



Kuraklık Riskinin bulanık Mantık Yardımıyla Türkiye Genelinde Değerlendirilmesi

İsmail DABANLI*

İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
İstanbul Medipol Üniversitesi, İklim Değişikliği Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (IKLIMER), İstanbul
idabanli@medipol.edu.tr ORCID: 0000-0003-3108-8167, Tel: (216) 681 51 00 (5390)

Geliş: 19.12.2018, Kabul Tarihi: 27.02.2019

Öz

Bu çalışmada meteorolojik ve sosyo-ekonomik veriler kullanılarak elde edilen kuraklık afet ve hassasiyetlik göstergeleri yardımıyla Türkiye genelinde kuraklık riski bulanık mantık çıkarımı (BMÇ) yaklaşımıyla bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Kuraklık afetinin tam olarak anlaşılmasında kuraklık risk ve hassasiyetinin önemi bilinse de Türkiye için bütüncül ve yeterli miktarda bilimsel çalışmanın varlığından bahsetmek zordur. Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) kuraklığın görülme ihtimaline dayanan standart yağış göstergesi (SYG) (Standardized Precipitation Index-SPI) kullanılarak kuraklık kavramının daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırmak için hesaplanmıştır. Bunun yanında, Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG) kuraklığın sonuçlarının bağlı olduğu güncel dört adet sosyo-ekonomik veri kullanılarak hesaplanmıştır. BMÇ yardımıyla kuraklık afet ve hassasiyet göstergelerinin, kuraklık riskinin belirlenmesindeki öneminin vurgulanması bu çalışmanın temel hedefidir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre Türkiye genelinde 81 il arasında 5 ilin düşük kuraklık riski taşıdığı, 61 ilin orta kuraklık riskine sahip olduğu, 14 ilde yüksek kuraklık riskinin bulunduğu ve son olarak sadece Konya'da çok yüksek kuraklık riski ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık; SYG; afet; risk; hassasiyet; bulanık mantık; Türkiye

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Kuraklık uzun süreli ve tekrar eden su kıtlığı şeklinde tanımlanan ve en fazla maliyete sahip yalnızca yağış kıtlığı olarak tanımlanan doğal bir afettir (Awange ve diğ., 2016; Kim ve diğ., 2015; Kao ve Govindaraju, 2010). Ayrıca, kuraklık toplumu, sosyal hayatı, turizmi ve tarımsal faaliyetleri de doğrudan etkileyen aşırı iklim olayı olarak değerlendirilmektedir (Rahman ve Lateh, 2016; Şen, 1998; Mishra ve Singh, 2010; Dabanlı ve diğ., 2017). Küresel ölçekte kuraklığın ekonomik maliyetinin yıllık 6-8 milyar dolar civarında olduğu bilim adamları tarafından ileri sürülmektedir (Jin ve diğ., 2016; Vasiliades ve Loukas 2009). Sonuçları itibari ile çok büyük ekonomik kayıplara yol açan kuraklığın risk değerlendirmesi son derece öneme sahiptir. İklim değişikliğinin etkisiyle suyun dağılımının yetersiz olması sebebiyle ve yıldan yıla suya olan talebin artmasıyla birlikte, kuraklık riski de hızla artmaktadır (Wang ve diğ., 2016; Nam ve diğ., 2015; Fontaine ve Steinemann, 2009).

Dünyanın pek çok bölgesinde olduğu gibi Akdeniz ülkelerinde de küresel iklim modeli projeksiyonlarına göre yağışlar azalırken sıcaklıklar da sürekli olarak artmaktadır (Venkataraman ve diğ., 2016; Vicente-Serrano, 2006; Bates ve diğ., 2008; Dai, 2011; Gampe ve diğ., 2016). Buna ilaveten Türkiye, Birleşmiş Milletlerin kişi başına düşen temiz su miktarına göre belirtilen sınıflandırmada “Su Fakiri” ülkeler arasında yer almaktadır. Akdeniz ülkesi olan Türkiye’de de tüm yurt genelinde olmasa da bölgesel olarak kuraklığa karşı yüksek hassasiyetten dolayı pek çok kuraklık afeti yaşanmıştır. Kuraklığa karşı gösterilen hassasiyet pek çok değişkene bağlı olup her bölge için farklılık gösterebilir. Plansız şehirleşme neticesinde Türkiye’de nüfusun yoğun olarak yaşadığı şehirler çok hızlı arazi kullanımı değişimine şahitlik etmektedirler. Bu şekildeki arazi kullanım değişimleri sadece sosyo-ekonomik açıdan olumsuz sonuçlar doğurmamakta, aynı zamanda şehirleri kuraklığa karşı daha hassas hale getirmektedir. Bu yüzden, kuraklığı sadece yağış azlığı veya sıcaklık artışı olarak değerlendirmek son derece eksik çıkarımlara sebebiyet verebilecektir. Kuraklığın

etkilerinin anlaşılması, zararlarının azaltılması ve etkin bir su kaynakları yönetimi tesis edilebilmesi için kapsamlı bir değerlendirme zaruret arz etmektedir.

Literatürde kuraklıkla alakalı yapılan çalışmalar genellikle kuraklığın süresi, şiddeti, trendi, zamansal ve mekânsal etkileri üzerine yoğunlaşmıştır (Şen, 1976, 1978; Dai, 2011; Xu ve diğ., 2015; Dabanlı ve diğ., 2016). Kuraklık olayının karmaşık yapısı meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik bakış açıları ile literatürde sıkça kullanılan standart yağış göstergesi (SYG) (Standardized Precipitation Index-SPI) (McKee ve diğ., 1993) ve Palmer kuraklık şiddeti göstergesi (PKŞG) (Palmer Drought Severity Index-PDSI) gibi bilimsel kuraklık göstergeleri yardımıyla çözüme kavuşturulmaktadır. En çok kullanılan göstergelerden biri olan SPI; istenilen herhangi bir zaman ölçeğine (1 aylık, 3 aylık, 6 aylık, ...v.b.) kolay uygulanabilir yapısından dolayı meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların tespitinde tercih edilmektedir (Tosunoglu ve Can, 2016; Mishra ve Desai, 2005). Buna benzer olarak günlük yağışların analizine dayanan efektif kuraklık göstergesi (EKG) de (Effective Drought Index-EDI) hidro-meteorolojik kuraklık çalışmalarında sıkça kullanılan göstergelerden birisidir (Kim ve diğ., 2011). Günümüzde literatürde aktif olarak geliştirilmiş ve kullanılmakta olan elliden fazla kuraklık göstergesi bulunmaktadır. Sıkça kullanılan kuraklık göstergelerinden başlıcaları aşağıda özetlenmiştir. Yağış ile gerçek buharlaşma ve terleme yüksekliklerinin farkları üzerine inşa edilmiş olan standard yağış terleme+buharlaşma göstergesi (SYTBG) (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) sıklıkla kullanılan göstergelerdendir (Vicente-Serrano ve diğ., 2010). Tsakiris ve diğ., (2007) SYTBG’ye benzer şekilde toplam yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme oranlarını dikkate alarak yeni kuraklık göstergesi (YKG) (Reconnaissance Drought Index-RDI) göstergesini geliştirmişlerdir. Birleşik kuraklık göstergesi (BKG) (Joint Drought Index-JDI) ise yağış ve debi verilerinin değişik kopula metotlarına uygulanması sonucu elde edilmiş kuraklık göstergesidir (Kao ve Govindaraju, 2010). Yakın

geçmişte değişik parametreler kullanılarak geliştirilmiş ve öne çıkmış olan kuraklık göstergelerinden Çoklu standard kuraklık göstergesi (ÇSKG) (Multivariate Standardized Drought Index-MSDI) Hao ve AghaKouchak (2013) tarafından; Üçlü kuraklık göstergesi (ÜKG) (Triple Drought Indicator-TDI) Şen (2015) tarafından ve son olarak Çoklu kuraklık göstergesi (ÇKG) (Multivariate Drought Index-MDI) Rajsekhar ve diğ., (2015) tarafından geliştirilmişlerdir.

