



Doğu Karadeniz Bölgesinin Doğal Kaynak Sularındaki Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivite Dağılımlarının Bulanık Mantık Yöntemi ile Değerlendirilmesi ve Haritalandırılması

Cafer Mert YEŞİLKANAT¹, Yaşar KOBYA²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi Eğitim Fakültesi, 08000 Artvin,

²Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 08000 Artvin

Received: 16.09.2016; Accepted: 18.11.2016

Özet: Bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımı kullanarak, Doğu Karadeniz bölgesindeki doğal kaynak sularından ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının genel dağılımı belirlenmiş ve ölçüm alınmayan noktalar için tahmin değerleri hesaplanarak, haritalandırılması gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Gümüşhane ve Bayburt olmak üzere toplam 7 ilde belirlenen 40 istasyondan elde edilmiştir. Bu istasyonların tamamından ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri bulgularından yararlanarak çalışma alanının genel yapısı için bulanık kümeler ve kural tabanları oluşturulmuştur. Bu çalışmada Doğu-Batı X koordinatı, Güney-Kuzey Y koordinatı ve yükseklik verileri ile birlikte toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları bulanık kümeler ile gösterilmiş ve bulanık kurallar ile tahminlerde bulunulmuştur. Bulanık modelin performans değerlendirmesi ise çapraz doğrulama diyagramları ile değerlendirilmiştir. Bu diyagramlardan toplam alfa ve toplam beta için Pearson's r katsayıları sırasıyla 0.74 ve 0.80 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda ölçüm alınmayan tüm noktalar için bulanık mantık modellemesi tahminlerinde bulunulmuş ve sonuçlar radyolojik dağılım haritaları olarak gösterilmiştir. Bu çalışma ile radyolojik dağılımın bulanık mantık yaklaşımları kullanılarak tespit edilebileceği ve ölçüm alınmayan noktalar için tahmin değerlerinin belirli güven aralığında hesaplanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bulanık Mantık Modellemesi, Çevresel Radyoaktivite, Doğal kaynak suyu, Doğu Karadeniz bölgesi

The Mapping and The Evaluation of Gross Alpha and Gross Beta Activity Distribution in The Natural Spring Waters of Eastern Black Sea Region Using Fuzzy Logic Method

Abstract: In the study, drawing upon the fuzzy logic approach, the general distribution of gross alpha and gross beta concentrations measured from the natural spring waters in the Eastern Black Sea region was identified, and the predicted values were mapped calculating for the unmeasured points. The measurements were obtained from 40 stations in designated 7 cities which are Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Gümüşhane and Bayburt. Fuzzy sets and rule bases were generated for the general structure of the study area benefiting from the findings of gross alpha and gross beta activity values measured in all these stations. In this study, East-West X coordinate, South-North Y coordinate and height data were indicated in fuzzy sets with gross alpha and gross beta concentrations, and predictions were done using fuzzy rules. The performance evaluation of fuzzy model was assessed by means of cross validation diagrams. Pearson's r coefficient are found as 0.74 and 0.80 respectively for gross alpha and gross beta from these diagrams. In the conclusion of study, fuzzy logic model predictions were represented and the results were indicated as radiological distribution maps. This study demonstrates that the radiological distribution is able to be detected using fuzzy logic approach, and that the predicted values for unmeasured points are able to be calculated in a specific confidence interval.

Keywords: Fuzzy Logic Modelling, Environmental radioactivity, Natural spring water, Eastern Blacksea region

* Corresponding author. Email address: cmertyesilkanat@gmail.com

1. GİRİŞ

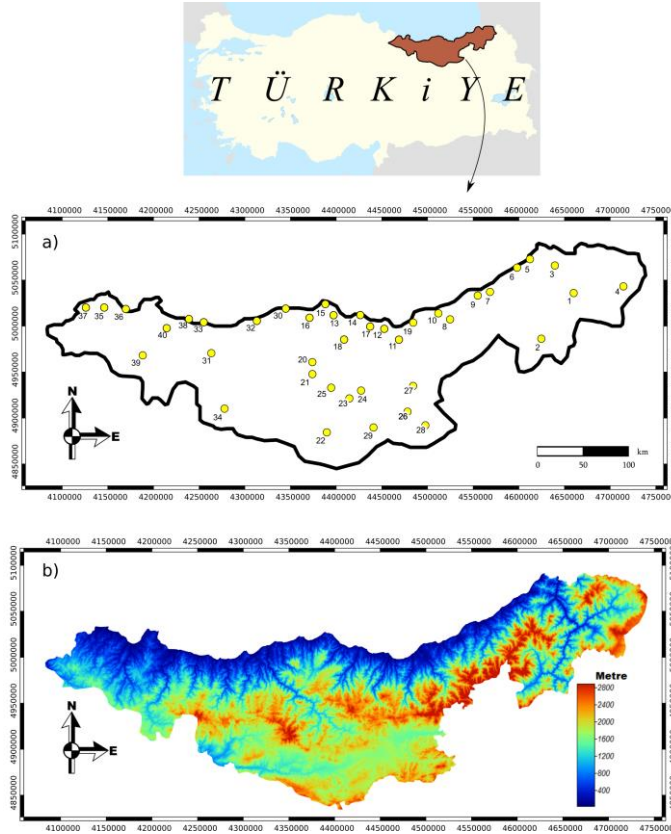
Çevresel değişkenlerin dağılımının belirlenmesinde temel problemlerden biri ölçüm alınmayan ara değer noktalarının tahmini ve haritalandırılmasıdır [1]. Radyonüklitler, bir bölgeye ait radyolojik fon dağılımını ortaya koyan bir çevresel değişkendir. Halk sağlığı açısından radyolojik dağılımın tespiti ve tayini oldukça önemlidir [2]–[4]. Ancak dağılımın belirlenmesinde ölçüm alınmayan noktaların tahmin edilememesi dağılımın sağlıklı bir şekilde belirlenmesini engellemektedir. Bu problemin ortadan kaldırılması için literatürde bazı yöntemler kullanılmıştır [5]–[7]. Bulanık mantık yöntemi bunlardan biridir ve benzer çalışmalar arasında kullandığı yöntem bakımından bir ön çalışma özelliği sağlamaktadır.

Bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımı kullanarak, Doğu Karadeniz bölgesindeki doğal kaynak sularından ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının genel dağılımını belirlemek, ölçüm alınmayan noktalar için tahmin değerleri hesaplamak ve radyolojik interpolasyon haritalarını oluşturmaktır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ve Veri Seti

Çalışma alanı olarak doğal kaynak suları bakımından zengin bir bölge olan Doğu Karadeniz Bölgesi seçilmiştir. Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan 7 ilde (Artvin, Rize, Trabzon, Gümüşhane, Bayburt, Giresun ve Ordu) belirlenen 40 istasyondan doğal kaynak suyu örneği alınmıştır [8], [9]. Kobya ve ark.[8] tarafından daha önceki bir yayında Toplam alfa ve Toplam beta ölçüm sonuçları verilmiş olan bu veri seti kullanılarak çalışma alanının radyolojik dağılım haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanı, numune alınan istasyonlar ve bölgenin sayısallaştırılmış yükseklik haritası Şekil 1’de görülmektedir.

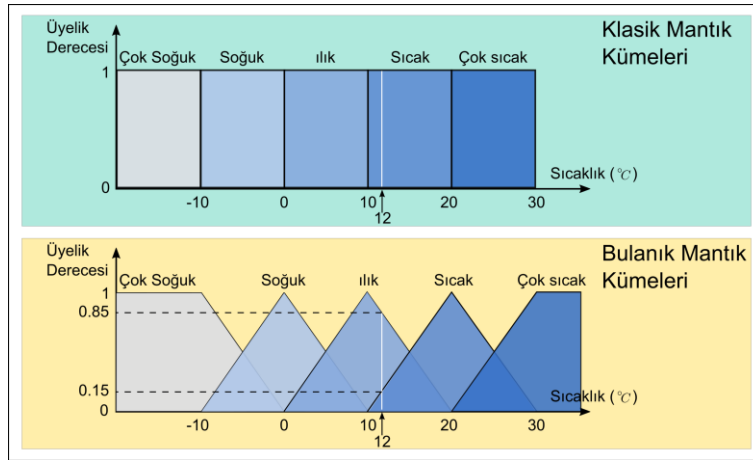


Şekil 1. Çalışma alanı a) İstasyonlar, b) sayısal yükseklik haritası

2.2. Bulanık Mantık

Bulanıklık bir araştırmacının incelediği konunun tam kesinlikte bilinmemesi durumunda sahip olduğu belirsiz bilgilerin tümüdür [10]. Bu anlamı ile düşünüldüğünde bulanık bir kümenin gerçek dünyanın matematiksel olarak modellenmesinde oldukça başarılı olduğu belirlenebilir. Çünkü klasik mantıkta olduğu gibi varlık-yokluk, sıcak-soğuk, uzun-kısa, büyük küçük vb. gibi "1" (o kümenin elemanı) ve "0" (o kümenin elemanı değil) biçimli bir sınıflama gerçek dünyayı tam olarak yansıtmamaktadır. Gerçek dünya düzeni sadece "1" ve "0"dan oluşmuş bir kümeleme düzeninde değil aynı zamanda bu değerlerin ara değerlerini de içeren bir kümeleme ile tanımlanır. Örneğin gerçek dünyada *soğuk-sıcak* ilişkisi, *çok soğuk*, *soğuk*, *ılık*, *sıcak*, *çok sıcak* gibi ısının farklı derecelerine sahip bir sıralama biçiminde sunulur. Bu kümelerin hiç birinin tam sınırları bilinmese de tecrübelerle dayanılarak bu kümelerin nerede başlayıp nerede sonlanacağı belirlenebilir. Bu sınırlar bazen birbirleri içinde kesişim fonksiyonları biçiminde bulunabilir. Bu durumda o bu kesişim kümesinin elemanı olan bir değer, üyelik derecesine göre her iki kümeden de etkilenebilir. Şekil 2'de klasik küme ve bulanık kümelerin genel yapısı gösterilmiştir [10]. Burada klasik mantık ile oluşturulan bir kümenin belirli keskin sınırları olduğu görülmektedir. Bu sınırlar dahilinde bir kümenin elemanı olan değer, sınırın aşımında hemen komşu kümenin elemanı olabilir. Ancak bulanık mantık ile oluşturulan bir kümede ise bu sınırlar keskin değildir. Bir değer her iki farklı üyelik derecelerinde her iki kümenin elemanıdır. Buna göre Şekil 1'de 12°C klasik mantıkta sadece sıcak kümesinin elemanı iken, bulanık mantıkta hem sıcak (%15 oranında) kümesinin hem de ılık (%85 oranında) kümesinin elemanı olacaktır.

Bulanık mantık ve bulanık küme kavramları ilk olarak 1965 yılında California Üniversitesinden Azeri asıllı bilim adamı Lüftü A. Zadeh [11] tarafından ortaya atılmıştır.



Şekil 2. Klasik ve bulanık mantık kümelerinin karşılaştırılması [10]

2.2.1. Bulanık Mantık Modellemesi

Bulanık mantık ile modelleme gerçekleştirmek için öncelikle dış dünyadan alınan bilgilerin bulanıklaştırılması gerekir. Ardından bulanık kümelerle ifade edilen girdi verileri, bulanık kural tabanı ile değerlendirilir. Bulanık çıkarım işlemi sonucunda belirlenen bulanık çıktılar durulaştırılır ve bir sonuca varılır [12].

2.2.1.1. Bulanıklaştırma Birimi

Bu aşamada bulanık model oluşturmak için girdi ve çıktı verileri her biri sözel ifadelerden oluşan bulanık kümelerle dönüştürülür. Yani tüm sayısal değerler belirli özelliklerde oluşturulan sözel bulanık kümelerin elemanları olarak yazılır.

2.2.1.2. Bulanık Mantıkta Kural Tabanı

Bulanık modeller, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlenen kurallar yardımıyla tanımlayan sistemlerdir. Bu kurallar "Eğer . . . ise" mantıksal ilişkisi yapısında olup tecrübeler veya uzman görüşüne dayanmaktadır. Bulanık kuralların genel yapısı "sebep-sonuç" ilişkisine dayanır [13].

