

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ (AHY) İLE ÜRETİLEN DEPREM TEHLİKE HARİTALARININ DUYARLILIK ANALİZİ

M. A. GÖKKAYA¹, T. ERDEN², H. KARAMAN²

¹ İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı,
Coğrafi Bilgi Sistemi Müdürlüğü, İstanbul, mustafa.gokkaya@ibb.gov.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, erdentur@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, karamanhi@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, CBS ve AHY yardımıyla üretilen deprem tehlike haritaları için girdi verileri olarak belirlenen ölçüt ağırlıklarının duyarlılık analizleri yapılandırılmaktadır. Ölçüt ağırlıklarının belirli oranlarla değiştirilmesinin model çıktı verileri üzerindeki etkileri görsel olarak yorumlanmaktadır. Çalışmada izlenen adımlar şu şekilde özetlenmektedir: Çözülecek problemin/amacın belirlenmesi (bu çalışmaya özel olarak AHY yöntemi ile oluşturulmuş deprem tehlike haritalarının duyarlılık testi), kaynak taraması yapılması, deprem tehlike haritasının parametrelerinin belirli oranda artırım ve azalışlarla ağırlıklarının yeniden hesaplanması, Verilerin elde edilmesi ve amaca uygun formatta düzenlenerek CBS ortamına aktarılması, Raster veri gruplarının sınıflandırılması, CBS tabanlı araç kutusunun kullanılması, Yeni oluşturulan ağırlıklar yardımıyla yeni deprem tehlike haritalarının üretimi, Oluşturulan sonuç raster verilerinin yorumlamaya uygun belirli aralıkta gösterimi, Sonuç raster verisi ile girdi raster verilerinin karşılaştırılması ve yorumlanması.

CBS ile AHY'nin duyarlılık analiziyle bütünleştirilmesi karar verme sürecini iyileştirmektedir. Duyarlılık analizi ile karar vericiler seçtikleri parametrelerin model genelindeki etkilerini ve değişiklikleri izleyebilmektedir. Bu bağlamda, verimlilik ve kalite de artırılmış olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Deprem Parametreleri, Duyarlılık Analizi

SENSITIVITY ANALYSIS OF EARTHQUAKE HAZARD MAPS PRODUCED BY GIS AND AHP

Abstract

In this study, the sensitivity analysis of the criterion weights which are input data for the earthquake hazard maps produced by GIS and AHP are structured. The effects on the model output have been interpreted by changing the criterion weights with a certain rate. The steps followed in the study are summarized as follows: Definition of the problem/objective (earthquake hazard maps' sensitivity analysis were created by the AHP and GIS); Review of the literature; Recalculation of the parameters of the

earthquake hazard maps by changing the criterion weights; Data collection, preparation and transfer to GIS environment; Classification of raster data sets; Using a GIS-based design of the tool box; Producing of new earthquake hazard maps; Creating appropriate data classifications; Comparing the input and output raster data and interpretations.

Integration of GIS and AHP with sensitivity analysis improves the decision-making process. The effects and changes on the model parameters which decision makers select are monitored by sensitivity analysis. In this context, quality and productivity are increased.

Keywords: Geographic Information Systems, Analytic Hierarchy Process, Earthquake Parameters, Sensitivity Analysis.

1. Giriş

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi 1980'lerden başlayarak özellikle mekânsal verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak belirmiştir. CBS tüm bu özelliklerinin yanında doğal kaynak yönetimi, bölgesel planlama ve afet yönetimi gibi birçok alanda bir karar destek tekniği olarak da uygulama alanı bulmuştur. Cowen (1988) karar destek fonksiyonlarından dolayı CBS'yi bir karar destek aracı olarak tanımlamıştır. Bazı araştırmacılar ise mevcut CBS'lerin bir karar destek sistemi olarak bazı yerlerde eksik kaldığını belirtmişlerdir (Densham ve Rushton, 1988; Densham ve Goodchild, 1989).

CBS'lerin bir karar destek sistemi olarak işlev yüklenmelerine olanak sağlayan yönelimler mekansal karar verme eylemi sürecini iyileştirmektedir. Bu çerçevede Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri mekansal karar destek araçları olarak yüksek potansiyele sahip olmaktadır. Literatürde CBS ile çok kriterli değerlendirme tekniklerinin bütünleştirilmesine katkı veren birçok uygulama mevcuttur (Carver, 1991; Eastman ve diğ. 1993; Jankowski, 1995).