Kuraklık risk göstergesi kuraklık şiddeti ile kuraklık hassasiyet göstergelerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu elde edilmektedir. Bu değerlendirme yöntemi de çeşitlilik gösterse de bu çalışmada kuraklık şiddetinin ve hassasiyetinin belirli bir ölçekte normalize edilmesi ve sınıflandırılması zorunluluğu, BÖÇ yaklaşımının kuraklık riskinin hesaplanmasında diğer analitik yaklaşımlara göre daha uygun olacağını göstermektedir. “Düşük” “Orta” “Yüksek” gibi kuraklık şiddeti ve hassasiyeti sınıflandırmaları ile bu sınıflandırmaların sınırlarının öznel ve belirli bir kurala bağlanmamış oluşu bulanık mantığın temel felsefesiyle birebir uyum sağlamaktadır (Toprak, 2009; Şen, 2004).

Diğer doğal afetlerin aksine kuraklık, kendini hissettirmeden yavaşça başlayan uzun süre ve geniş alanları etkileyerek sonlanan bir afet türüdür (Dahal ve diğ., 2015). Bundan dolayı kuraklığın şiddetinin kuraklık yaşanırken tespit edilmesi oldukça zordur. Kuraklıktan etkilenen sektörlerin ve insanların tespitinin yapılabilmesi kuraklıkla mücadelede ve zararlarının azaltılmasında son derece önemlidir. Bu sebeple kuraklık risk yönetimi; kuraklığın şiddeti ve kuraklık yaşanan bölgelerin kuraklığa karşı hassasiyetleri göz önünde tutularak birlikte bilimsel olarak değerlendirilirse başarılı ve önleyici olabilir (Ekrami ve diğ., 2016). Mevcut kuraklık risk planlarında kuraklık şiddetinin ve hassasiyetlerinin dahil edilerek esnek tedbirlerin alınması kuraklık zararlarını azaltabilecektir. (Sarhadi ve diğ., 2016). Wilhite (2000) tarafından kuraklıkla mücadele ve öteleme çalışmaları için 10 aşamalı kuraklık yönetim planı da geliştirilmiştir. Kuraklık riskinin değerlendirildiği bilimsel çalışmaların hepsinde kuraklık şiddeti ile kuraklık hassasiyetinin ortak

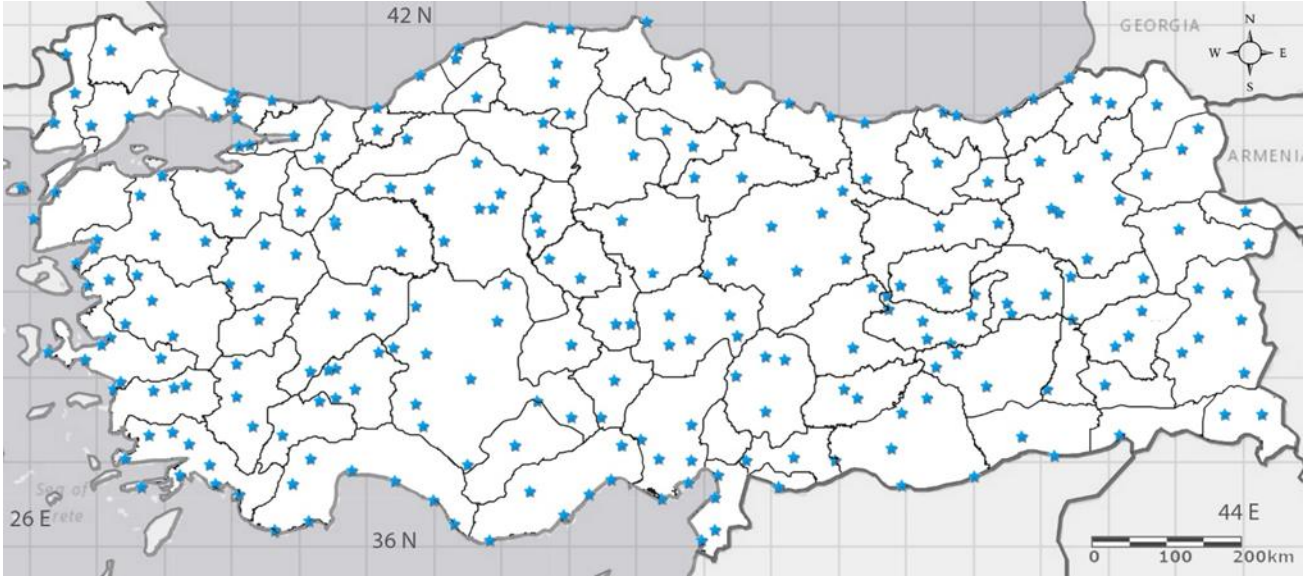
değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Jia ve Wang, 2016; Pei ve diğ., 2016; Lin ve diğ., 2011; Verdon-Kidd ve Kiem, 2010; Fontaine ve Steinemann, 2009; Shahid ve Behrawan, 2008).

Türkiye’de ise mevcut afet risk çalışmalarının çoğunluğu deprem riski ile alakalı çalışmalardır. Halbuki kuraklık riski de sonuçları itibari ile deprem riski kadar önemli ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Güncel sosyo-ekonomik veriler kullanılarak kapsamlı bir kuraklık risk çalışması sonucu elde edilecek risk haritaları çok önemli bir boşluğu doldurmuş olacaktır. Bilimsel yöntemlerle elde edilen kuraklık risk haritaları gerek bölgesel gerekse de merkezi karar vericilerin, strateji geliştiricilerin ve yöneticilerin pratik olarak kullanabilecekleri altlık olabilecektir. Özellikle bölgesel kuraklık yönetim kapasitenin geliştirilmesinde, aşırı iklim olaylarıyla, kuraklığın zaman ve mekân etkilerinin azaltılmasında kuraklık risk haritaları büyük öneme sahiptir. Bunlara ek olarak, nüfus yoğunluğu, tarımsal faaliyetler, gelir dağılımı, içme ve kullanma suyu miktarı, tarımsal nüfus gibi sosyo-ekonomik verilerin kuraklık riskine ne derece etki ettikleri rahatlıkla anlaşılabilir.

Bu çalışmanın temel hedefleri arasında Türkiye geneli 250 istasyondan (1971–2010) elde edilen yağış verileriyle 2015 yılına ait güncel sosyo-ekonomik veriler kullanılarak bulanık mantık yardımıyla kuraklık riskinin 81 il için ayrı ayrı elde edilmesi ve kuraklık risk haritalarının geliştirilmesi yer almaktadır.

Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Türkiye Avrupa ve Asya kıtaları üzerinde yer alan 26o–45o Doğu meridyenleri ve 36o–42o Kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan Türkiye geneli 81 ilde homojen dağılmış toplam 250 yağış istasyonlarının konumları Şekil 1’de sunulmuştur. Bu istasyonlardan elde edilen aylık yağış verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (<http://www.mgm.gov.tr>) arşivlerinden 1971–2010 yılları arasını kapsayacak şekilde temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan 2015 yılına ait sosyo-



Şekil 1. Çalışmada kullanılan Türkiye geneli yağış istasyonlarının dağılımı ve il sınırları

ekonomik veriler (nüfus, içme-kullanma suyu, toplam tarım alanı ve sulanan tarım alanı) ise Türkiye İstatistik Kurumu (<http://www.tuik.gov.tr>) arşivlerinden temin edilmiştir.