2.2.1.3. Bulanık Sonuç Çıkarma Birimi

Bulanık mantık modellemelerinin temelleri kural tabanlı bulanık sonuç çıkarım sistemine dayanır. Literatürde en çok kullanılan bulanık sonuç çıkarma sistemi, Mamdaninin [14] önerdiği sistemdir [15]. Mamdani bulanık girdi kümelerinin bir kural tabanı ile yine bulanık olan çıktı kümelerine bağlanmasını sağlamıştır [10].

2.2.1.4. Durulaştırma Birimi

Bulanık çıkarım sonunda elde edilen sonuç bulanık küme yapısında olup bu sonucu tek bir sayı biçiminde gösterilmesi gereklidir. İşte bulanık haldeki bu sonucu anlamlı bir sayıya dönüştürme işine durulaştırma denir [10]. Bu çalışmada ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

2.3. Çalışmada Kullanılan Yazılım kaynakları

Bu çalışmadaki tüm analizler ve aradeğer tahmin hesaplamaları açık kaynak kodlu bir programlama dili olan **R** [16], [17] dilinde yazılmış ve Bulanık mantık hesaplamaları için *FuzzyToolkitUoN* [18] paket dosyaları kullanılmıştır. **R** Programının derlenmesi için framework olarak *R studio* yazılımının yanında haritaların oluşturulmasında kuantum coğrafik bilgi sistemleri sürüm 2.10.0 Pisa (Quantum geographic information system, QGIS) [19] haritaların sayısallaştırılması ve tahmin edilecek noktaların konumsal analiz özelliklerini belirlemek için SAGA-GIS sürüm 2.2.2 [20] programları kullanılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Verilerin Standartlaştırılması ve Bulanıklaştırılması

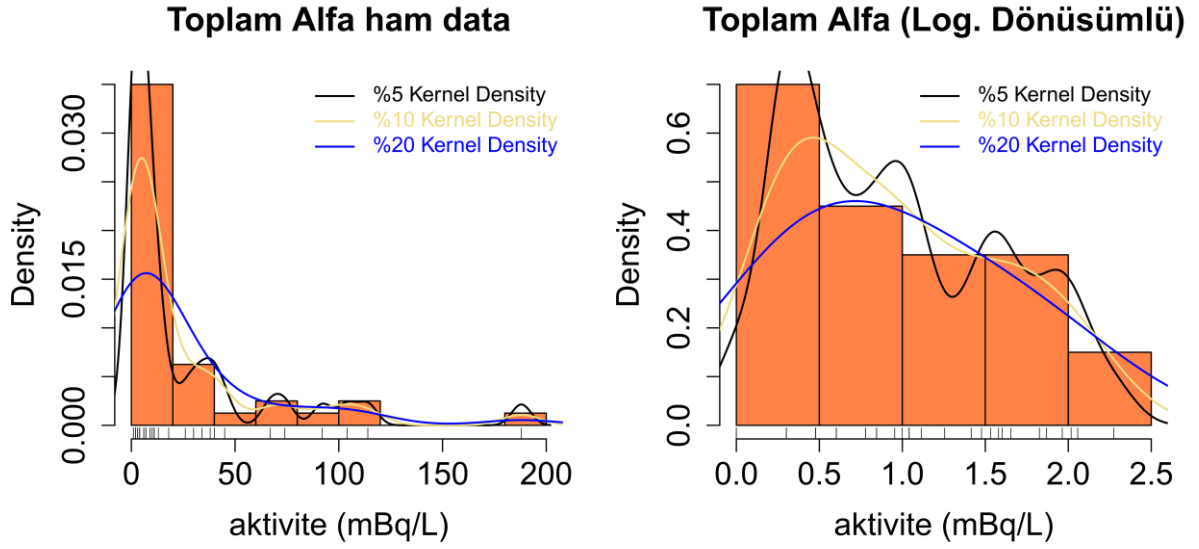
Bulanık modellemenin yapılabilmesi için sayısal olarak ölçülmüş verilerin sözel ifadeler biçiminde bulanık kümlerde gösterilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Doğu batı X koordinatı, Kuzey Güney Y koordinatı (Gauss-Kruger koordinatı) ve Yükseklik olmak üzere üç girdi bulanık kümesine karşılık, Toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerinin ölçüm bulguları olan iki çıktı bulanık kümesi kullanılmıştır. Burada X ve Y koordinatları işlem kolaylığı sağlamak amacı ile standartlaştırılmıştır. X ve Y koordinatlarını standartlaştırmak için sırasıyla aşağıdaki 1 ve 2 no'lu eşitlikler kullanılmıştır. Yükseklik verileri ise dönüştürülmeden aynen hesaplamalara katılmıştır.

$$\hat{X}_n = \frac{X - 4100000}{1000} \quad (1)$$

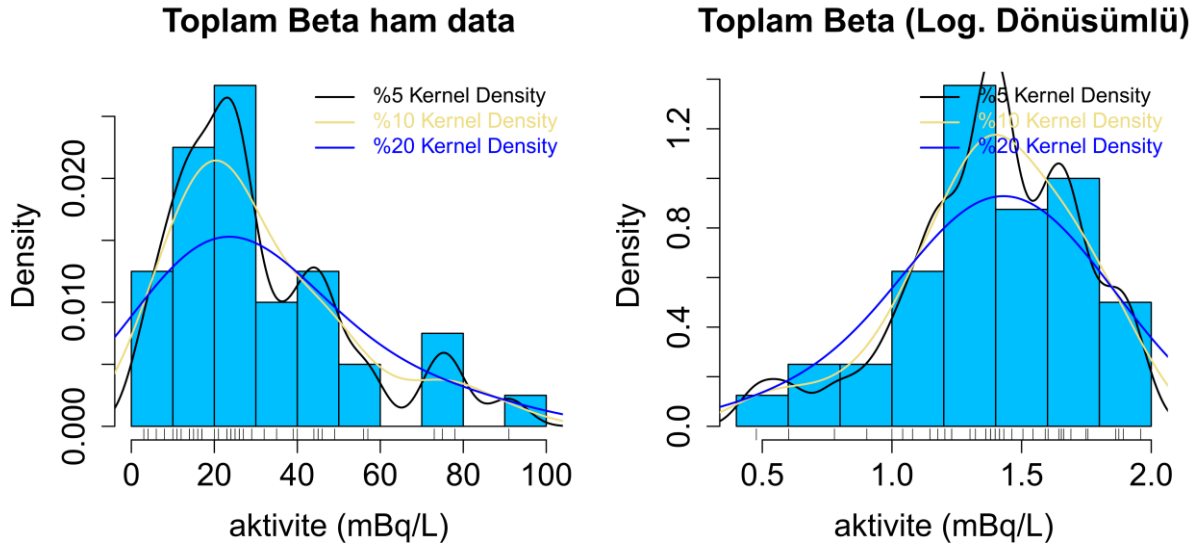
$$\hat{Y}_n = \frac{Y - 4800000}{1000} \quad (2)$$

