



Ege Coğrafya Dergisi 26 (2), 2017, 47-70, İzmir-TÜRKİYE  
Aegean Geographical Journal, 26 (2), 2017, 47-70, İzmir-TURKEY

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

## TÜRKİYE’NİN İKLİMSEL DEĞİŞKENLİK VE SOSYO-EKOLOJİK GÖSTERGELER AÇISINDAN KURAKLIKTAN ETKİLENEBİLİRLİK VE RİSK ÇÖZÜMLEMESİ

*Drought Vulnerability and Risk Analysis of Turkey with Respect to  
Climatic Variability and Socio-Ecological Indicators*

**Murat Türkes**

*Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi  
murat.turkes@boun.edu.tr*

*(Teslim: 13 Ekim 2017; Düzeltme: 7 Kasım 2017; Kabul: 28 Kasım 2017)  
(Received: October 13, 2017; Revised: November 7, 2017; Accepted: November 28, 2017)*

### **Abstract**

The main aim of the present study is to perform a vulnerability and risk analysis of Turkey along with a scientific evaluation for the results of analysis based on the observed drought events in Turkey by considering the recent trends and approaches on the subject for disaster risk management of the weather and climate extremes and disasters towards the climate change adaptation and reducing its impacts.

Economic and social losses caused by weather and climate-related extreme events and disasters have been increasing with a great spatial and inter-annual variability in many regions of the world and in Turkey. The character, severity and impact powers of the extreme weather and climate events and disasters closely depend not only on exposure and vulnerability levels that are varying across temporal and spatial scales, but also depend on economic, social, geographic, demographic, cultural, institutional, governance, and environmental and ecological factors.

A large part of Turkey is located over the dry-summer subtropical macro climate belt characterised with many climate and climate-related problems arising from its nature. Turkey is a mid to high climate risk-prone country, with respect to not only present climate, climate change and variability, but also future climate. Turkey is also one of the South-eastern Europe and the Eastern Mediterranean countries that are considerably vulnerable to desertification processes varying mid to high degrees.

In the study, a Social Vulnerability Index (SVI) was used for determining “Turkey’s ‘Potential’ Drought Hazard/Disaster Risk.” The SVI is a tool that was originally developed and applied in the United States to help emergency response planners and public health experts and officials geographically identify and map the communities that will most likely need support before, during, and after a hazardous event. The estimation for Turkey’s Vulnerability Index in terms of the impacts of drought events was based on five vulnerability factor classes including “(i) Education status with one indicator”, “(ii) Demography with four indicators”, “(iii) Economic activity with six indicators

mostly related to agricultural activities and production”, “(iv) Public health and health protection statues and public coping capacities with five indicators”, and “(v) Natural environmental features with three indicators.”

In this frame, based on a well-known drought risk formula and the climatological drought occurrence probabilities estimated from the standardised precipitation index (SPI) series of Turkey, “Turkey’s Drought Hazard/Disaster ‘Potential’ Risk Modelling and Valuation” were performed and mapped on the main administrative city provinces by using the spatial analysis tools of a geographical information system (GIS).

**Keywords:** Climate change and variability, weather and climate extremes, disaster, exposure, vulnerability and risk analysis, disaster risk management.

## Öz

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’nin gözlenen kuraklık olaylarına dayalı etkilenebilirlik ve risk çözümlemesinin bilimsel bir değerlendirmesini yapmaktır.

Hava ve iklim ilişkili ekstrem (aşırı) olayların ve afetlerin neden olduğu sosyal ve ekonomik kayıplar, Türkiye’de ve Dünyanın birçok bölgesinde önemli bir alansal ve yıllararası değişkenlikle birlikte artmaktadır. Aşırı hava ve iklim olaylarının ve afetlerinin niteliği, şiddeti ve etkileme gücü, alansal ve zamansal ölçeklerde değişen maruz kalma (baki) ve etkilenebilirlik düzeylerinin yanı sıra, ekonomik, sosyal, coğrafi, demografik, kültürel, kurumsal ve yönetimsel (ör. uyum), çevresel ve ekolojik etmenlere de yakından bağlıdır.