Yöntem ve Uygulama

Kuraklık riski genellikle kuraklık şiddeti ve kuraklığın yaşandığı alanlardaki sosyo-ekonomik faaliyetlerin çeşitliliğine bağlıdır. Kuraklık riskinin nesnel ve bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi; kuraklığın yıkıcı etkilerinin üstesinden gelebilmek için çok önemlidir (Kim ve diğ., 2015). Bu noktadan hareketle kuraklık riski bu çalışma kapsamında geliştirilen ve Şekil 2'de gösterilen kavramsal model vasıtasıyla Kuraklık Risk Göstergesi (KRG), Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) ve Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG) hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Standart Yağış Göstergesi (SPI)

Kuraklığın şiddetini, süresini, etki ettiği alanları tanımlamak için faydalanılan en önemli faktör kuraklık göstergesidir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak 250 istasyondan aylık yağış verileri kullanılarak elde edilen SPI (McKee ve diğ., 1993; Guttman, 1999) göstergeleri hesaplanmıştır. SPI göstergesinin tercih edilme sebepleri arasında basit hesaplama yöntemi, istenilen zaman ölçeğinde hidrolojik, tarımsal ve meteorolojik kuraklık hesaplamalara izin veren yapısı ve standartlaştırılmış değerler üretmesi yer almaktadır. Yağış haricindeki diğer meteorolojik verilerin ölçülememesi, ya da temin edilememesi durumlarında SPI göstergesi, sadece yağış miktarını dikkate aldığı için hem pratik hem de oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. SPI göstergesinin hesaplama adımlarının ilki veri zaman serisinin Gamma ihtimal yoğunluk fonksiyonuna (İYF) uydurmakla başlamaktadır. SPI yönteminin ayrıntılı matematik açıklaması



Şekil 2. Kuraklık Risk değerlendirmesi için geliştirilen kavramsal model.

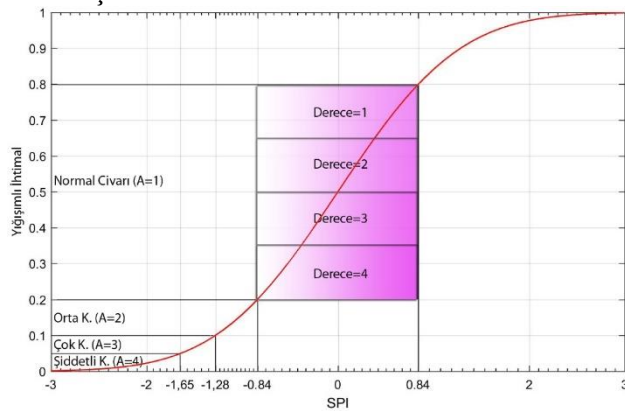
pek çok kaynakta gösterildiğinden ve genel bilgi kapsamında yer aldığından bu bölümde sadece özet olarak açıklanmıştır. Yöntemin ayrıntılı açıklaması McKee ve diğ. (1993), Guttman (1999), Mishra ve Singh (2010) ve Şen (2015) çalışmalarında görülebilir. Bu çalışmada 12 aylık SPI göstergesi (SPI-12) tercih edilmiş olup, SPI bazlı kuraklık sınıflandırmaları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. SPI bazlı kuraklık sınıflandırmaları (Santos ve diğ., 2010)

Aşmama İhtimali	SPI	Kuraklık Sınıfı
0.05	$SPI \geq 1.65$	Aşırı nemli
0.10	$1.65 > SPI \geq 1.28$	Çok nemli
0.20	$1.28 > SPI \geq 0.84$	Orta nemli
0.60	$0.84 > SPI > -0.84$	Normal
0.20	$-0.84 \geq SPI > -1.28$	Orta kurak
0.10	$-1.28 \geq SPI > -1.65$	Çok kurak
0.05	$-1.65 \geq SPI$	Aşırı kurak

Kuraklık Afet Göstergesi (KAG)

Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) SPI serilerinin Şekil 3’de gösterildiği şekilde standart normal dağılıma göre eşleştirilen ağırlık (A) ve derece (D) puanları dikkate alarak hesaplanmıştır. Her bir kuraklık sınıfı için tanımlanan ağırlık puanları normal dağılıma göre eşleştirilmiştir. Mesela, normal kurak sınıfın ağırlığı 1 iken, orta kurak sınıfının 2, çok kurak sınıfının 3 ve son olarak aşırı kurak sınıfının ağırlığı 4 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde dereceleri de görülme sıklık ihtimallerine göre kuraklık şiddetiyle doğru orantılı olacak şekilde atanmıştır.

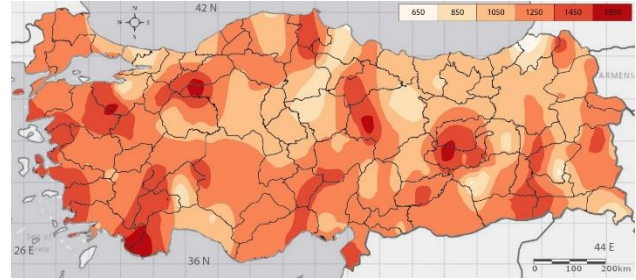


Şekil 3. SPI serilerinin standart normal dağılıma göre eşleştirilen ağırlık ve derece puanları.

Ağırlık ve derece puanları eşleştirildikten sonra 1971–2010 arasında hesaplanan SPI serilerinin her biri için Kuraklık Afet Puanı (KAP), ağırlık ve derece puanlarının çarpılması sonucu elde edilmiştir. 250 istasyonda hesaplanan KAP serileri aşağıda verilen formül vasıtası ile elde edilmiştir.

$$(KAP)_i = \sum_{i=1}^{N_{SPI}} A_i \cdot D_i \quad (1)$$

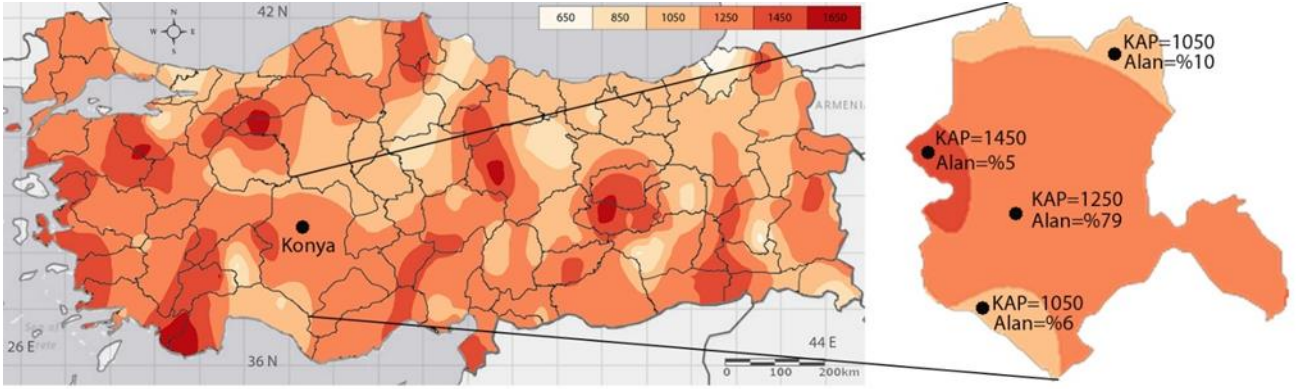
Bu denklemde N_{SPI} seçilen SPI serisinde yer alan veri sayısını; A ve D ise sırasıyla ağırlık ve derece puanlarını temsil etmektedir. Şekil 4’te ise KAP hesaplaması sonucu elde edilen puanlar ile 250 istasyonun konumları kullanılarak literatürde sıkça kullanılan Kriging enterpolasyon yöntemi ile kuraklık afet haritası elde edilmiştir.



Şekil 4. 1971-2010 yılları arası kuraklık afet puanlarına dayalı kuraklık afet haritası.