Doğu Karadeniz Bölgesinin Doğal Kaynak Sularındaki Toplam Alfa ve Toplam Beta

Ayrıca ölçüm sonuçlarına göre toplam alfa ve beta değerlerinin histogram dağılımları incelendiğinde her iki radyolojik bulgunun da dağılımının log-normal olduğu görülmektedir. Dağılım haritalarının uygun geçerlilikte olabilmesi için dağılımın normal dağılıma yaklaştırılması istenir bu sebepten hesaplamalarda hem toplam alfa hem de toplam beta konsantrasyonlarının logaritma dönüşümleri yapılarak dağılımın normal bir şekilde olması sağlanmıştır. Şekil 3 ve 4’de sırasıyla toplam alfa ve toplam beta dağılımlarının ham veri ve logaritma dönüşümlü verilerine ait histogram diyagramları gösterilmiştir.

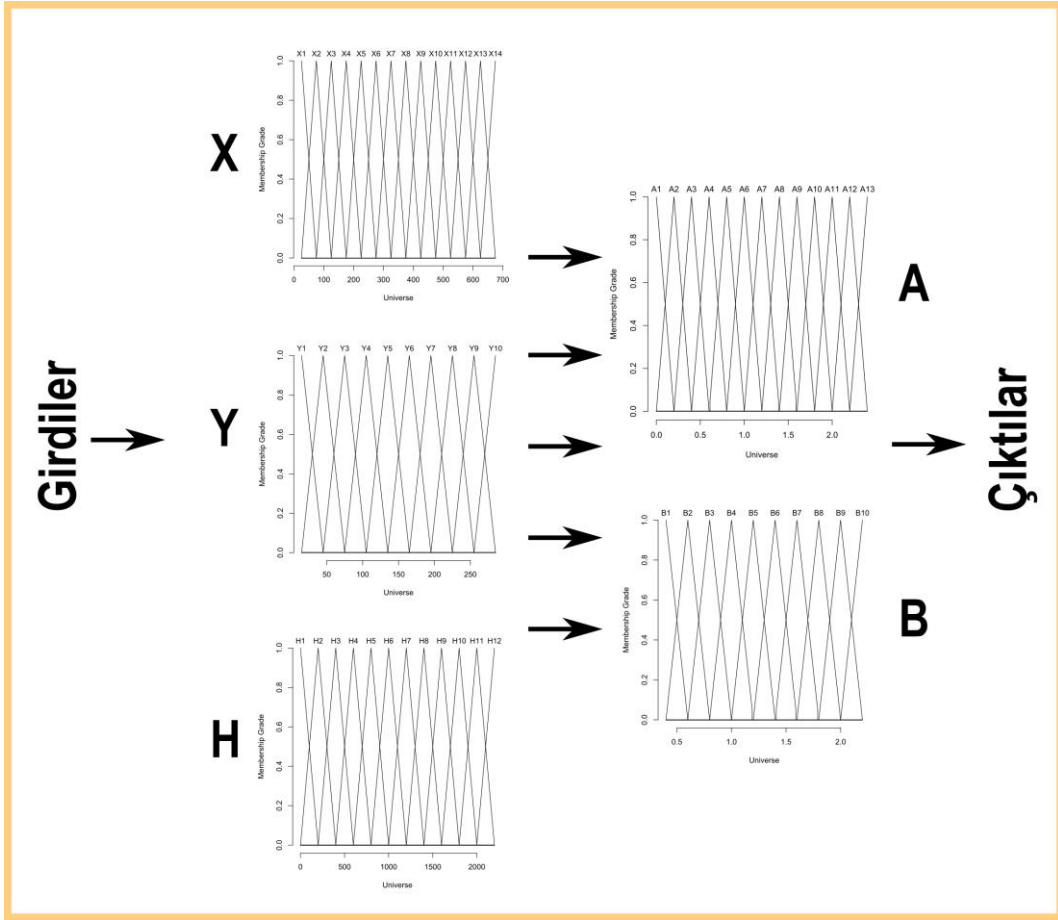


Şekil 3. Toplam alfa aktivite verileri için histogram diyagramları



Şekil 4. Toplam beta aktivite verileri için histogram diyagramları

Tüm dönüştürme işlemlerinden sonra bulanık kümeler Şekil 5 te olduğu gibi belirlenmiştir.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı verilerine ait bulanık kümeler.

3.2. Bulanık kural tabanı

Toplam alfa ve Toplam beta konsantrasyonlarının deneysel ölçüm bulgularına göre belirlenen bulanık kuralların bazıları aşağıda verilmiştir.

Toplam alfa için;

Kural-1: Eger $X = X12$ VE $Y = Y8$ VE $H = H2$ OYLEYSE $Alfa = A11$

Kural-2: Eger $X = X11$ VE $Y = Y6$ VE $H = H2$ OYLEYSE $Alfa = A9$

Kural-3: Eger $X = X13$ VE $Y = Y8$ VE $H = H6$ OYLEYSE $Alfa = A3$

Kural-4: Eger $X = X10$ VE $Y = Y8$ VE $H = H1$ OYLEYSE $Alfa = A3$

Kural-5: Eger $X = X9$ VE $Y = Y7$ VE $H = H2$ OYLEYSE $Alfa = A3$

...