Türkiye’nin oldukça geniş bir bölümü, yazı kurak subtropikal Akdeniz iklim kuşağında yer alır. Türkiye hem günümüz iklimi, iklim değişikliği ve değişkenliği hem de gelecek iklimi açısından orta-yüksek riskli ülkeler arasındadır. Türkiye aynı zamanda çölleşmeden etkilenebilirliği ciddi (ortadan yükseğe değişen) bir Güneydoğu Avrupa ve Doğu Akdeniz ülkesidir.

Çalışmada, Türkiye’nin ‘Potansiyel’ Kuraklık Afet ve Felaketinden Etkilenme Riskinin saptanması için, özellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi gelişmiş ülkelerde uygulanmakta olan bir Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (SEİ) kullanıldı. SEİ, şiddetli afetlerde ya da afet boyutundaki olaylardan önce, sırasında ve sonrasında çoğunlukla yardıma gereksinimleri olan toplulukları coğrafi olarak tanımlayan ve haritalayan acil yardım plancıları ve halk sağlığı uzman ve görevlilerine yardım amacıyla geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. Kuraklık olaylarının etkileri açısından Türkiye’nin Etkilenebilirlik İndisi’nin kestirimi, 5 etkilenebilirlik etmen sınıfı dikkate alınarak gerçekleştirildi. Bunlar: (i) Öğretim durumu (1 indikatör), (ii) Demografi (4 indikatör), (iii) Ekonomik etkinlik (6 indikatör), (iv) Sağlık, sağlık koruma ve baş edebilme kapasitesi (5 indikatör) ve (v) Doğal çevre özellikleri (3 indikatör).

Bu çerçevede, iyi bilinen bir kuraklık risk formülü ve Türkiye’nin standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) dizilerinden kestirilen klimatolojik kuraklık oluşum olasılıklarına dayanarak, “Türkiye’nin Kuraklık Felaket/Afet ‘Potansiyel’ Risk Modelleme ve Değerlendirmesi” gerçekleştirilerek, bir coğrafi bilgi sistemleri (CBS) alansal analiz olanağı kullanılarak iller için haritalandı.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği ve değişkenliği, hava ve iklim ekstremleri, afet, baki, etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi, afet risk yönetimi.

## 1. Giriş

Bugünkü iklim koşulları altında Türkiye’nin yaklaşık % 70’lik bölümü, çeşitli derecelerde yıllık su açığı bulunan yarıkurak, kurakça-yarınemli ve yarınemli arazilerden oluşmaktadır (Türkeş, 1999, 2013a). Ayrıca, ülke arazisinin yaklaşık yarısında,

yüksek mevsimsellik ve yıllararası değişkenlik ile kuraklık, aşırı yağış, dolu, taşkın ve seller gibi hava ve iklim afet ve ekstremleriyle nitelenen, subtropikal yazı kurak ve sıcak/çok sıcak Akdeniz iklimi etkilidir (Türkeş, 2010, 2013b). Günümüz ikliminden kaynaklanan sorunlara ek olarak, çoğu iklim modeli sonuçlarına göre, Türkiye’de

gelecekte de önemli iklim değişiklikleri ve bu değişikliklerle bağlantılı aşırı hava ve iklim olaylarının ve afetlerinin yaşanacağı kestirilmektedir (Turp ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2014). Bu yüzden, örneğin Türkiye'nin su hazne ve akiferlerinde olduğu gibi, gelecek 10 yıllık dönemde, biriken suyun akılcı/dikkatli ve etkili/verimli kullanımı ile neden sonuç ilişkilerini de dikkate alan bütüncül bir iklim değişikliği ve kuraklık risk yönetimi sistemi izlenmelidir. Burada yüzey suyu ve yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi, ölçme + izleme + değerlendirme + belirleme + analiz + planlama ve adaptasyon + strateji hazırlama, vb. yaklaşımı benimsenmelidir (Türkeş, 2015).