Duyarlılık analizi, girdi değerlerindeki değişikliklerin model çıktısı üzerindeki etkisi olarak tanımlanmaktadır (Frey ve diğ. 2004). Saltelli ve diğ. (2000) tarafından yapılan benzer bir tanımla duyarlılık analizi; bir model çıktı verisiyle çeşitli model girdi verisi arasındaki miktar ve kalitenin belirlenmesi ile ilgili bir çalışma olmaktadır. Duyarlılık analizi belirsizliklerin tanımlanması sürecinde yardımcı bir rol oynamaktadır (Frey ve diğ. 2004). Bunlara ek olarak, duyarlılık analizi, model geliştirme ve modeli düzenleme aşamalarıyla, ilgili modelin doğrulanmasına yardımcı da olmaktadır. (Fraedrich & Goldberg 2000, Kleijnen & Sargent 2000). Ayrıca duyarlılık analizinin bir başka kullanımı, özellikle kararların alındığı durumlarda model sonuçlarının sağlamlığı (gürbüzlüğü) üzerinde daha fazla fikir edinmek olduğu belirtilmektedir (Saltelli ve diğ. 2000).

2. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

1970'li yıllarda Thomas Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) birden fazla ölçüt içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan çok ölçütlü bir karar verme yöntemidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). AHY, karmaşık problemleri amaç-ölçütler-alt ölçütler-seçenekler hiyerarşisi kurularak çözmeye olanak sağlamaktadır. AHY, genel olarak, problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma (decomposition), karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması (comparative judgement) ve önceliklerin sentezlenmesi (synthesis of priorities) olmak üzere üç temel prensibe dayanmaktadır (Saaty, 1977; Saaty, 1980). Parçalara ayırma prensibinde hiyerarşik bir yapı yaratılmakta ve problem bu hiyerarşik yapıya göre çözülmektedir. Karşılaştırmalı karar verme aşamasında ölçütler, çiftler şeklinde belirlenmekte ve birbirleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Herbir hiyerarşi düzeyinde belirlenen ağırlıklar genel bir ölçekte toplanıp sentezlenerek seçeneklerin önceliklendirilmesi aşamasında kullanılmaktadır.

3. Deprem Parametreleri, Kriter Aralıkları ve Ağırlıkları

Bu çalışmada deprem parametreleri olarak Erden ve Karaman (2012) makalesindeki deprem parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler: Topoğrafya (TP), Deprem Merkezine Uzaklık (DU), Zemin Sınıfı (TS), Sıvılaşma Potansiyeli (SP) ve Fay Mekanizması (FM)'dir. Tablo 1'de deprem parametreleri, bu parametrelerin sınıf değerleri ve AHY ile belirlenmiş kriter ağırlıkları da gösterilmektedir.

Tablo 1. Hesaplanan ölçütler ağırlık/öncelik kriter değer aralıkları ve atanan sınıf değerleri.

Kriter	Sınıf Değerleri				Ağırlık/Öncelik
	1	2	3	4	
Topoğrafya (TP) (derece)	0-10	10-15	15-30	30<	0.06 (%6)
Deprem Merkezine olan Uzaklık (DM) (km)	22.21 - 19.80	19.80 - 17.38	17.38 - 14.97	14.97 - 12.55	0.38 (%38)
Zemin Sınıfı (TS) (ms ⁻¹)	800-760	760-360	360-180	180-50	0.24 (%24)
Sıvılaşma Potansiyeli (SP)	104-103	103-102	102-101	101	0.22 (%22)
Fay Mekanizması (FM)	0.45-0.53	0.53-0.61	0.61-0.68	0.68-0.76	0.10 (%10)

4. Duyarlılık Analizi ve Uygulama

Dantzig (1963) duyarlılık analizinin amacını şu şekilde belirtmektedir: “Duyarlılık analizi karar verme modellerinin uygulanmasında ve etkin bir biçimde kullanılmasında temel bir kavram olarak belirmektedir. Duyarlılık analizinin amacı, parametrelerin değişimi altında en uygun çözümün kararlılığını ve tutarlılığını değerlendirmektir”. Duyarlılık analizinde küçük ağırlık değişimlerine maruz

birakılan bir ölçütün değışimleri izlenerek herhangi bir ölçüt için kritik değerler belirlenmektedir. Karar verici de ilgilendiği çok ölçütlü karar verme probleminin hangi kritik kısmına daha fazla önem vermesi gerektiğini duyarlılık analizi ile saptamaktadır. İlgili ölçütlere uygulanacak duyarlılık analizi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Triantaphyllou, 2000):

$$\omega_j = (1 - \omega_i) * \left(\frac{\omega_j^0}{(1 - \omega_i^0)} \right)$$

ω_j ; j. ölçütün duyarlılık analizinde kullanılacak yeni ağırlık değerini göstermektedir. ω_i ise duyarlılık analizinde ağırlık artımına veya azaltımına tabi tutulan i. ölçütün yeni ağırlık değeridir. ω_i^0 ve ω_j^0 ağırlık değerleri ise sırasıyla i. ve j. ölçütlerin duyarlılık analizine tabi tutulmadan önceki ağırlık değerleri olmaktadır.