Toplam beta için;

Kural-1: Eger $X = X12$ VE $Y = Y8$ VE $H = H2$ OYLEYSE $Beta = B9$

Kural-2: Eger $X = X11$ VE $Y = Y6$ VE $H = H2$ OYLEYSE $Beta = B6$

Kural-3: Eger $X = X13$ VE $Y = Y8$ VE $H = H6$ OYLEYSE $Beta = B2$

Kural-4: Eger $X = X10$ VE $Y = Y8$ VE $H = H1$ OYLEYSE $Beta = B6$

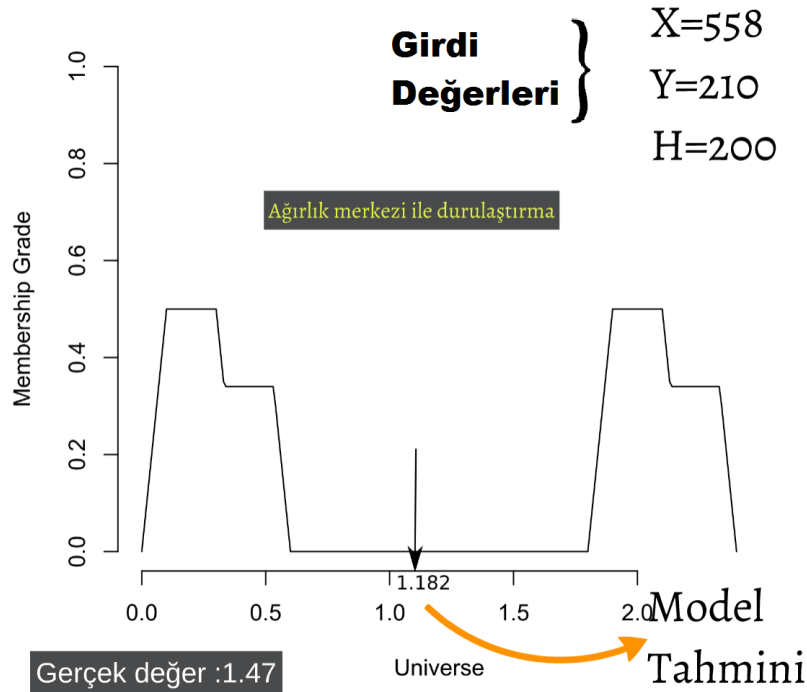
Kural-5: Eger $X = X9$ VE $Y = Y7$ VE $H = H2$ OYLEYSE $Beta = B4$

...

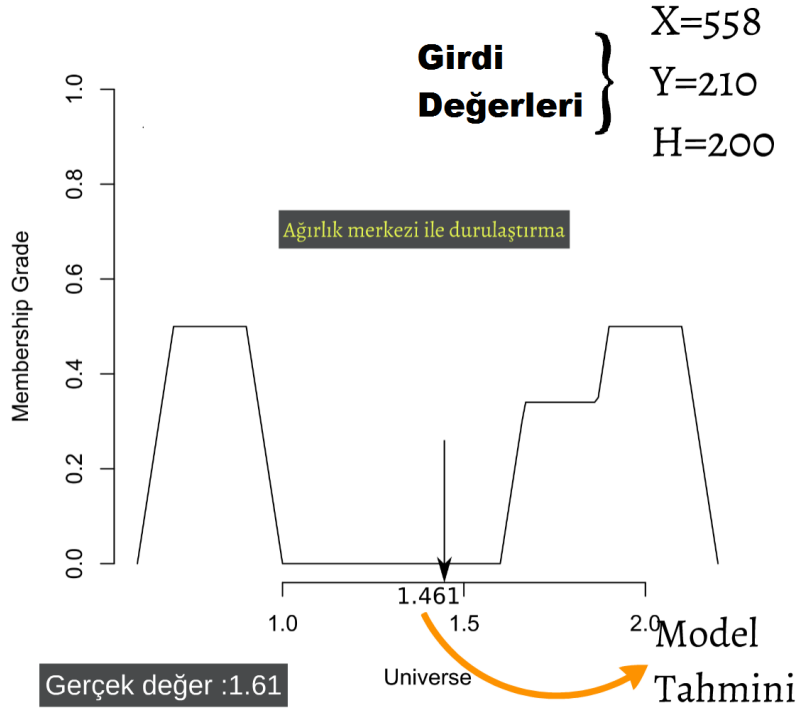
Olarak belirlenmiştir.

3.3. Durulaştırma

Tüm kural tabanı Mamdani bulanık çıkarım sisteminde değerlendirilmiştir. Şekil 6 ve 7’de sırasıyla toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonu için birinci çapraz doğrulama verisine ait çıkarım bulanık kümelerinin sonucunu göstermektedir. Bu oluşan bulanık kümeler ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılmış ve tahmin sonucu olarak yazılmıştır.



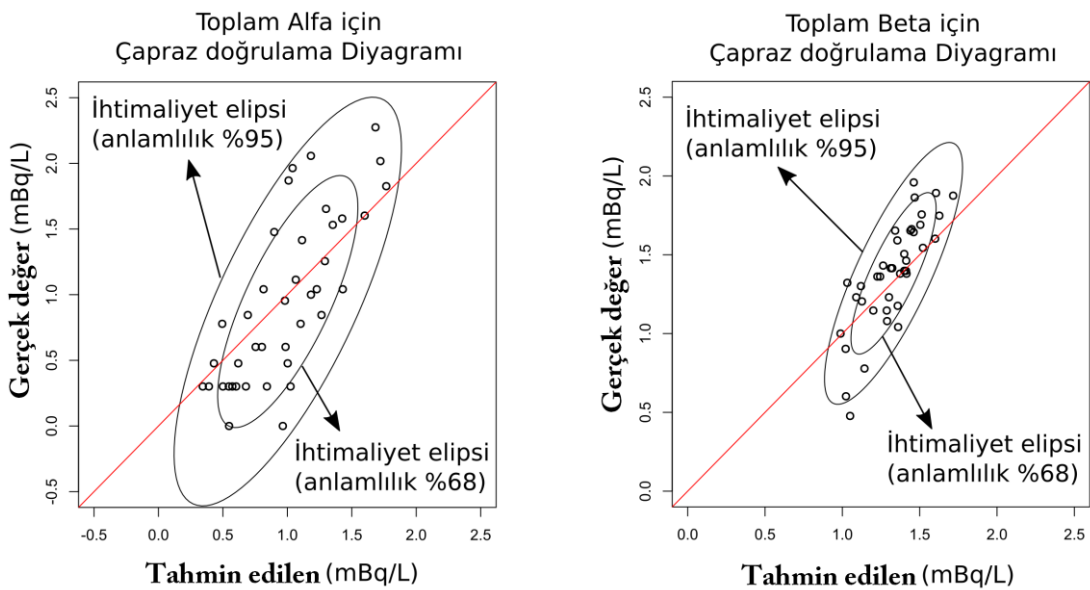
Şekil 6. Toplam Alfa konsantrasyonu (Log. dönüşümlü) için ilk çapraz doğrulama verisinin durulaştırılması