Gelişmekte olan çoğu ülkede olduğu gibi, Türkiye'de de kısa ve orta vadede ekonomik büyüme ya da kalkınma çabaları, iklim değişikliği ve değişkenliğinden kaynaklanacak olan riskleri karşılayabilecek ve önleyebilecek kadar hızlı, yeterli ve adil ya da eşitlikçi olmayacaktır. Ekonomi karbon yoğun kaldıkça ve küresel iklim değişikliği küresel sıcaklıkları yükselttiği sürece böyle olmayı sürdürecektir. Bu nedenle, iklim politikası kalkınma ve iklim değişikliği arasında bir tercih olarak ele alınmamalıdır. Gerçekte, sektörlerle iklim değişikliği arasındaki etkileşim, neden sonuç ilişkisi, uyum ve sera gazı salımlarının denetlenmesi ya da azaltılması (iklim değişikliği savaşı) gibi konuları bütüncül ve hiyerarşik bir biçimde dikkate alan iklim dostu politikalar izlenmelidir. Aynı zamanda kalkınmayı destekleyen, etkilenebilirliği azaltan ve düşük karbonlu kalkınma yollarına geçişin finansmanını sağlayan politikalar olmak zorundadır.

## 2. İklim Değişikliğinden Etkilenebilirlik ve Uyum

İklim Değişikliğinden Etkilenebilirlik (İng: climate change vulnerability) en geniş anlamıyla "bir topluluk ya da sistemin, iklim değişikliği stresinden etkilenme ya da etkiye açık olma derecesi, bu stresi karşılama ya da yanıtlama düzeyi (duyarlılık) ve iklim değişikliklerine uyum düzeyi (uyum kapasitesi) arasındaki ilişki" şeklinde tanımlanabilir (Türkeş ve Akgündüz, 2011). Bu tanımda, iklim değişikliği yerine **iklim** kullanılırsa, bu durumda **İklimsel Etkilenebilirlik** kavramına ulaşılabilir (Türkeş, 2013d, 2014). İklim

değişikliğine uyum ise, genel olarak, iklim değişikliğinin zararlı etkilerini azaltmak ve olası yararlı fırsatları değerlendirmek amacıyla, beklenen iklim değişikliğine (ör. ortalama koşullardaki değişimler) ve iklimsel değişkenliğe (ör. uç değerlerdeki ve değişkenlikteki değişimler) karşı hazır olmak için önceden yapılan ayarlama ve düzenlemeleri kapsar ve bunların varlığını gerektirir (IPCC, 2007). İklimsel etkilenebilirlik, çoğunlukla yoksulluk ve gıda güvensizliği olgu ve kavramlarıyla ilintilidir. Bu nedenle, yoksulluk ile gıda güvensizliği ve yetersizliğini gidermeye yönelik tüm çabalar ve etkinlikler, iklimsel etkilenebilirlik düzeyinde önemli azaltımlar ve iyileştirmeler sağlar.

Konuyla ilgili bir başka önemli kavram, **Uyum Kapasitesi**'dir (İng: *adaptation capacity*). Çoğu ekolojik ve sosyal sistemler bir uyum kapasitesi üzerinde gelişir. Ancak, günümüzde gözlenen iklim değişkenliği ve hızlı iklim değişikliği oranları var olan baş etme kapasitesinin aşılmasına yol açabilecek yeni ve ek baskıları ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden, çiftçilerin, geçimlerini ormandan sağlayan toplumların (ör. Türkiye'de "Orman Köylüleri") ve balıkçıların (özellikle geleneksel küçük yerel balıkçılık yapanlar) zaman içinde konuya ilişkin edindikleri yerel bilgiler ve uyguladıkları yöntemler, uyum kapasitesi açısından yaşamsaldır. Bu nedenle balıkçılık ve çiftlik hayvancılığı, tarım sistemleri ve çiftçilik, toprak, su ve besin maddelerinin yönetimi, tarım ormancılığı sistemleri ve orman (çalılık, ağaç, orman) yangını yönetimi konularında elde edilen yerel bilgilerin önemini ve avantajlarının kabul edilmesi anlamını taşımaktadır. Öte yandan, iklim değişikliği ve değişkenliğinin yol açtığı kuraklaşma, arazi bozulumu ve çölleşme gibi karmaşık ve uzun süreli sorunlara yönelik çabaların bilimsel bilgi ve tekniklerle de desteklenmesi gerekmektedir. Uyum gayretleri, daha sık ve giderek zorlaşan koşullar ile iklimdeki yavaş ama sürekli değişimler ile baş etmeye yönelik kapasite yaratmalıdır. Bu ise, çoğunlukla, izlem/gözlem, araştırma ve yaygınlaştırma ile ilgili kurumları ve kurumsallaşmayı kuvvetlendirmenin yanı sıra, sosyal öğrenme, yaratıcılık ve kalkınma süreçlerini de kapsamalıdır. Türkiye örneğinde olduğu gibi, iklim değişikliği etkilerinin yerel ya da bölgesel