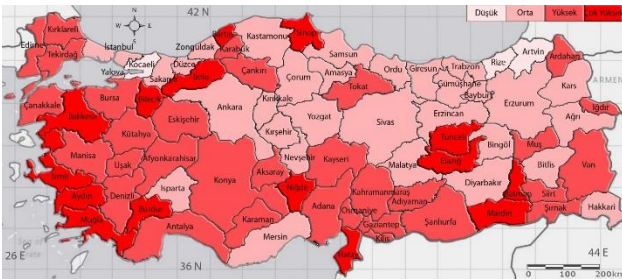
Kuraklık verileri ile kuraklık afet verileri kıyaslanarak kuraklık riski tanımlaması yapabilmek için bu veri kümelerinin aynı zaman aralığında olmasının zarureti gibi aynı alanlar üzerinde etki etmesi de mecburidir. Bu yüzden kuraklık afet haritasında görülen sürekli eğrilerle tanımlanan afet bölgelerinin 81 ilin sınırları içerisine dönüştürmek gerekmektedir. Türkiye’nin en büyük yüz ölçüm alanına sahip ili olan Konya (Şekil 5) üzerinde ağırlıklı ortalama yöntemi ile aşağıdaki ifade kullanılarak sürekli afet bölgeleri il sınırlarına dönüştürülmüştür.

$$(KAG)_i = \sum_{i=1}^n A(\%)_i \cdot (KAP)_i \quad (2)$$



Şekil 5. İl bazında kuraklık afet göstergesi (KAG) hesaplanması için kuraklık afet haritasının il sınırlarına dönüşümünde kullanılan kuraklık afet puanları (KAP) ve yüzdelik alanlarının Konya il sınırları için örnek gösterimi.

Bu hesaplama yöntemi için seçilen Konya il sınırları içerisinde KAG 1229 ($1229=1250 \times 0.79 + 1450 \times 0.05 + 1050 \times 0.16$) olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde aynı denklem ve yöntem kullanılarak il ölçeğinde ayrı ayrı KAP'lar ve karşılık gelen yüzdelik alanlar hesaplanmış ve Türkiye geneli 81 il sınırlarına göre KAG değerleri elde edilmiştir. Bu değerler 0 ile 1 arasında kalacak şekilde tekrar ölçeklenmiştir. Buna göre elde edilen KAG sınıf aralıkları "Düşük" sınıf 0 ile 0.25, "Orta" sınıf 0.25 ile 0.50, "Yüksek" sınıf 0.5 ile 0.75 ve son olarak "Çok Yüksek" sınıf 0.75 ile 1.0 arasında değerlendirilmiş ve Şekil 6'da il bazında kuraklık afet haritası bulunmaktadır. Bu haritaya göre Edirne-Hakkâri aksı altında kalan şehirlerinin kuraklık afet göstergelerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Kuraklık afet haritasından elde edilen verileri somutlaştırıp sayısal olarak ifade etmek gerekirse 1971-2010 yılları arasında il bazında Türkiye'nin %19'unun çok yüksek, %39'unun yüksek, %38'inin orta ve %4'ünün düşük kuraklık afeti yaşadığı çıkarımı yapılabilir.



Şekil 6. KAG kullanılarak elde edilen il bazında kuraklık afet haritası.

Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG)

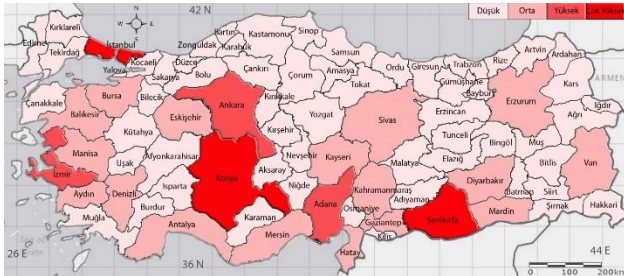
Kuraklık hassasiyeti genelde bir bölgenin kuraklık karşısında gösterdiği tepki ya da esneklik olarak ifade edilmektedir (Wilhelmi ve Wilhite, 2002). Bu gösterge seviyesi ya da kuraklığa karşı esneklik derecesi bölgesel faktörlerle doğrudan ilişkilidir (UNDP, 2004). Kuraklık hassasiyeti tanımı; kuraklığın etki alanlarında göreceli olarak iklim değişikliği perspektifi altında yapılan bir ölçüdür. İklim değişikliğinin kuraklık hassasiyeti üzerindeki etkisini araştırmak için pek çok çalışma yapılmıştır (Eakin ve Conley, 2002; Metzger ve diğ., 2005; Brooks ve diğ., 2005; Kim ve diğ., 2015). Kuraklık hassasiyeti değerlendirmesinde kuraklıktan etkilenmesi muhtemel ne kadar fazla sosyo-ekonomik veri kullanılabilirse o kadar fazla isabetli sonuçlar elde edilebilmektedir (Kim ve diğ., 2015). Ancak sosyo-ekonomik verilerin tüm şehirler için aynı ölçekte elde edilmesi bir hayli güç olduğundan elde ne kadar ortak veri var ise onlara dayalı hassasiyet değerlendirmesi yapmak gerekir.

Seçilecek sosyo-ekonomik verilerin kuraklıkla ilişkisinin doğru bir şekilde analiz edilmesi son derece önemlidir. Mesela, uzun süren kuraklık dönemi zemindeki buharlaşma ve terleme yolu ile kayıpları artırdığından doğrudan tarımsal verimlilikle ilgili olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca akarsu rejimleri ile göl ve barajlarda depolanan su hacimlerinin azalması doğrudan sulama ve şebeke suyu sıkıntıları ortaya çıkarabilmektedir. Dolayısı ile kuraklıklar doğrudan doğruya gerek tarımsal faaliyetleri

gerekse de şebeke sularıyla insan hayatını etkilemektedir. Bu çalışmada verilerin güvenilirliği, güncelliği ve ulaşılabilirliği durumlarına göre 4 farklı sosyo-ekonomik veri kümesi kullanılmıştır. Aşağıdaki ifadede gösterildiği üzere ortalama olarak elde edilen KHG hesabında 2015 yılına ait Sulanan Tarım Alanı (STA), Toplam Tarım Alanı (TTA), Nüfus Yoğunluğu (NY) ve İçme-Kullanma Suyu (İKS) veri kümeleri kullanılmıştır. Bu ifadede veri kümeleri kullanılmadan önce her biri kendi içerisinde olmak üzere 0 ile 1 arasında yeniden standartlaştırılmıştır.

$$KHG = \frac{TSA_s + TTA_s + NY_s + İKS_s}{4} \quad (3)$$

Türkiye geneli 81 il için KHG değerleri hesaplanmış ve aynen KAG için olduğu gibi elde edilen KHG değerleri 0 ile 1 arasında standartlaştırılıp dört alt sınıfa ayrılmıştır. Buna göre elde edilen KHG sınıf aralıkları “Düşük” sınıf 0 ile 0.25, “Orta” sınıf 0.25 ile 0.50, “Yüksek” sınıf 0.5 ile 0.75 ve son olarak “Çok Yüksek” sınıf 0.75 ile 1.00 arasında değerlendirilmiş ve Şekil 7’de il bazında kuraklık hassasiyet haritası oluşturulmuştur.



Şekil 7. KHG kullanılarak elde edilen il bazında kuraklık hassasiyet haritası.

