

GeoFIS: Heyelan Duyarlılık Haritaları için Kolay Kullanımlı Bir Yazılım

GeoFIS: An Easy-Use Software for Landslide Susceptibility Maps

Turgay Ösna¹, Ebru Akçapınar Sezer², Aykut Akgün³

^{1,2}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Hacettepe Üniversitesi
turgayosna@gmail.com, ebru@hacettepe.edu.tr

³Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
aykutakgun@gmail.com

Özet

Heyelan duyarlılık 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 kullanılabilir 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.

Abstract

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.

1.Giriş

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 belirlenmesi, heyelan-insan-taşınmaz ilişkisinin irdelenmesinde hayati bir önem taşıdığı anlaşılmaktadır. Heyelan duyarlılığı, en basit tanımıyla bir alanda, belirli bir yerde heyelan olma olayının konumsal olasılığı olarak tanımlanmaktadır [2]. Diğer bir ifade ile, duyarlılık kavramında, zamansal tekrarlama olasılığının irdelenmesi gerekmemektedir. Heyelan duyarlılığının belirlenebilmesi ve üretilecek sonuç duyarlılık haritasının kalitesi, incelenen alana ait jeolojik, jeomorfolojik, çevresel ve topoğrafik verilerin ne kadar doğru ve sağlıklı olduğu ile yakından ilişkilidir. Bunun yanında, incelenen alan 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 görmesinin 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 bir çok çalışma, veriden öğrenme temelli olup, uzman bilgisine doğrudan yer vermemekte ve ayrıca gelişmiş birden çok aracın aynı anda kullanımı zorlamaktadır (bkz. Bölüm 2). 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. Heyelan envanterinin GeoFIS'e yüklenmesinden başlayarak, modelleme yapabilmek, çıkarsama sonuçlarını üretme, duyarlılık haritasını görüntüleme ve seçili alan için modeli geriye doğru inceleme 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, heyelan duyarlılık probleminde ait literatürde mevcut çözüm önerileri özetlenmiştir. Bölüm 3'te bulanık çıkarsama modeli olarak kullanılan Mamdani model hakkında kısa bilgi verilmiş, bölüm 4'te ise GeoFIS uygulaması anlatılarak, sonuç değerlendirmesi ile sonlandırılmıştır.

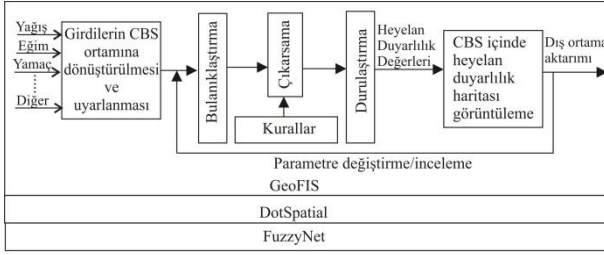
2. Heyelan Duyarlılık Haritalaması

Karmaşık sistemlerin kestirim amacıyla modellenmesi için doğrusal olmayan çoklu regresyon, karar ağacı, yapay sinir ağları, hibrit yöntem vb.' lerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bu yöntemlerin genelinde izlenen yöntem şu biçimde özetlenebilir: mevcut veri seti seçilen bir örnekleme yöntemi ile öğrenme, sinama ve doğrulama olmak üzere üç veri kümesine ayrılır. Öğrenme veri kümesi kullanarak modelleme gerçekleştirilir. 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 biçimde kullanılır. Öğrenme sonucu elde edilen modelin genelleme yeteneği sinama verisi üzerinde gözlenir. Doğrulama verisi modelin kestirim değerleri üretilir ve performansı ölçülür. Heyelan duyarlılık haritası üretmek de karmaşık problemler içinde yer aldığından adı verilen yöntemlerin bu problemin çözümü için uygulandığı birçok çalışma literatürde mevcuttur (örneğin [5], [6], [7], [8], [9]) . Ancak yukarıda açıklanan süreçten farklı olarak; heyelan duyarlılık bağlamında kullanılan verinin rastgele [10] ya da tabakalı [10] örnekleme ile öğrenme verisi oluştururken, tüm veri sinama için kullanılır. Performans ölçümünde ise Liao [11]'da sunulan, gerçekleşmiş heyelanların doğru kestiriminde hareket eden göstergeler kullanılır. Bir başka deyişle; model gerçekleşmiş heyelanları sinama aşamasında ne kadar doğru kestirebilmiş ise, diğer noktalar için üretilen duyarlılık değeri de o kadar güvenilirdir. Buradan anlaşılabileceği üzere, duyarlılık başarımlar ölçme yöntemi, duyarlılık kestirim yönteminden bağımsızdır.