Şekil 7. Toplam Beta konsantrasyonu (Log. dönüşümlü) için ilk çapraz doğrulama verisinin durulaştırılması

3.4. Çapraz Doğrulama

Bulanık kümeler ve oluşturulan deneysel kurallar yardımı ile veri setinden her bir veri çıkarılarak model tarafından tahmin edilmesi sağlanmıştır. Tahmin sonucunu gösteren çapraz doğrulama için saçılma diyagramları Şekil 8'de gösterilmiştir. Buna göre; toplam alfa ve toplam beta için Pearson's r korelasyon katsayısı sırasıyla 0.74 ($p < 0.001$) ve 0.80 ($p < 0.001$) olarak belirlenirken, Bulanık mantık modeli ile açıklanabilen değişkenlik miktarı sırasıyla %54 ve %64 olarak belirlenmiştir. Ayrıca tahmin değerlerinin çok büyük kısmının %95'lik güven elipsi içinde kaldığı belirlenmiştir.

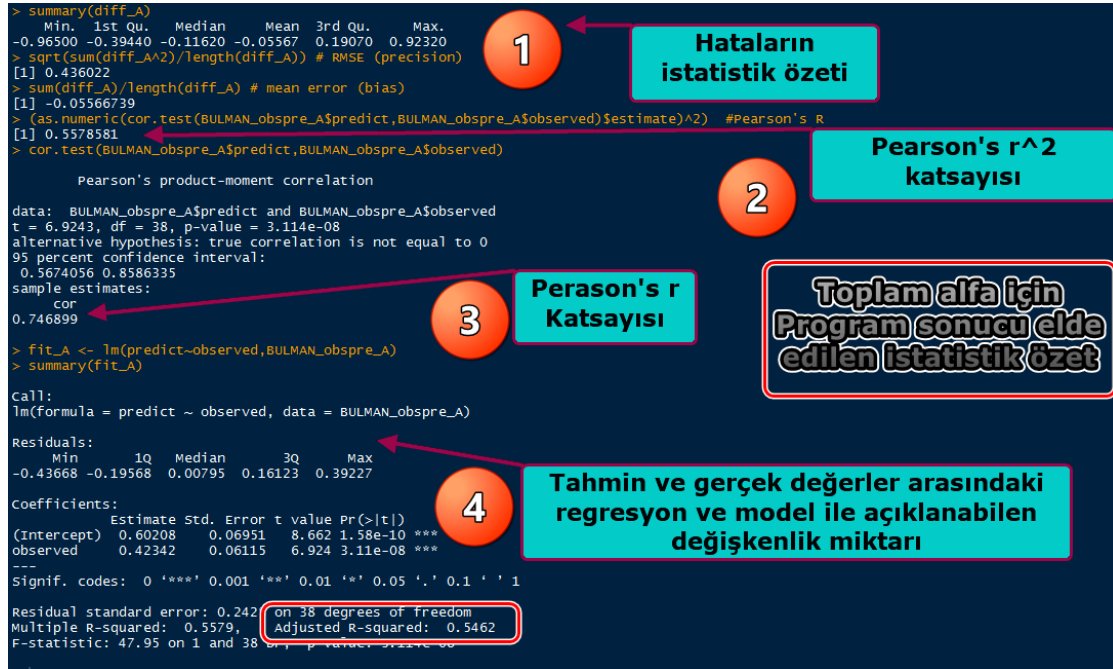


Şekil 8. Toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonu (Log. dönüşümlü) için çapraz doğrulama diyagramları

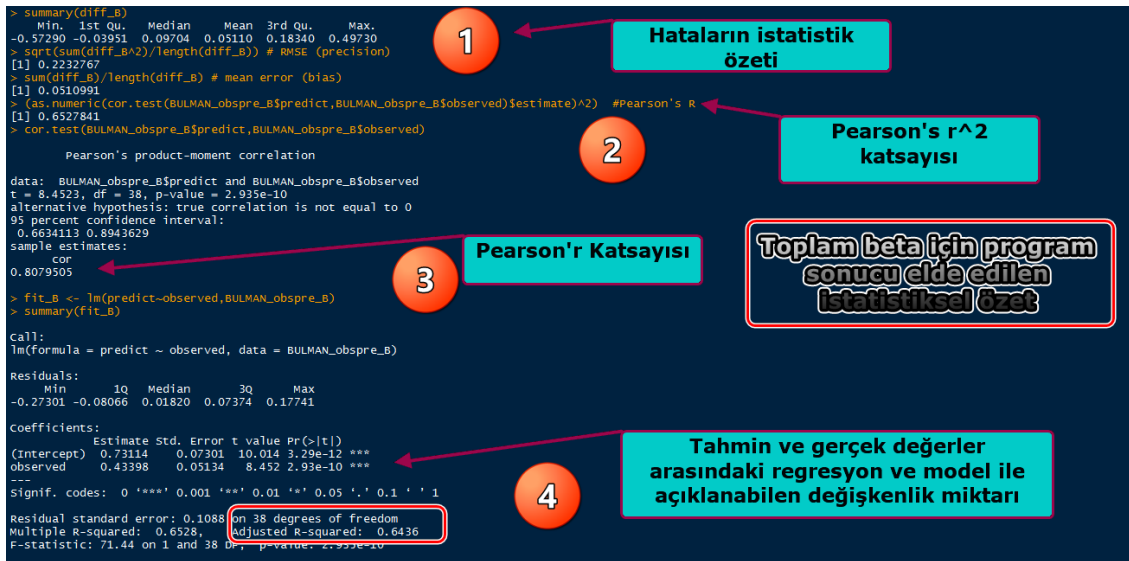
Doğu Karadeniz Bölgesinin Doğal Kaynak Sularındaki Toplam Alfa ve Toplam Beta

Şekil 9 ve 10'da sırasıyla toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonlarına ait çapraz doğrulama diyagramlarının istatistiksel özetine ait ekran çıktıları görülmektedir. Şekillerde çapraz doğrulama diyagramlarına ait hataların istatistiksel özeti, R^2 değeri, Pearson's r katsayısı ve öngörülen model ile açıklanan değişkenlik miktarı gösterilmektedir.