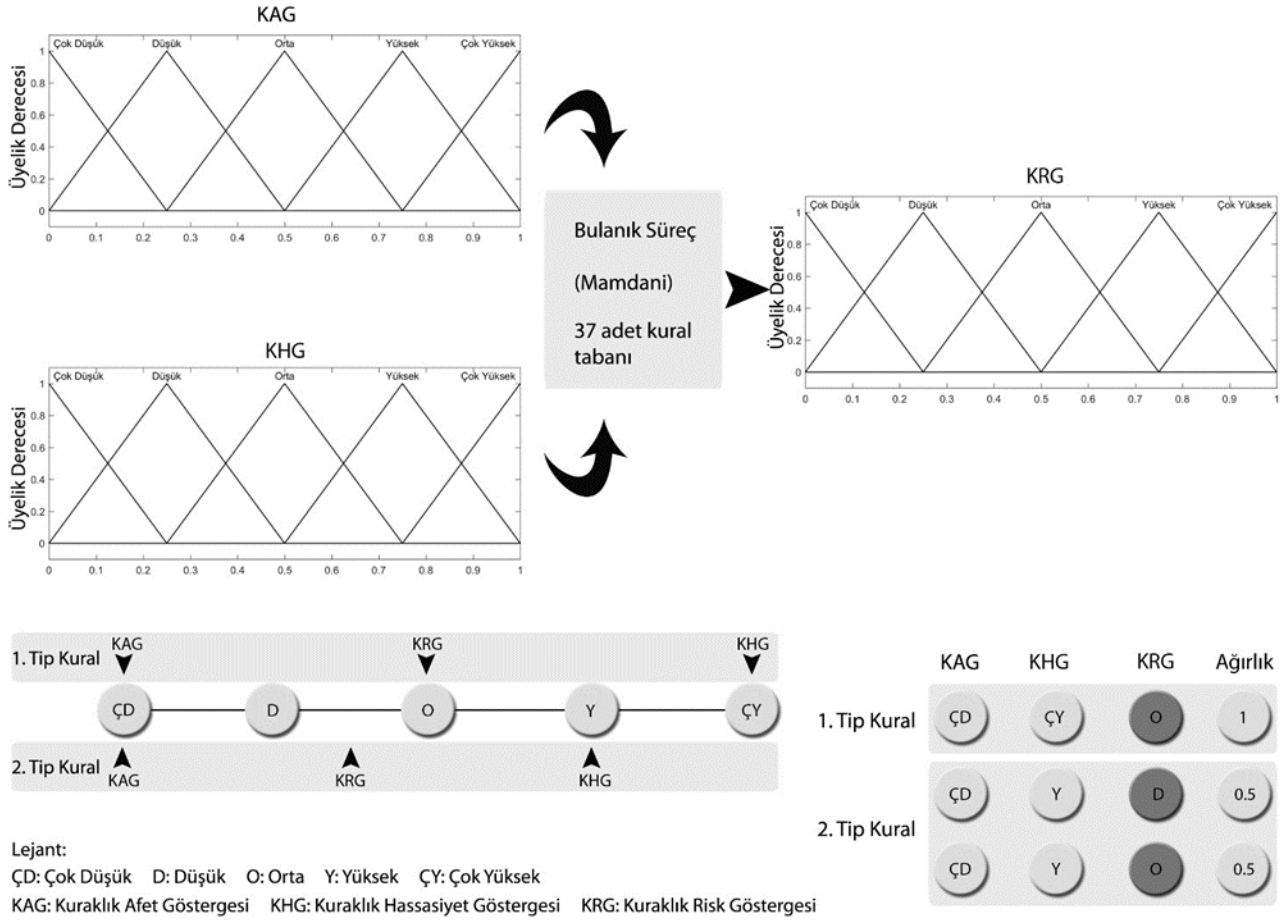
Kuraklık hassasiyet haritası incelendiğinde pek çok çıkarım yapmak mümkündür. Mesela, İstanbul, Konya ve Şanlıurfa kuraklığa karşı çok yüksek hassasiyete sahip olarak karşımıza çıkmıştır. İstanbul’un nüfus yoğunluğu, Konya ve Şanlıurfa’nın ise sulanan ve toplam tarım alanlarının büyüklüğü bu şehirlerin çok yüksek derecede hassasiyete sahip olmalarının sebepleri olarak gösterilebilir. Nüfus yoğunluğu ve tarım alanlarının büyüklüğü dikkate alındığında Ankara, İzmir ve Adana da yüksek hassasiyete

sahip şehirler arasındadır. KHG haritasından elde edilen diğer önemli bir husus ise Türkiye’nin %72’sinin kuraklığa karşı hassasiyetinin düşük seviyede olduğudur.

Kuraklık Risk Göstergesi (KRG) ve Bulanık Modelleme

Bu çalışmada KRG hesaplamaları KAG ve KHG verileri kullanılarak bulanık mantık çıkarımı (BMÇ) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. BMÇ olarak Mamdani (Mamdani ve Assilian, 1975) modeli seçilmiştir. Bunun seçilmesinde risk seviyelerinin belirlenmesinde sözel ifadelerin (Çok riskli, normal, az riskli, v.b.) baskın olması etkili olmuştur (Güçlü ve Şen, 2016). Şekil 8’de görüldüğü üzere KRG hesaplamasında kullanılan bulanık süreç, üyelik dereceleri ve tip kural tabanları ayrıntılı bir şekilde görselleştirilmiştir. Hem KAG hem KHG hem de çıktı olarak KRG için 5 ayrı bulanık küme (“Çok Düşük”, “Düşük”, “Orta”, “Yüksek”, “Çok Yüksek”) seçilmiştir. Kural tabanında ise 2 tip kural geliştirilmiştir. Şekil 8’de de görüldüğü üzere KAG ve KHG girdilerinin eşit oranda etkiye sahip oldukları kabulüyle tam ortasında yer alan küme KRG olarak seçilmiştir. Matematik ifade ile KRG girdilerin aritmetik ortalaması olarak ifade edilebilir. Eğer KRG değeri tam KAG ve KHG arasında bir bulanık kümeye denk geldiyse bu kural 1’dir. Bu tip kural olarak isimlendirilip ağırlık katsayısı 1 olarak tayin edilmiştir. 2. Tip kuralda ise KRG değeri tam bir bulanık kümenin üzerine denk gelmeyip 2 bulanık küme arasında kaldığı durumu ifade etmektedir. Bu durumda KRG eşit mesafede sağ ve sol tarafında kalan bulanık kümelere %50 oranında dâhil olduğu kabul edilerek ağırlık katsayısı 0.50 olarak atanarak 2 ayrı kural tanımlanmıştır. Toplamda açıklanan hesaplama yöntemine göre 37 adet kural tabanı bulanık sürece dahil edilmiş ve KRG verileri Türkiye genelinde 81 şehir için elde edilmiştir.

Elde edilen KRG değerleri ve aynen KAG ve KHG hesaplarında olduğu gibi 0 ile 1 arasında standartlaştırılıp dört alt sınıfa ayrılmıştır. Buna göre KRG sınıf aralıkları “Düşük” sınıf 0 ile 0.25, “Orta” sınıf 0.25 ile 0.50, “Yüksek” sınıf



Şekil 8. KRG hesabında kullanılan bulanık süreç şeması, üyelik dereceleri ve kural tabanı gösterimi.

0.5 ile 0.75 ve son olarak “Çok Yüksek” sınıf 0.75 ile 1.00 arasında değerlendirilmiş ve Şekil 9’da gösterildiği üzere Türkiye geneli il sınırları bazında kuraklık risk haritası geliştirilmiştir.



Şekil 9. KRG kullanılarak elde edilen il bazında kuraklık risk haritası.