kestirimleri bulunmadığı zaman; söz konusu gereklilikler, “iklim değişikliği tehditleri beklendiği düzeyde gerçekleşmese bile (her durum ve koşulda) yararlı olabilecek uyum önlem ve eylemlerinin belirlenmesi” anlamına gelen bir “no regret” ya da gerçekleştirilebilmesi her koşulda yararlı yaklaşımının varlığını gerektirecektir (FAO, 2009).

Konuyla ilgili önemli üçüncü kavram **Uyum Açıkları** (İng: *adaptation gaps*) konusudur. Örneğin üretim sistemlerinde düşük üretkenlik ve yüksek üretim değişkenliği ile nitelenen “uyum açıkları” sistemlerin etkilenebilirliklerini arttırmaktadır. Zaten var olan koşullarda bile bu sistemlerin üretkenliği düşüktür. Bu durum iklimle ilgili en küçük buhranlarda bile üretim istemlerinin yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Uyum açıkları, örneğin tarımsal yatırımların sıklıkla göz ardı edildiği ya da çok yetersiz düzeyde yapıldığı yerlerde yükselmektedir (WB, 2010). Bugünkü koşullarda bile, böyle sistemlerde iklim değişkenliğinin ve uç hava ve iklim olaylarının yoksulluğu arttırdığı ve kalkınmayı yavaşlattığı görülmektedir. Bu yüzden, tarım, ormancılık, balıkçılık ve gıda güvenliği konularında çok disiplinli, bilimsel ve uygulanabilir politikalar ve programlar geliştirilmesi kritik bir önemdedir. Bu tarz politikalar ve programlar, üretkenliği sürdürülebilir bir yolla arttırarak, kırsal geçim kaynaklarını çeşitlendirir. Ayrıca, karar verme süreçleri ve kaynaklar üzerindeki yerel denetim ve söz hakkını arttırarak, yıllık iklim ve iklim değişikliği risklerini azaltabilmektedir. Dahası, bu tür politika ve programlar aracılığıyla, kalkınma gereksinimleri karşılanmakta, hem de gelecekteki uyum kapasitesi için yararlı bir zemin hazırlanmaktadır (Padgham, 2009).

İklim değişikliği uyumunda risk yönetimi ve değişiklik yönetimi önemli bir rol oynamaktadır (Türkeş, 2013d). Sonraki bölümde de tartışıldığı gibi, **Afet Risk Yönetimi** (İng: *disaster risk management*), ancak kısa ve orta dönemli buhranlara karşı hazırlıklı olunması, savaşımlı ve önlenmesi gibi konular üzerinde odaklanması durumunda gerçek anlamda işlevsel olur. **Değişiklik Yönetimi** (İng: *change management*) ise, *politika, program, eylem planları ve yasal düzenlemeler ile araştırma ve geliştirme çalışmalarını içeren geniş bir çerçeveye stratejik*