Bu sonuçlara göre bulanık mantık modelinin toplam alfa ve toplam beta değişimine ait ara değer tahmininde ve radyolojik dağılımın belirlenmesinde tatmin edici bir performansa sahip olduğu belirlenmiştir.



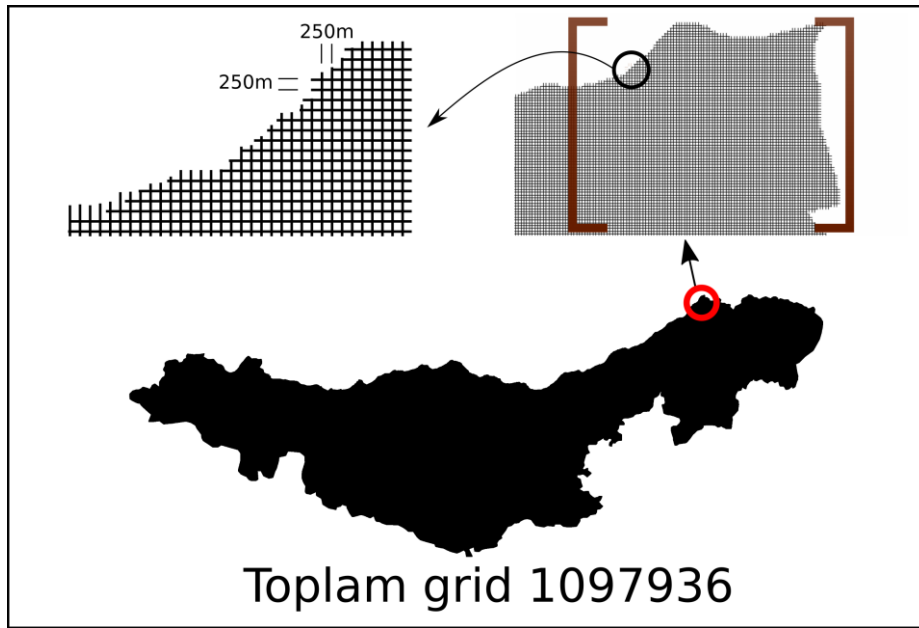
Şekil 9. Toplam alfa aktivite yoğunluğu için çapraz doğrulama diyagramının istatistiksel özeti



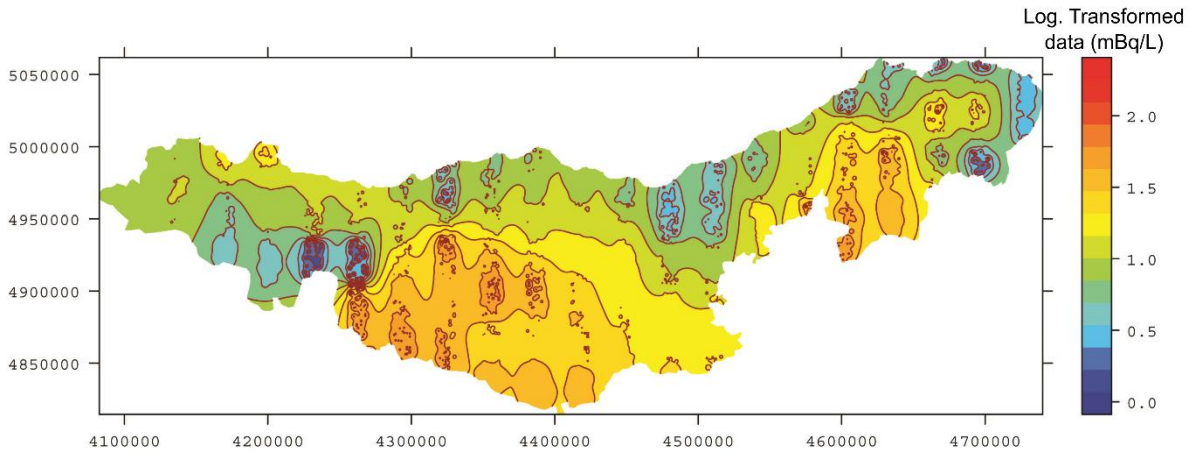
Şekil 10. Toplam beta aktivite yoğunluğu için çapraz doğrulama diyagramının istatistiksel özeti

3.5. Haritalandırma

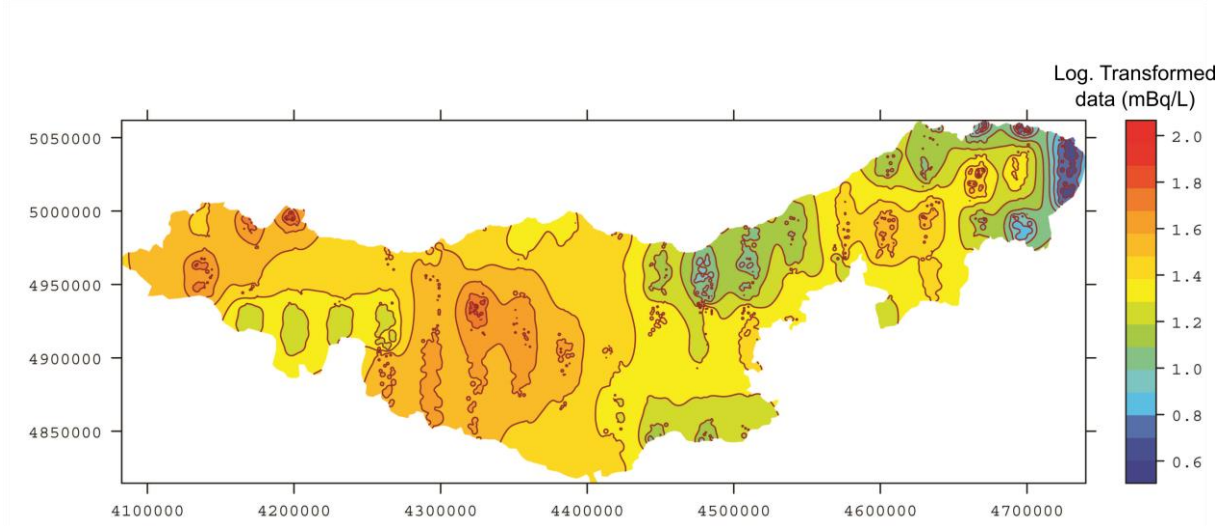
Örnek alınmamış noktaların tahmini ve haritalandırılması için çalışma alanı $250 \times 250m^2$ lik mekansal çözünürlük hücrelerine ayrılmış, grid sistemi ile temsil edilmiştir. Bölgenin tamamı için yaklaşık 100000 grid noktası oluşturulmuştur (Şekil 11). Her bir grid noktası için, oluşturulan bulanık mantık modeli kullanılarak toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyon miktarlarına ait aradeğer tahminleri hesaplanmış ve sonuçlar bir renk skalası ile renklendirilmiştir. Oluşturulan bu dağılım haritaları Toplam Alfa aktivite yoğunluğu için şekil12 ile, toplam beta aktivite yoğunluğu için şekil 13'de gösterilmiştir. Bu haritalar Yeşilkanat ve Kobyas [9] tarafından aynı veriler ile başka bir yöntem (Yapay sinir ağları) kullanılarak oluşturulan haritalar ile karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu ve haritalardaki radyolojik dağılımların kısmen benzer nitelikte olduğu dikkati çekmektedir.