Yukarıdaki formülayona göre FM (Fay Mekanizması) ölçütü için $\omega_i = 0.2$ (%20) ağırlık değerine göre TP (Topoğrafya) ölçütünün yeni ağırlık değeri $\omega_j = 0.053$ olarak hesaplanmaktadır:

$$(1 - 0.2) * \left(\frac{0.06}{(1 - 0.1)} \right) = \omega_j = 0.053$$

Bu çalışmada herbir ölçüt baz alınarak (DU, FM, SP, TP, ZS) ilgili tüm diğer ölçütler için %0 ile %100 arasında olmak üzere ve %10'luk ağırlık arttırım değerlerini göre duyarlılık analizi değerleri hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. FM ölçütü için duyarlılık analizi

	Ağırlıklar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
TP	0.060	0.067	0.060	0.053	0.047	0.040	0.033	0.027	0.020	0.013	0.000
DU	0.380	0.422	0.380	0.338	0.296	0.253	0.212	0.168	0.127	0.084	0.000
ZS	0.240	0.267	0.240	0.213	0.187	0.160	0.133	0.107	0.080	0.053	0.000
SP	0.220	0.244	0.220	0.196	0.171	0.147	0.122	0.098	0.073	0.049	0.000
FM	0.100	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	1.000
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

5. Sonuđlar ve Öneriler

Bu çalışma ile AHY ile oluşturulmuş kriter ağırlıklarının duyarlılıklarının mekansal olarak test edilmesine olanak sağlanmaktadır. Bu metodolojinin kullanımında ve görselleştirilmesinde girdi verisi olarak Küçükçekmece ilçesi deprem parametreleri (DU, FM, SP, TP, ZS) kullanılmaktadır. Bu deprem parametrelerindeki değışikliklerin sonuğları mekansal olarak yorumlanmaktadır.

Duyarlılık analizi sonucunda DU ölçütünün % 20'lik bir aralık değişimine duyarlı olduğu çalışma sonucunda belirlenmiştir. Bu çalışmada % 38'lik ağırlık değerine sahip olan DU ölçütü ağırlık değerlerinin % 30, % 40 ve % 50 olması halinde dahi model parametrelerinde ve görsel üründe büyük değişimlere rastlanmamıştır. Bu sonuç da belirlenen ölçüt ağırlığının doğru ve güvenilir bir biçimde belirlendiğini ve modelin doğru ve tutarlı bir biçimde işlediğini göstermektedir. % 30'luk ve % 50'lik ağırlık değişiminde ise modelde sadece belirli yerlerde piksel grupları değişmiş, geneline göre normal ağırlıklı modelden fazla bir sapma gözlenmemiştir. % 30'un altında ve % 50'nin üstündeki değişim aralıklarında model büyük değişim göstermiştir. Değişimin DU parametresi için %8 azalan yönde ve % 12 artan yönde bir duyarlılık aralığında dahi normal ağırlıklı modeldeki gibi davranması ve küçük değişikliklerde büyük değişimler göstermemesi parametrenin güvenilirliğini göstermektedir.

FM ölçütünün model içindeki ağırlığı % 10 olarak belirlenmiş ve bu ölçüt için de % 10'luk ağırlık değerleri baz alınarak duyarlılık analizi yapılmıştır. FM ölçütün artan ve azalan % 10'luk değişimlerde sonuç anlamsızlaşmamakta, model referans modelle yaklaşık olarak aynı düzeyde tepki göstermektedir. Bu da FM parametresi için ağırlık değerlerinin doğru, güvenilir ve tutarlı bir biçimde belirlendiğini göstermektedir.

Duyarlılık analizi değerlendirmesine tabi tutulan bir diğer ölçüt % 22'lik ağırlık değeriyle model içinde yer alan SP ölçütüdür. Model % 10'luk ve % 30'luk değişim aralığında baz alınan ağırlığına göre birkaç piksel grubunda değişiklik göstermektedir. Duyarlılık aralığı ise % 12 azalan ve % 8 artan yönde oluşmakta ve modelin olası küçük ağırlık değişimlerinden etkilenmediği sonucu çıkmaktadır. % 0'da, % 40 ve üstünde ise model baz alınan modele göre büyük değişiklik göstermektedir. Elde edilen bu sonuç da SP parametresinin model içinde doğru, güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olarak yer aldığı göstergesi olmaktadır.

