. Stat Med. 16, 1529-1542
- [62] Van Erkel AR, Pattynama PMT. **1998**. Receiver operating characteristic (ROC) analysis: basic principles and applications in radiology. Eur J Radiol. 27, 88-94
- [63] Dirican A. **2001**. Tanı testi performansının değerlendirilmesi ve kıyaslanması. Cerrahpaşa Tıp Dergisi 32, 25-30

- [64] Faraggi D, Reiser B. **2002**. Estimation of the area under the ROC curve. *Stat Med.* 21, 3093-3106
- [65] Obuchowski NA, Lieber ML, Wians FH. **2004**. ROC curves in clinical chemistry: uses, misuses, and possible solutions. *Clin Chem.* 50,1118-1125
- [66] Weinstein S, Obuchowski NA, Lieber ML. **2005**. Clinical evaluation of diagnostic tests. *AJR Am J Roentgenol.*184,14-19.
- [67] Obuchowski NA. **2005**. ROC analysis. *AJR Am J Roentgenol.* 184, 364-372
- [68] Grove WM. **2006**. Mathematical aspects of diagnosis. United States of America, 50-75
- [69] Wagner RF, Metz CE, Campbell G. **2007**. Assessment of medical imaging systems and computer aids: a tutorial review. *Acad Radiol.*14,723-748
- [70] Leman Tomak, Yüksel Bek, The analysis of receiver operating characteristic curve and comparison of the areas under the curve.
- [71] Burcu Köksal, **2011**, Regresyon Analizinde ROC Eğrisi Kestirimi ile Model Seçimi
- [72] Nevin Güşer, **2006**, Bulanık Kümeleme Analizi ve Bulanık Modellemeye Uygulamaları
- [73] Yalçın, A., **2011**. A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey. *Applied Clay Science*, 52, 11-19.
- [74] DMİ, **2012**. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.dmi.gov.tr>
- [75] Süzen, M.L. and DOYURAN, V., **2004**, Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method and Application to Asarsuyu Catchment, Turkey, *Engineering Geology*,vol 71/3-4 pp. 303-321
- [76] Komac M., **2006**. A landslide susceptibility model using analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74:17-28
- [77] Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., **1991**. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological processes* 13(4), 305-320.
- [78] Akgün, A., **2007**, GIS Based Erosion and Landslide Susceptibility Assessment of the Ayvalık (W Turkey) and Surrounding. PhD Thesis, 419 pages. Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir
- [79] Lee S, Min K., **2001**. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environ Geol* 40:1095-1113

- [80] Beven, K.J., Kirkby, M.J., **1979**. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin 24, 43-69
- [81] Conrad, O., **2002**. DigitalesGelände-Modell (DiGeM) Terrain Analysis Software. /<http://www.geogr.uni-goettingen.de/pg/saga/digem/S> (accessed April 18, 2006)
- [82] Dağdelenler, G. **2013**. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem ve doğrulama stratejilerinin değerlendirilmesi (Gelibolu yarımadasının doğu kesimi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış)
- [83] Arshdeep Kaur, Amrit Kaur, May **2012**, Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System
- [84] M. SARI, Y. Ş. MURAT, M. KIRABALI, Fuzzy Modelling Approach and Applications
- [85] Jesse Davis, Mark Goadrich, The Relationship Between Precision-Recall and ROC Curves
- [86] Anonim, <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html> (Nisan **2013**)
- [87] Gokceoglu, C., Sezer, E., **2009**. A statistical assessment on international landslide literature (1945-2008). Landslides 6, 345-351
- [88] Pradhan, B., **2010**. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. Advances in Space Research 45(10), 1244-1256.
- [89] Gokceoglu, C., Aksoy, H., **1996**. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Engineering Geology 44, 147-161
- [90] Gokceoglu, C., Sezer, E., **2009**. A statistical assessment on international landslide literature (1945-2008). Landslides 6, 345-351

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Turgay Ösna
Doğrum Yeri : Oltu / Erzurum
Medeni Hali : Bekar
E-posta : turgayosna@gmail.com
Adresi : Ahmet Taner Kışlalı Mah. İller Sitesi 3/2
Çayyolu / ANKARA

Eğitim

Lise : 2002-2005 Kütahya Tavşanlı Anadolu Lisesi
Lisans : 2005-2010 Hacettepe Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce (İyi)

İş Deneyimi

2011 – Halen : NETCAD Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş.
2010 – 2011 : Omega İleri Teknoloji Çözümleri ve Yazılım Ltd. Şti.

Deneyim Alanları

Coğrafi Bilgi Sistemleri, C, C++, C#, Java, Mssql, Oracle, Mqsql, LINQ, COM, Hibernate, UML, Microsoft Visual Studio, Eclipse, Devexpress, Matlab, IBM Rational Clear Case&Quest, SVN, Protege, Sematic Web

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu İle Katıldığı Toplantılar

Tebliğ: GeoFIS: Heyelan Duyarlılık Haritaları İçin Kolay Kullanımlı Bir Yazılım

Yer : Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği
Sempozyumu(ELECO 2012)