Kuraklık risk haritası açıkça kuraklık tehdidinin hangi illerde ciddi boyutta olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre kuraklık riskinin en yüksek olduğu tek il Konya’dır. Bölgesel olarak ege kıyılarında kümelenen

illerden Muğla, Aydın, Denizli, İzmir, Manisa ve Balıkesir’in yanında İstanbul, Ankara, Bartın, Adana, Hatay, Elâzığ, Şanlıurfa ve Mardin de yüksek kuraklık riskine sahip şehirler olarak karşımıza çıkmıştır. Kuraklık riskinin en az olduğu 5 il de (Kocaeli, Giresun, Rize, Artvin ve Hakkâri) kuraklık risk haritasından rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Zikredilen bu şehirler dışında kalan ve çoğunluğu teşkil eden 61 şehir orta riskli olarak sınıflandırılmıştır. Bütün hesaplamalarda dikkate alınan puanlar ve il bazında sınıflandırmalar Çizelge 2’de sunulmuştur. Bu çizelge vasıtasıyla bütün illerin KAG, KHG ve KRG puanlarını bir arada karşılaştırmalı olarak değerlendirmek mümkündür. Bu aşamada altı çizilmesi gereken önemli bir husus da kural tabanındaki sınıflandırma kuralları ile BMÇ süreç sonucu elde edilen sonuçların birbirinden farklı olması beklenen bir sonuçtur. KAG ve KHG puanlarına göre BMÇ süreç içerisinde

Tablo 1. Türkiye geneli 81lil kapsayan KAG, KHG ve KRG puanları ve sınıflandırmaları.

No	İl	KAG		KHG		KRG	
		Puan	Sınıf	Puan	Sınıf	Puan	Sınıf
1	Adana	0,59	YÜKSEK	0,52	YÜKSEK	0,56	YÜKSEK
2	Adıyaman	0,73	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,43	ORTA
3	Afyonkarahisar	0,67	YÜKSEK	0,21	DÜŞÜK	0,45	ORTA
4	Ağrı	0,46	ORTA	0,20	DÜŞÜK	0,37	ORTA
5	Amasya	0,34	ORTA	0,13	DÜŞÜK	0,31	ORTA
6	Ankara	0,46	ORTA	0,67	YÜKSEK	0,59	YÜKSEK
7	Antalya	0,61	YÜKSEK	0,37	ORTA	0,49	ORTA
8	Artvin	0,00	DÜŞÜK	0,04	DÜŞÜK	0,12	DÜŞÜK
9	Aydın	0,82	ÇOK YÜKSEK	0,33	ORTA	0,58	YÜKSEK
10	Balıkesir	0,87	ÇOK YÜKSEK	0,25	ORTA	0,58	YÜKSEK
11	Bilecik	0,75	ÇOK YÜKSEK	0,04	DÜŞÜK	0,38	ORTA
12	Bingöl	0,32	ORTA	0,06	DÜŞÜK	0,28	ORTA
13	Bitlis	0,48	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,30	ORTA
14	Bolu	0,82	ÇOK YÜKSEK	0,05	DÜŞÜK	0,42	ORTA
15	Burdur	0,87	ÇOK YÜKSEK	0,10	DÜŞÜK	0,48	ORTA
16	Bursa	0,63	YÜKSEK	0,32	ORTA	0,47	ORTA
17	Çanakkale	0,72	YÜKSEK	0,17	DÜŞÜK	0,45	ORTA
18	Çankırı	0,63	YÜKSEK	0,08	DÜŞÜK	0,35	ORTA
19	Çorum	0,34	ORTA	0,20	DÜŞÜK	0,31	ORTA
20	Denizli	0,73	YÜKSEK	0,30	ORTA	0,52	YÜKSEK
21	Diyarbakır	0,39	ORTA	0,29	ORTA	0,35	ORTA
22	Edirne	0,65	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,39	ORTA
23	Elazığ	0,95	ÇOK YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,56	YÜKSEK
24	Erzincan	0,42	ORTA	0,10	DÜŞÜK	0,31	ORTA
25	Erzurum	0,37	ORTA	0,31	ORTA	0,33	ORTA
26	Eskişehir	0,57	YÜKSEK	0,28	ORTA	0,40	ORTA
27	Gaziantep	0,62	YÜKSEK	0,28	ORTA	0,44	ORTA
28	Giresun	0,26	ORTA	0,07	DÜŞÜK	0,24	DÜŞÜK
29	Gümüşhane	0,31	ORTA	0,04	DÜŞÜK	0,26	ORTA
30	Hakkari	0,27	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,24	DÜŞÜK
31	Hatay	0,82	ÇOK YÜKSEK	0,30	ORTA	0,56	YÜKSEK
32	Isparta	0,47	ORTA	0,12	DÜŞÜK	0,33	ORTA
33	Mersin	0,39	ORTA	0,35	ORTA	0,37	ORTA
34	İstanbul	0,29	ORTA	0,90	ÇOK YÜKSEK	0,61	YÜKSEK
35	İzmir	0,91	ÇOK YÜKSEK	0,54	YÜKSEK	0,69	YÜKSEK
36	Kars	0,40	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,30	ORTA
37	Kastamonu	0,43	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,30	ORTA
38	Kayseri	0,66	YÜKSEK	0,27	ORTA	0,46	ORTA
39	Kırklareli	0,62	YÜKSEK	0,09	DÜŞÜK	0,36	ORTA
40	Kırşehir	0,29	ORTA	0,13	DÜŞÜK	0,27	ORTA
41	Kocaeli	0,14	DÜŞÜK	0,15	DÜŞÜK	0,23	DÜŞÜK
42	Konya	0,62	YÜKSEK	1,00	ÇOK YÜKSEK	0,76	ÇOK YÜKSEK
43	Kütahya	0,72	YÜKSEK	0,12	DÜŞÜK	0,41	ORTA
44	Malatya	0,45	ORTA	0,23	DÜŞÜK	0,37	ORTA
45	Manisa	0,66	YÜKSEK	0,36	ORTA	0,51	YÜKSEK
46	Kahramanmaraş	0,50	YÜKSEK	0,36	ORTA	0,40	ORTA
47	Mardin	0,76	ÇOK YÜKSEK	0,28	ORTA	0,52	YÜKSEK
48	Muğla	0,88	ÇOK YÜKSEK	0,19	DÜŞÜK	0,54	YÜKSEK
49	Muş	0,58	YÜKSEK	0,13	DÜŞÜK	0,35	ORTA
50	Nevşehir	0,44	ORTA	0,14	DÜŞÜK	0,35	ORTA
51	Niğde	0,84	ÇOK YÜKSEK	0,15	DÜŞÜK	0,49	ORTA

No	İl	KAG		KHG		KRG	
		Puan	Sınıf	Puan	Sınıf	Puan	Sınıf
52	Ordu	0,31	ORTA	0,11	DÜŞÜK	0,29	ORTA
53	Rize	0,18	DÜŞÜK	0,03	DÜŞÜK	0,23	DÜŞÜK
54	Sakarya	0,47	ORTA	0,15	DÜŞÜK	0,36	ORTA
55	Samsun	0,31	ORTA	0,24	DÜŞÜK	0,29	ORTA
56	Siirt	0,63	YÜKSEK	0,06	DÜŞÜK	0,34	ORTA
57	Sinop	0,84	ÇOK YÜKSEK	0,05	DÜŞÜK	0,43	ORTA
58	Sivas	0,50	ORTA	0,26	ORTA	0,38	ORTA
59	Tekirdağ	0,64	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,39	ORTA
60	Tokat	0,67	YÜKSEK	0,16	DÜŞÜK	0,41	ORTA
61	Trabzon	0,31	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,29	ORTA
62	Tunceli	0,89	ÇOK YÜKSEK	0,04	DÜŞÜK	0,46	ORTA
63	Şanlıurfa	0,61	YÜKSEK	0,75	ÇOK YÜKSEK	0,65	YÜKSEK
64	Uşak	0,65	YÜKSEK	0,07	DÜŞÜK	0,36	ORTA
65	Van	0,63	YÜKSEK	0,26	ORTA	0,43	ORTA
66	Yozgat	0,26	ORTA	0,20	DÜŞÜK	0,26	ORTA
67	Zonguldak	0,42	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,28	ORTA
68	Aksaray	0,53	YÜKSEK	0,16	DÜŞÜK	0,37	ORTA
69	Bayburt	0,31	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,27	ORTA
70	Karaman	0,65	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,39	ORTA
71	Kırıkkale	0,31	ORTA	0,09	DÜŞÜK	0,29	ORTA
72	Batman	0,77	ÇOK YÜKSEK	0,08	DÜŞÜK	0,40	ORTA
73	Şırnak	0,66	YÜKSEK	0,07	DÜŞÜK	0,37	ORTA
74	Bartın	1,00	ÇOK YÜKSEK	0,02	DÜŞÜK	0,51	YÜKSEK
75	Ardahan	0,62	YÜKSEK	0,02	DÜŞÜK	0,33	ORTA
76	İğdir	0,65	YÜKSEK	0,08	DÜŞÜK	0,36	ORTA
77	Yalova	0,40	ORTA	0,03	DÜŞÜK	0,27	ORTA
78	Karabük	0,65	YÜKSEK	0,03	DÜŞÜK	0,36	ORTA
79	Kilis	0,60	YÜKSEK	0,04	DÜŞÜK	0,32	ORTA
80	Osmaniye	0,65	YÜKSEK	0,11	DÜŞÜK	0,38	ORTA
81	Düzce	0,44	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,28	ORTA