*ve uzun süreli amaçlar eklenmesinde yararlı olabilen bir uygulama ve yönetim biçimidir* (FAO, 2011). Her iki bakış açısı da, karşılıklı ilişkilidir ve ortadan uzun döneme değin davranışlar ya da alışkanlıklar ve uygulamalar açısından tamamlayıcı ve geniş kapsamlı yeni yaklaşım ve girişimler şeklinde başarılı olabilir. Bu çerçevede, risk yönetimi, aşırı hava / iklim afet ve olaylarının sıklıklarındaki ve şiddetlerindeki artışlar, yağış, hava sıcaklığı ve *ET* rejimlerindeki ya da desenlerindeki alansal ve zamansal değişimler, zararlı ve hastalık desenlerindeki değişimler vb. iklim ve iklim değişikliği ilişkili tehdit ve risklerin karşılanması ve yönetilmesi açısından önemlidir. Kuvvetlendirilmiş afet risk yönetimi, riskin azaltılması, acil yardım ve rehabilitasyon seçenekleri için gerekli yerel süreçlerin ve uygulamaların iyileştirilmesi için yaşamsal bir önemdedir.

### 3. Hava ve İklim Ekstremlerinin ve Afetlerinin ‘Afet Risk Yönetimi’

#### 3.1 Afet riski

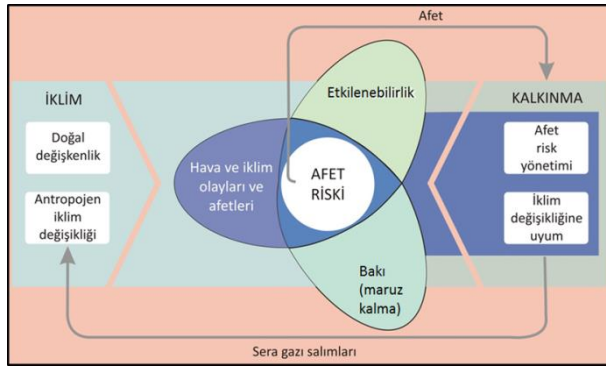
**Doğal Afet** (İng: *Natural disaster*), “biyosferde hasar yapıcı ve zarar verici afet boyutundaki şiddetli bir olayla sonuçlanabilen doğal süreç ya da olay” şeklinde tanımlanabilir. Afet olayları, büyüklük (magnitüd) ya da şiddet, frekans, süre, etki ya da yayılım alanı, gelişim hızı, alansal ve zamansal boyutlarda değişmektedir. Afet olaylarına örnek olarak depremler, tropikal ve orta enlem siklonlarının yol açtığı fırtınalar, taşkın ve seller veya kuraklıklar gösterilebilir. **Doğal Felaket (Afetsel Tehlike)** (İng: *Natural hazard*) ise, “etkilenenlerin baş etme olanak ve yeteneklerini aşarak, can ve mal, ekonomik, ekolojik ve çevresel kayıpların ortaya çıkmasına neden olan şiddetli bir doğal olayın ya da afetin tetiklediği ciddi bir yıkım ya da felaket” olarak tanımlanabilir.

Doğal felaketler, fiziksel etkilenmişlik ya da etkiye uğrama durumu (etkilenme) (*FizEtş*) ve etkilenebilirliğin (*Etb*) bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir:

$$\text{Doğal Felaket/Afet} = f(\text{Etkilenmişlik}, \text{Etkilenebilirlik}) \quad (1)$$

Aşırı hava ve iklim olaylarının ve afetlerinin alansal ve zamansal yaygınlık, sıklık ve şiddet ya

da kuvvetlerinde bazı bölgelerde yaklaşık olarak 1960'lı (ör. Sahel) ve 1970'li (ör. Ekvatorial orta ve doğu Pasifik, Muson Asya'sı, Akdeniz havzası, vb.) ve bazı bölgelerdeyse 1980'li yıllarla (ör. tropikal denizler, orta enlemler, vb.) birlikte ortaya çıkan önemli değişiklikler ve artışlar, aşırı iklim olayları ve afetlerine uygulanabilen kendine özgü ilke, yaklaşım ve yöntemleri olan yeni bir **Afet Riski** ve **Afet Risk Yönetimi** kavramı ve anlayışının gelişmesine yol açmıştır (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1- Hava ve iklim ekstremeleri ve afetleri, etkilenebilirlik ve bakı ile afet riski arasındaki ilişki ile hava ve iklim ekstremelerinin ve afetlerinin 'Risk Yönetimi' yaklaşımının çizimsel gösterimi (IPCC 2012'ye göre yeniden düzenlenerek, Türkiye 2013d'den).