Bulanık çıkarsamanın avantajlı özellikleri Alvarez Grima [12] 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 *if-then* kuralları ile ifade edilmesini sağlar. Ancak, heyelan duyarlılık kestiriminde veriden öğrenmeyi temel alan birçok yöntem karşı, uzman görüşüne doğrudan yer veren çalışma sayısı azdır [4], [13], [14], [15]. Bu durumu doğuran en önemli etken heyelan duyarlılık kestiriminde kullanılan veri hacminin büyük olmasıdır. Örnek bir veri setinin 10^6 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 [16] 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 başarımlar oranları 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 çalışmayı bir adım daha ileri götüren GeoFIS ile, platform değiştirmeksizin harita işlemleri 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.

3. Bulanık Çıkarsama

Mamdani bulanık çıkarsama modeli [17], üç tanesi zorunlu ve son adımı isteğe bağlı olmak üzere dört aşamadan oluşur. Birinci aşama bulanıklaştırma olup, ölçülen girdi verilerinin üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmasını anlamına gelir. Burada en çok kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere çeşitli parametrik üyelik fonksiyonlarından biri seçilir. Elde edilen çıktı değer, genelde [0,1] aralığında ve ölçülen girdinin (x), bulanık kümeye (A) üyeliğini ($\mu_A(x)$) gösterir. İkinci aşama çıkarsama adımı olup, bulanık kuralların tek tek tetiklenmesi ve her bir kuralın yerel çıkarsama sonucunun üretilmesi anlamına gelir. Mamdani model'de kurallar sözel değişkenlerin alabileceği sözel değerlerin mantıksal işlemleri ile bağlanması ile oluşturulur (*if x is A and y is B then z is C*). Ölçülen x ve y girdilerinin ait olduğu her bir bulanık kümenin yer aldığı tüm kurallar tetiklenir, mantıksal işlemler ise bulanık kümelerin 'kesişim', 'birleşim' ve 'değil' işlemleri için tanımlanan biçimlerde işlenir. Üçüncü aşama birleştirme aşaması olup, yerel çıkarsama sonuçlarının birleştirilerek tek bir bulanık sonucun üretilmesinde sorumludur. Bu aşamada yerel sonuçların kesişimi için bulanık kümelerin kesişim işlemlerinden biri kullanılabilir. Son aşama durulaştırma olup, üçüncü aşamada elde edilen bulanık değer keskin bir değere dönüştürülmesini sağlar ve en çokların ortalaması, ölçekleme, kesme gibi birçok yöntemden biri tercih edilir. Bu sürecin GeoFIS içinde ele alınışını ve iş akışını Şekil 1 üzerinde görmek mümkündür.



Şekil 1. GeoFIS iş akış/bileşen şeması

GeoFIS içinde geliştirilen Mamdani türünde bir çıkarsama modeli olup, yukarıda açıklanan tüm aşamalara sadık kalınmıştır. GeoFIS içinde üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları desteklenmiştir. 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 ölçekleme yaklaşımı desteklenmiştir.