birden çok kural tetiklenmekte ve bunlar durulaştırma aşamasına farklı oranlarda katkı yapmaktadırlar.

Sonuç

Bu çalışmada Türkiye geneli kuraklık riski bulanık mantık çıkarımı (BMÇ) yardımıyla Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) ve Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG) puanları dikkate alınarak hesaplanmış ve risk haritası ortaya konulmuştur. Aynı zamanda kuraklık afet ve hassasiyet haritaları da elde edilmiştir. KAG bu çalışma için geliştirilen teorik model yardımıyla SPI serilerinden yararlanılarak 1971–2010 yılları arasındaki aylık yağış serileri göz önüne alınarak hesaplanmıştır. KHG ise 2015 yılına ait güncel 4 adet sosyo-ekonomik veri kümesi (Sulanan Tarım Alanı (STA), Toplam Tarım

Alanı (TTA), Nüfus Yoğunluğu (NY) ve İçme-Kullanma Suyu (İKS)) kullanılarak il ölçeğinde hesaplanmıştır. Elde edilen risk haritasına göre ya da Tablo 2’de sunulan sınıflandırmalara göre Türkiye genelinde sadece Konya (%1) “Çok Yüksek” riskli şehir olarak karşımıza çıkmıştır. Nüfus ve tarım alanlarının yoğunluğu sebebiyle “Yüksek” riskli olan ve Türkiye’nin %17’sini kapsayan 14 ilin Ege bölgesinde kümelendiği görülmektedir. Risk haritasından görüleceği üzere Türkiye’nin çok sayıdaki ili büyük oranda (%75) “orta” risk sınıfında yer almaktadır. Son olarak “Düşük” riskli şehirlerin 81 il içerisindeki oranı ise %7 olmuştur. Kuraklık riski çalışmasının en önemli özelliği kuraklıkla mücadelede gerekli olan risk seviyelerini illerin hassasiyetlerini dikkate alarak ortaya koymasındır. Özellikle kuraklık sonrası ortaya çıkabilecek zararların en aza indirilmesi için bu

çalışmada belirlenen risk sınıflarına göre her bir il için öncelikli ve aşamalı tedbirler alınabilir. “Yüksek” ve “Çok Yüksek” riskli şehirlerde, riskin yüksek olmasının sebebi kuraklık afet ve hassasiyet göstergelerinden rahatlıkla anlaşılabilir. Dolayısı ile bu çalışma kapsamında elde edilen haritalar ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından bütüncül bir şekilde değerlendirildiği takdirde kuraklıkla mücadele eylem planlarına çok önemli bir bakış açısı ve katkı verebilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından sağlanan 1059B141501044 nolu araştırma desteğinin ve Su Vakfı'nın katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a, Su Vakfı'na ve veri destekleri için Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile Türkiye İstatistik Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca değerli yorum ve katkılarıyla makaleyi değerlendiren dergi editör ve hakemlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynaklar

Awange, J. L., Mpelasoka, F., Goncalves, R. M., Science of the Total Environment When every drop counts: Analysis of Droughts in Brazil for the 1901-2013 period. *Science of the Total Environment*, 566–567, 1472–1488, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.031>

Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof (Eds.) J. P., *Climate Change and Water*, Tech. Pap. VI, Intergovernmental Panel on Clim. Change, Geneva, Switzerland, 2008.

Brooks, N., Adger, W., Kelly, P., The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Glob. Environ. Change* 15, 151-163, 2005.

Dabanlı, İ., Mishra A.K., Şen, Z., "Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey." *Journal of Hydrology* 552: 779-792, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>

Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleşen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B., Güçlü, Y. S., Trend Assessment by the Innovative-Şen Method. *Water Resources Management*, 30(14), 5193–5203, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11269-016-1478-4>.

Dahal, P., Shrestha, N. S., Shrestha, M. L., Krakauer, N. Y., Panthi, J., Pradhanang, S. M., ... Lakhankar, T., Drought risk assessment in central Nepal: temporal and spatial analysis.

Natural Hazards, 80(3), 1913–1932, 2015. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-2055-5>

Dai, A., Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45–65, 2011. <http://doi.org/10.1002/wcc.81>

Eakin, H., Conley, J., Climate variability and the vulnerability of ranching in southeastern Arizona: a pilot study. *Clim. Res.* 21, 271-282, 2002.

Ekrami, M., Fatehi, A., Jalal, M., Drought vulnerability mapping using AHP method in arid and semiarid areas: a case study for Taft Township, Yazd. *Environmental Earth Sciences*, 75(12), 1–13, 2016. <http://doi.org/10.1007/s12665-016-5822-z>

Fontaine, M. M., Steinemann, A. C., Assessing vulnerability to natural hazards: impact-based method and application to drought in Washington state. *Nat. Hazards Review*. NHR 10, 11-18, 2009.

Gampe, D., Ludwig, R., Qahman, K., Afifi, S., Applying the Triangle Method for the parameterization of irrigated areas as input for spatially distributed hydrological modeling- Assessing future drought risk in the Gaza Strip (Palestine). *Science of the Total Environment*, 543, 877–888, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.098>

Guttman, N. B., Accepting the Standardized Precipitation Index: a Calculation Algorithm1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311–322, 1999. <http://doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>

Güçlü, Y. S., Şen, Z., Hydrograph estimation with fuzzy chain model, 538, 587–597, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.057>

Hao, Z., AghaKouchak, A., Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Adv. Water Resour.* 57, 12–18, 2013.

Jia, H., Wang, D. P. J., Risk mapping of integrated natural disasters in China. *Natural Hazards*, 80(3), 2023–2035, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-2057-3>.

Jin, J., Wang, W., Wang, X., Adapting agriculture to the drought hazard in rural China: household strategies and determinants. *Natural Hazards*, 82(3), 1609–1619, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2260-x>

Kao, S. C., Govindaraju, R. S., A copula-based joint deficit index for droughts. *J. Hydrol.* 380 (1–2), 121–134, 2010.