Figure 1- Schematic representation of relationship between weather and climate extremes and disasters, vulnerability, exposure and disaster risk, along with a "Risk Approach" of weather and climate extremes and disasters (Türkeş 2013d, re-arranged from IPCC 2012).

Konu iklim ve iklim değişikliği açısından ele alındığında, bu yeni **Afet Riski** anlayışının ve/ya da yaklaşımının başlıca öğelerini, **Hava ve İklim Ekstremleri ve Afetleri**, **Etkilenebilirlik** ve **Bakı** oluşturur (Şekil 1). Çok genel olarak, söz konusu öğeler arasındaki ilişkilerin ve etkileşimlerin doğası ve büyüklüğü ise, alansal ve zamansal olarak yüksek değişkenlik gösteren bir afet riskini doğurur ve onu yakından denetler. **Afet Riski**, "doğal ya da insan kaynaklı afet tehlikesi ve etkilenebilirlik arasındaki etkileşimlerin yol açtığı hasar/zarar verici sonuçlarının ya da beklenen kayıpların (ör. can ve mal/mülk kayıpları, insanların yaralanması, çiftlik hayvanlarının telef

olması, ekonomik etkinliklerin kesintiye uğraması ya da çevrenin ve ekosistemin hasar görmesi, vb.) oluşma ya da gerçekleşme olasılığına" karşılık gelmektedir. IPCC (2012) ise, **afet riskini** şöyle tanımlamıştır: "Yaygın olumsuz can, mal ve ekonomik hasar ve kayıpların ya da çevresel etkilerin oluşmasına yol açan, bir topluluğun ya da bir toplumun normal işlevselliğinde ... afet boyutundaki fiziksel olaylar nedeniyle belirli bir dönem süresince oluşabilecek olası şiddetli bozulmalar (değişiklik, hasar ve kayıplar)". Her iki tanımdan da anlaşılabilir olduğu gibi, afet riski, çoğunlukla kuraklık, fırtına gibi fiziksel afetlerin ve etkilenen (maruz kalan) öğelerin etkilenebilirliğinin (etkiye açık olma derecesi) bir bileşimidir.

Afet riski yukarıdaki tanımlara da uygun olarak, aşağıdaki iyi bilinen genel eşitlik (Eşitlik 2) ile gösterilir:

$$\text{Afet riski} = \text{Afet} \cdot \text{Etkilenebilirlik} \quad (2)$$

### 3.2 Afet riskinin modellenmesi

Afet (iklim değişikliği, kuraklık, fırtına, taşkın, vb.) riskinin modellenmesinde kullanılan formül 3 bileşenden oluşur (UNDP/BCPR, 2004). Başka bir deyişle, afet riski felaket/afet oluşumunun olasılığı, riskteki öge (insan nüfusu) ve etkilenebilirlik bileşenlerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar ve afetten etkilenmiş olan bir alanda yaşayan insan popülasyonu açısından hesaplanır ve değerlendirilir (Eşitlik 3):

$$0 (\text{Afet}) \times \text{Nüfus} \times \text{Etkilenebilirlik} = 0 (\text{Afet Riski}) \quad (3)$$