Şekil 11. Çalışma alanı için oluşturulan ve tahminde bulunulan grid sistemi



Şekil 12. Bulanık modelleme ile oluşturulan, toplam alfa aktivite konsantrasyonu için çalışma alanının radyolojik dağılım haritası



Şekil 13. Bulanık modelleme ile oluşturulan, toplam beta aktivite konsantrasyonu için çalışma alanının radyolojik dağılım haritası

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesindeki doğal kaynak sularının toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonlarına ait aktivite dağılımının bulanık mantık yaklaşımları ile numune alınmayan noktalar için tahmin edilerek haritalandırılması gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık modellemesi için girdi verileri olarak X (Doğu-batı) koordinatı, Y (kuzey-güney) koordinatı, h (yükseklik) değerleri kullanılmış çıktılar ise toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonu olarak elde edilmiştir. Modelin geçerliliği ve güvenilirliğini belirlemek için çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta Toplam alfa yoğunluğu için Pearson r ve açıklanan varyans miktarı sırasıyla 0.74 ($p < 0.001$) ve %54 bulunurken toplam beta yoğunluğu için sırasıyla 0.80 ($p < 0.001$) ve %64 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar dağılımın uygun bir şekilde temsil edilebileceğini göstermektedir. Dağılım haritaları benzer çalışmalar ile değerlendirildiğinde ise sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

REFERANSLAR

1. T. Hengl, *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. 2007.
2. L. Župunski, V. Spasić-Jokić, M. Trobok, and V. Gordanić, "Cancer risk assessment after exposure from natural radionuclides in soil using Monte Carlo techniques," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 17, no. 9, pp. 1574–1580, 2010.
3. E. Lorenz, "Radioactivity and Lung Cancer; A Critical Review of Lung Cancer in the Miners of Schneeberg and Joachimsthal," *J. Natl. Cancer Inst.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–15, 1944.
4. Y. Kobya, H. Taşkın, C. M. Yeşilkanat, and U. Çevik, "Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in Artvin Province, Turkey," *Hum. Ecol. Risk Assess. An Int. J.*, vol. 21, pp. 2077–2085, 2015.
5. C. M. Yeşilkanat, Y. Kobya, H. Taşkın, and U. Çevik, "Dose rate estimates and spatial interpolation maps of outdoor gamma dose rate with geostatistical methods; A case study from Artvin, Turkey," *J. Environ. Radioact.*, vol. 150, pp. 132–144, 2015.
6. L. Dai, H. Wei, and L. Wang, "Spatial distribution and risk assessment of radionuclides in soils around a coal-fired power plant: a case study from the city of Baoji, China.," *Environ. Res.*, vol. 104, no. 2, pp. 201–8, Jun. 2007.

7. A. Falamaki, "Artificial neural network application for predicting soil distribution coefficient of nickel," *J. Environ. Radioact.*, vol. 115, pp. 6–12, 2013.
8. Y. Kobya, N. Damla, U. Cevik, A. I. Kobya, H. Taskın, and B. Kemer, "Radiological characterization of natural spring waters in the Eastern Black Sea Region, Turkey," *Environ. Forensics*, vol. 11, pp. 187–192, 2010.
9. C. M. Yeşilkanat and Y. Kobya, "Determination and mapping the spatial distribution of radioactivity of natural spring water in the Eastern Black Sea Region by using artificial neural network method," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 187, no. 9, p. 589, 2015.
10. Z. Şen, *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme*. İstanbul: Su vakfı yayınları, 2009.
11. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, Jun. 1965.
12. G. J. Klir, *Fuzzy logic*, vol. 14, no. 4. 1995.
13. R. B. Shepard, *Quantifying Environmental Impact Assessments Using Fuzzy Logic*. New York, USA: Springer, 2005.
14. E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man. Mach. Stud.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, Jan. 1975.
15. T. J. Ross, J. M. Booker, and W. J. Parkinson, *Fuzzy logic and probability applications : bridging the gap*. 2002.
16. R Development Core Team, "R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.2.1," *R Foundation for Statistical Computing*, 2005. [Online]. Available: <http://www.r-project.org/>.
17. R. Ihaka and R. Gentleman, "R: A Language for Data Analysis and Graphics," *J. Comput. Graph. Stat.*, vol. 5, no. 3, pp. 299–314, Sep. 1996.
18. C. Knott, L. Hovell, N. Karimian, and J. Garibaldi, "https://cran.r-project.org/web/packages/FuzzyToolkitUoN/FuzzyToolkitUoN.pdf," 2013. .
19. Quantum GIS Development Team, "Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project." <http://qgis.osgeo.org>, p. <http://qgis.osgeo.org>, 2014.
20. SAGA, "<http://www.saga-gis.org/en/index.html> / 06 Dec. 2015," 2015. .