Kim, D. W., Byun, H. R., Choi, K. S., Oh, S. B., A spatiotemporal analysis of historical droughts in

- Korea. *J. Appl. Meteorol. Clim.* 50, 1895-1912, 2011.
- Kim, H., Park, J., Yoo, J., Kim, T. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-Environment Research*, 9(1), 28–35, 2015.
<http://doi.org/10.1016/j.jher.2013.07.003>
- Lin, M. L., Chu, C. M., Tsai, B. W., Drought risk assessment in western Inner-Mongolia. *Int. J. Environ. Res.* 5(1), 139-148, 2011.
- Mamdani, E. H., Assilian S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13, 1975.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., The relationship of drought frequency and duration time scales. In: *Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Anaheim, California, 1993.
- Metzger, M. J., Leemans, R., Schröter, D., A multidisciplinary multiscale framework for assessing vulnerabilities to global change. *Int. J. Appl. Earth Obs.* 7, 253-267, 2005.
- Mishra, A. K., Desai, V. R., Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati river basin, India. *International Journal of River Basin Management*, 3(1), 31–41, 2005.
<http://doi.org/10.1080/15715124.2005.9635243>.
- Mishra, A. K., Singh, V. P., A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202–216, 2010.
<http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Nam, W., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Tadesse, T., Wilhite, D. A., Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*, 160, 106–117, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.029>
- Pei, W., Fu, Q., Li, D. L. T., Assessing agricultural drought vulnerability in the Sanjiang Plain based on an improved projection pursuit model. *Natural Hazards*, 82(1), 683–701, 2016.
<http://doi.org/10.1007/s11069-016-2213-4>
- Rahman, R., Lateh, H., Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analyzing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. *Environmental Earth Sciences*, 75(12), 1–20, 2016. <http://doi.org/10.1007/s12665-016-5829-5>
- Rajsekhar, D., Singh, V. P., Mishra, A. K., Integrated drought causality, hazard, and vulnerability assessment for future socioeconomic scenarios: An information theory perspective, 6346–6378, 2015.
<http://doi.org/10.1002/2014JD022670>.
- Santos, F., Pulido-calvo, I., Portela, M. M., Spatial and temporal variability of droughts in Portugal, 46, 1–13, 2010.
<http://doi.org/10.1029/2009WR008071>.
- Sarhadi, A., Burn, D. H., Ausin, M. C. Wiper, M. P., Time-varying nonstationary multivariate risk analysis using a dynamic Bayesian copula, *Water Resour. Res.*, 52, 2327–2349, 2016.
<http://doi.org/10.1002/2015WR018525>.
- Shahid, S., Behrawan, H., Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nat. Hazards*, 46, 391-413, 2008.
- Şen, Z., Wet and dry periods of annual flow series. *Journal of Hydrology*, 102, 1503–1514, 1976.
- Şen, Z., Autorun analysis of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, 36, 75–85, 1978.
- Şen, Z., Probabilistic formulation of spatio-temporal drought pattern. *Theoretical and Applied Climatology*, 61(3-4), 197–206, 1998.
<http://doi.org/10.1007/s007040050064>
- Şen, Z., Fuzzy logic and system models in water sciences. Turkish Water Foundation, İstanbul, 2004.
- Şen, Z., *Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation*, 1st Edition, Elsevier, Amsterdam, 2015.
- Toprak, Z.F., Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT), *Clean-Soil Air Water* 37(9): 742-752, 2009.
- Tosunoglu, F., Can, I., Application of copulas for regional bivariate frequency analysis of meteorological droughts in Turkey. *Natural Hazards*, 82(3), 1457–1477, 2016.
<http://doi.org/10.1007/s11069-016-2253-9>
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour. Manage.* 21(5), 821–833, 2007.
- UNDP, United Nation Development Program, *Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development*. John S. Swift Co, New York, 2004.
- Vasiliades, L., Loukas, A., Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*, 237(1–3), 3–21, 2009.
<http://doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.019>

- Venkataraman, K., Tummuri, S., Medina, A., Perry, J., 21st century drought outlook for major climate divisions of Texas based on CMIP5 multimodel ensemble: Implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, 534, 300–316, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.001>
- Verdon-Kidd, D. C., Kiem, A. S., Quantifying drought risk in a nonstationary climate. *J. Hydrometeorol.*, 11, 1019-1031, 2010.
- Vicente-Serrano, S. M., Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910– 2000), *Hydrol. Sci. J.*, 51(1), 83–97, 2006. <http://doi.org/10.1623/hysj.51.1.83>.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I., A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Climate* 23(7), 1696–1718, 2010.
- Wang, Y., Zhang, Q., Singh, V. P., Spatiotemporal patterns of precipitation regimes in the Huai River basin, China, and possible relations with ENSO events. *Natural Hazards*, 82(3), 2167–2185, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2303-3>
- Wilhite, D., *Drought: A Global Assessment*, Vol. I, pp. 3–18, London: Routledge, 2000.
- Wilhelmi, O. V., Wilhite, D. A., Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Nat. Hazards*, 25, 37-58, 2002.
- Xu, K., Yang, D., Yang, H., Li, Z., Qin, Y., Shen, Y., Spatio-temporal variation of drought in China during 1961-2012: A climatic perspective. *Journal of Hydrology*, 526(7), 253–264, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.047>

Drought Risk Assessment by Using Fuzzy Logic in Turkey

Extended abstract

In this paper, spatial drought risk pattern is quantified by incorporating hazard and vulnerability for provinces located in Turkey. The drought hazard index is identified by using SPI weight and rating scores between 1971 and 2010 by helping fuzzy approach. Drought has multiple impacts on socioeconomic sectors and it is expected to increase in the upcoming years due to non-stationary nature of climate variability and change. Here, drought hazard, vulnerability, and risk are investigated based on hydro-meteorological and actual socio-economic data for provinces of Turkey by helping fuzzy approach. Although, drought vulnerability and risk assessment are essential parts of drought phenomenon, so far, lack of proper integrated drought risk assessment in Turkey (and elsewhere) has led to higher socio-economic impacts.

Firstly, the Drought Hazard Index (DHI) is derived based on the probability occurrences of drought using Standardized Precipitation Index (SPI) to facilitate the understanding of drought phenomenon. Secondly, the Drought Vulnerability Index (DVI) is calculated by utilizing four socio-economic indicators to quantify drought impact on society. Finally, the Drought Risk Index (DRI) is obtained by employing DHI and DVI into fuzzy set for provinces of Turkey to highlight the relative importance of hazard and vulnerability assessment for drought risk management.

A set of drought hazard, vulnerability, and composite risk maps were then developed. The outputs of analysis reveal that among 81 administrative provinces in Turkey, 5 provinces are exposed to the low drought risk ($0 < DRI < 0.25$), 61 provinces to the moderate drought risk ($0.25 < DRI < 0.50$), and 14 provinces to the high drought risk ($0.50 < DRI < 0.75$). Among all, only Konya has very high drought risk according to DRI score. These maps can assist stakeholders to identify the regions vulnerable to droughts, thus helping in development of mitigation strategies as well as effective water resources management in a consistently drought prone provinces.

Prolonged drought event has a direct impact on socio-economic sectors, for example, the rate of

evapotranspiration increases during drought period leading to depletion in soil moisture which is directly linked to the agricultural activity and food productions. Similarly, the reductions in streamflow and reservoir storage cause agricultural and municipal water supply deficits. Thus, drought is directly associated with municipal and agricultural water shortages which severely affects irrigated agricultural areas, and population.

Depending on the availability of reliable socio-economic data, four indicators are selected, such as Irrigated Land (IL), Total Agricultural Land (TAL), Population Density (PD) and Municipal Water (MW). First, the drought vulnerability is calculated by using four socioeconomic indicators parameters. Then, vulnerability map based on DVI is presented as seen in Figure 7. It was observed that Konya and Şanlıurfa witnessed very high vulnerability because of their extensive agricultural lands, whereas, Istanbul is designated as very high vulnerability because of its population density. Similarly, Adana, Ankara and İzmir are identified as high vulnerability because of their dense population and large agricultural land. Likewise, many interpretations can be extracted from this vulnerability map to understand existing vulnerability circumstances of each province in Turkey.

Furthermore, the conceptual drought risk model which depends on actual socio-economic variables can help to minimize drought impacts in Turkey. Overall this information can be used to identify provinces which are most vulnerable to drought as well as a relative assessment between provinces. Additional (i.e., current or future) socio-economic indicators can be further included to generate drought risk maps for scenario analysis as well as to develop strategies to minimize socio-economic impacts.

Keywords: Drought, SPI, hazard, risk, vulnerability, fuzzy logic, Turkey