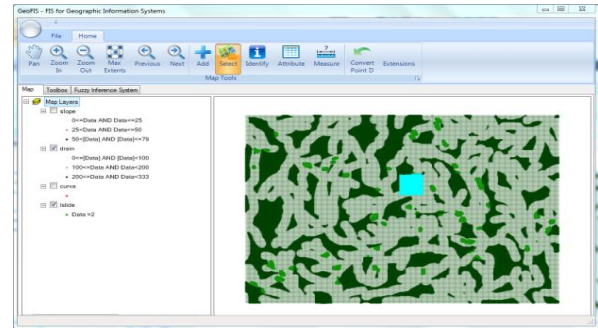
4. GeoFIS

GeoFIS geliştiriminde iki nokta önceliklendirilmiştir: kendi başına çalıştırılabilir bir masa üstü uygulama olması ve heyelan duyarlılık haritası üretme sürecindeki tüm aşamaları içeren tek platform olması. Bu gereksinimleri karşılamak için, açık kaynak olan DotSpatial [18] ve Fuzzynet [19] kütüphaneleri bileşen olarak GeoFIS içinde bulunmaktadı (Şekil 1). DotSpatial .NET uygulama çerçevesiyle yazılmış bir coğrafi bilgi sistemi yazılım kütüphanesidir. Fuzzynet ise yine .NET içinde geliştirilmiş Mamdani bulanık çıkarsama sistemi için kullanılan kütüphanedir. GeoFIS bu iki kütüphaneyi sarmalayarak kullanan, .NET uygulama çerçevesi ile geliştirilmiş, örnek haritaların gösterilmekte, raster veri, resim gibi çeşitli veri formatlarını desteklemekte ve haritalar üzerinde veri analizi ve modellemesi yapılmasına olanak vermektedir. Aşağıda GeoFIS uygulamasının temel özellikleri listelenmiştir:

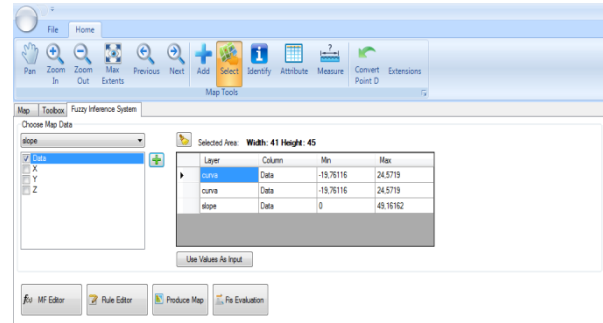
- Bütünleştirilmiş GIS ve bulanık çıkarsama modülleri ile çözümün gereksindiği tüm işlemleri içeren tek platform
- Başka uygulamalara ihtiyaç duymadan kendi başına çalışabilir masa üstü uygulama
- Uzman bilgisini etkin kılan modelleme özelliği
- Toplu girdi-çıkıtlı işlemleri gerçekleştirme
- Anında haritalama/görsel inceleme
- Bölgesel çıkarsama modelleri kurabilme
- Seçili alanlar için model davranışını ayrıntılı inceleme/günleme
- Kullanıcı dostu arayüzler

Uygulamaya şekil (.shp) dosya formatındaki veriler doğrudan aktarılabilir gibi bu formatta olmayan metin, excel dosyalarındaki veriler de uygulamada bulunan “veri aktar” seçeneğiyle coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılabilir 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 vb gibi veriler GeoFIS üzerindeki veri ekle işlemiyle uygulamaya aktarılır. İhtiyaç duyulması durumunda veri üzerinde sorgu ifadeleri yazılarak veri hakkında daha geniş bilgi edinilebilir. Ayrıca yazılan sorgu gruplarına göre veriler farklı renklere boyanıp veri hakkında daha da net bilgi elde edilir (Şekil 2). Veriler üzerinde gerekli işlemler tamamlandıktan sonra analizi yapılacak olan bölge, GeoFIS’e yüklenmiş harita üzerinden seçilir (Şekil 2). Tüm harita üzerinde çalışmak mümkün olabileceği gibi, uzmanın haritası yüklenen belli bir bölge için ayrıntılı çalışma isteğini karşılayabilme, harita içinde yerel çalışma bölgeleri oluşturabilme, aynı haritadaki farklı bölgeler için farklı bulanık modelleme yapabilme gibi gereksinimleri karşılamak için bu yetenek eklenmiştir. Çünkü aynı harita içindeki farklı bölgelerin, bulanık bağlamları yani uzman bakış açısı birbirinden farklı olabilmektedir. Daha sonra bulanık çıkarsama sistemi için hangi verilerin girdi olarak kullanılacağı belirlenir. Uygulamada birden fazla harita katmanıyla çalışılabildiği için bulanık çıkarsama sisteminin girdisi olacak parametreler ve değer aralıkları Şekil 3’teki arayüz yardımıyla belirlenir.