TP parametresi duyarlılık analizinde % 6'lık bir ağırlık değeriyle yer alan diğer bir ölçüttür. Ölçütün duyarlılığının % 10 mertebesinde olduğu duyarlılık analizi sonucunda belirlenmiştir. Bu ölçütün duyarlılık aralığı % 6 azalan ve % 14 artan yönde bir duyarlılık aralığı oluşturmuştur. % 20'lik ağırlık değişiminin üzerindeki her aralıkta ise oluşan model baz alınan modelden farklılık göstermektedir. Sonuç olarak TP parametresi güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olduğu duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir.

Son olarak ZS ölçütü için de duyarlılık analizi yapılmıştır. ZS ölçütünün baz ağırlığı AHY ile % 24 olarak belirlenmiştir. Duyarlılık analizinde duyarlılığı % 30 mertebesinde belirtilmiştir. Duyarlılık aralığı ise % 14 azalan ve % 16 artan yönde oluşmuştur. Bu aralıkta modelde sadece belirli piksel gruplarında değişiklikler oluşmuştur. % 0 ağırlık değerinde, % 50 ağırlık değerinde ve üzerindeki ağırlık değişim aralıklarında ise modelde büyük değişim görülmüştür. Sonuçlar karşılaştırıldığında ZS parametresi güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olduğu duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen CBS tabanlı ÇKKV uygulamalarının bir çoğunda özellikle duyarlılık analizleri konusunda bir boşluk olduğu görülmektedir. Bugüne kadar yapılan uygulamaların pek azında duyarlılık analizi bileşenine rastlanmıştır. Literatür, uluslararası makaleler açısından tarandığında görülmektedir ki yapılan birçok çalışmanın duyarlılık analizi kısımları eksik kalmaktadır. Yapılandırılan bu çalışmayla bu boşluğun da doldurulması amaçlanmaktadır. Duyarlılık analizlerinin CBS ortamında CBS'nin görselleştirme ve analiz olanaklarından yararlanılarak başarılması, duyarlılık analizlerine görsel bir bileşenin de eklenmesini olanaklı kılmaktadır. Bu sayede modelin duyarlılığının görsel olarak yorumlanması başarılmaktadır. Bu çalışma ile CBS tabanlı ÇKKV problemlerine duyarlılık analizi açısından katkı yapılması amaçlanmıştır.

Kaynaklar

- Carver, S.J., (1991). Integrating Multi-criteria Evaluation with Geographic Information Systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, pp. 321-339.
- Cowen, D., (1988). GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 1551-1555.
- Dantzig, G.B., (1963). *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Princeton, NJ. USA.
- Densham, P.J., and Rushton, G., (1988). Decision Support Systems for Locational Planning, In: *Behavioral Modeling in Geography and Planning*, edited by R.G. Colledge, and H.J.P. Timmermans (New York: Croom Helm), pp. 56-90.
- Densham, P.J., and Goodchild, M.F., (1989). Spatial Decision Support Systems: A Research Agenda, In *Proceedings, GIS/LIS'89*, Orlando, FL, Vol. 2 (Bethesda, MD: American Congress on Surveying and Mapping), pp. 707-716.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K., Toledano, J., and Jin, W., (1993). *GIS and Decision Making*, Geneva: The United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Erden, T., & Karaman, H. (2012). Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for Küçükçekmece region. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(2), 475-483.
- Fraedrich, D. & Goldberg, A. (2000). A methodological framework for the validation of predictive simulations. *European Journal of Operational Research* 124 (1): 55-62.

- Frey, H. C., Mokhtari, A. & Zheng, J. (2004). Recommended practice regarding selection, application, and interpretation of sensitivity analysis methods applied to food safety risk process models. *US Department of Agriculture*. <http://www.ce.ncsu.edu/risk/Phase3Final.pdf>
- Jankowski, P., (1995). Integrating Geographic Information Systems and Multicriteria Decision Making Methods, *International Journal of Geographic Information Systems* 9 (3), pp. 251-273.
- Kleijnen, J. P. C. & Sargent, R. G. (2000). A methodology for fitting and validating metamodels in simulation. *European Journal of Operational Research* 120 (1): 14-29.
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N., (2001). *Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları*, Akdeniz, İ.İ.B.F. Dergisi, Sayı:1, 83-105.
- Saaty, T.L., (1977), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol: 15, pp. 234-281.
- Saaty, T.L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York, McGraw-Hill.
- Saltelli, A., Chan, K. & Scott, E. M. (2000). *Sensitivity Analysis*, Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley, New York.
- Triantaphyllou, E., (2000). Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, *Applied Optimization*, Vol. 44, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.