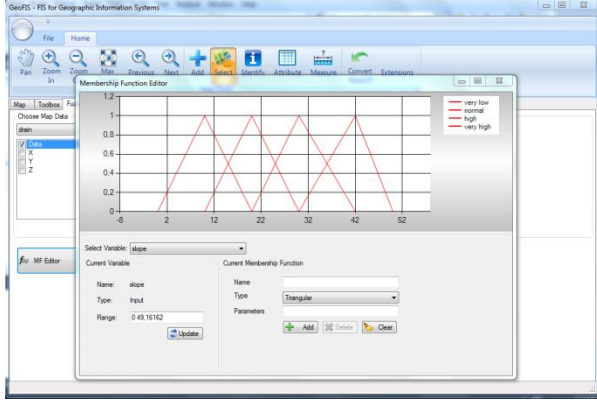
Şekil 2: GeoFIS, Drain öncelikli harita üzerinde bölgeleme arayüzü



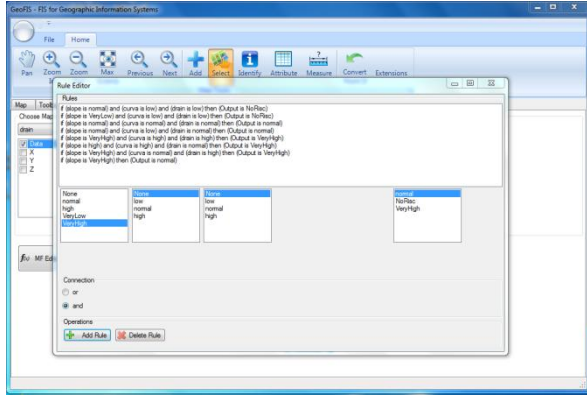
Şekil 3. GeoFIS, girdi düzenleme arayüzü

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 4). Üyelik fonksiyonlarını tanımladıktan sonra bulanık çıkarsama sisteminin kurallarının tanımlanması aşamasına geçilir. Bulanık kural tabanı, kontrol amacını gerçekleştirmek üzere tasarlanmış bulanık kontrol kurallarını içermektedir. Bu aşamanın temel amacı ise uzman bilgisini neden-sonuç ilişkisi içerisinde ifade etmektir. Tanımlanan üyelik fonksiyonları kullanılarak sistemin bulanık kuralları uzman

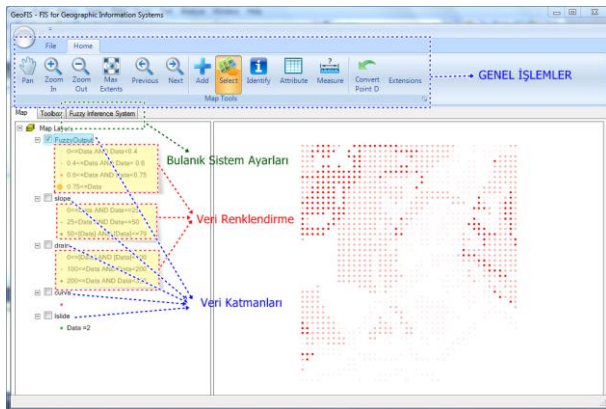
tarafından belirlenir ve kural tabanı oluşturulur (Şekil 5). Tüm bu aşamalar tamamlandıktan sonra bulanık çıkarsama sistemi için gerekli parametreler belirlenmiş olur ve seçilen bölge için sistem çalıştırılarak çıkarsanan heyelan duyarlılık değerleri ayrı bir katman olarak haritaya eklenir (Şekil 6). Farklı eşik değerleri için yapılan farklı renk tonlamaları ile yüksek duyarlılıkların görsel ifadesi gerçekleştirilir.



Şekil 4. GeoFIS, üyelik fonksiyonu tanımlama arayüzü



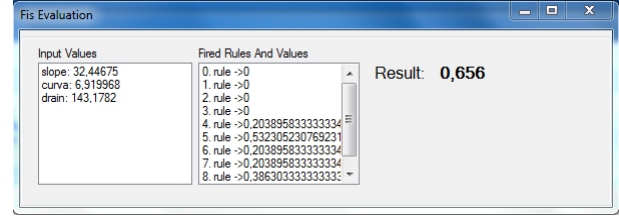
Şekil 5. GeoFIS, bulanık kural tanımlama arayüzü



Şekil 6. Bulanık çıkarsama sonuçlarının gösterimi

Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile heyelan envanteri üst üste bindirilerek gerçekleştirilmiş heyelan olaylarının çıkarsama sonuçları ile ne kadar örtüştüğünü görsel olarak incelemek 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 7). Kurallar ve üyelik fonksiyonları bu geri bildirim 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. Çıkarsanan duyarlılık değerleri topluca değişik ortamlara aktararak GeoFIS dışına çıkarılabilir.



Şekil 7. Tetiklenen kuralların incelenmesi

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bir doğa olayı olan heyelanın, yerleşimlerin olduğu ya da planlandığı alanlar üzerinde insan ve taşınmaz kayıplara varabilen sonuçları nedeniyle duyarlılık, risk ve tehlike seviyelerinde değerlendirilmesinin gerekliliği açıktır. Duyarlılık, risk ve tehlike seviyelerine çıkabilmek için gereken bir alt adım olarak araştırmacıların üzerinde durduğu bir konu olmuştur. Bu konuda yapılan çalışmalarda yöntemlerin duyarlılık haritası üretimindeki başarısı araştırılmıştır. Bu çalışmada ise yazılım teknolojisinin ve açık kaynaklı kütüphanelerin yaygınlaşmasından hareketle; modelleme ve harita işlemlerini tek platformda birleştiren ve kullanıcı dostu bir sunum ile mühendislerin ve risk-tehlike kavramları üzerine çalışan araştırmacıların ihtiyacını karşılayacak GeoFIS yazılımı sunulmuştur. GeoFIS yazılımının mevcut hali heyelan duyarlılık haritası üretmek için yeterli olmakla birlikte, desteklediği üyelik fonksiyonu sayısının ve durulaştırma yöntemlerinin genişletilmesi, başarımlı ölçütlerinin eklenmesi devam eden çalışmalardır. Bir başka deyişle; GeoFIS yazılımının sunulan sürümü yazılım doğruluk ve tutarlılık testlerinden geçirilmiş olup, Doğu Karadeniz bölgemizin seçilen bir kesiti üzerinde heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılacak ve sonuçları duyurulacaktır.

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. 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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
- [10] Show-Jane, Y., Yue-Shi, L., Cluster-based under-sampling approaches for imbalanced data distribution, *Expert System with Applications*, 36, 5718-5727, 2009
- [11] Liao, T.W., Classification of weld flaws with imbalanced class data, *Expert System with Application*, 35, 1041-1052, 2008.
- [12] Alvarez Grima, M., *Neuro-Fuzzy Modeling in Engineering Geology* .A. A. Balkema, Rotterdam, 244, 2000.
- [13] Juang, C.H., Lee, D.H., Sheu, C., Mapping slope failure potential using fuzzy sets, *Journal of Geotechnical Engineering ASCE* 118, 475–494, 1992.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] MATLAB, User's Guide Version 7.8, R2009a. MathWorksCo. ,USA, 2009.
- [17] Mamdani, E.H. ve Assilian, S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzz logic controller. *Int J Man–Mach Stud* 7:1–13, 1975
- [18] <http://dotspatial.codeplex.com/>
- [19] <http://sourceforge.net/projects/fuzzynet>