Eşitlik (3)'te verilen bu istatistiksel ifadenin oluşturulmasında yararlanılan 3 faktörün birbirleriyle çarpımı, incelenen o afetin riskini ve elde edilen risk değerinin bir karşılaştırmasını verir. Bu aynı zamanda, eğer afet 0 ise (afet yoksa) bu durumda riskin de sıfır (0) olduğunu başka bir deyişle riskin olmadığını gösterir. Risk eğer afete uğrayan (afetten etkilenmiş olan) bir alanda hiç insan yaşamıyorsa (nüfus = 0) yine sıfır olur. Aynı durum, eğer popülasyon etkilenebilir değilse ortaya çıkabilir. Örneğin, bir afet türü için gelişmiş ve afet risk yönetimi plan, politika ve uygulamaları olan, dolayısıyla afet ve felaketlerle baş edebilme olanak

ve düzeyleri yüksek olan gelişmiş bir ülkedeki yurttaşlar açısından, tüm afetler açısından olmamakla birlikte, bazı afet türleri için bu durum geçerli olabilir. Buna örnek olarak, ABD verilebilir. ABD, en azından günümüzde genel olarak kuraklık afetiyle kolay baş edebilmesine karşın, bir kasırga ya da hortum gibi ani ve kısa sürede gelişen ve sonuçlanan doğal afetler ve onların tetiklediği felaketlerle (ör. evsizler, yağmacılık, yoksulluk, vb.) baş etme ve sonuçlarının üstesinden gelme konularında başarılı değildir (ör. Katrina Kasırgası).

Bu durumda, bir afet türü ve “gelişmiş” ya da “felaketlere karşı iyi yönetişimli ve örgütlü” bir insan toplumu açısından, etkilenebilirlik = 0 ve risk oluşumu = 0 şeklinde belirlenir.

*Eşitlik* (3)’teki ifadeden yola çıkılarak, aşağıda verilen sadeleştirilmiş **Risk Eşitliği** (*Eşitlik* 4) oluşturulmuştur (UNDP/BCPR, 2004):

$$R = Af \cdot Pop \cdot Etb \quad (4)$$

Burada; *R*, riski; *Af*, doğal afeti; *Pop*, etkiye uğrayan bir alanda yaşayan nüfusu; *Etb*, etkilenebilirliği gösterir.

*Eşitlik* (4)’te görebileceğimiz gibi, **Afetten Etkilenmiş Nüfus** ( $Pop_{Ets}$ ) ile **Afetin** (ör. afetin olasılığı ya da afetin sıklığı, *Frk*) çarpılması ise, **Fiziksel Etkilenmişliği** ( $FizEts$ ) (başka bir deyişle burada etkiyi oluşturan doğal afet, kuvvetli fırtına, kasırga, hortum ya da fırtına kabarması gibi asıl olarak fiziksel bir olaya karşılık geldiği için **Fiziksel Bakıyı**) hesaplamak için kullanılır. **Fiziksel Etkilenmişlik**, kaydedilmiş olan her afet olayından etkilenmiş olan alanın modellenmesi

$$Risk_{Toplam} = \sum_{i=1}^n (Risk_{Taşkın} + Risk_{Deprem} + Risk_{Volkan} + Risk_{T.Siklon} + \dots Risk_n) \quad (7)$$

*Eşitlik* (7)’in açıkça gösterdiği gibi, model tek bir afet türü için hesaplanmadıysa, bir afet türünden çok az etkilenen ya da hiç etkilenmeyen ülkeler söz konusu olduğu zaman, o afet türü için risk 0 kabul edilir.

yoluyla elde edilir. Olayın sıklığı, belirli bir alan için kaydedilen olay sayısının var olan gözlem yıllarının sayısına bölünmesiyle elde edilir. Bu yolla, ortalama koşullarda afet sıklığı ya da gerçekleşme olasılığı, örneğin **kuraklık afeti** söz konusu olduğunda “**klimatolojik olasılığı**” elde edilir.

**Afetten Etkilenmiş Popülasyon** ( $Pop_{Ets}$ ), fiziksel bakımın ( $FizEts$ ) bir ölçümünü sağlayan belirli bir büyüklük ya da şiddet düzeyi için belirlenen bir **afet olayının sıklığı** (*Frk*) ile çarpılır (*Eşitlik* 5):

$$FizEts = Pop_{Ets} \cdot Frk \quad (5)$$

*Eşitlik* (6), **Fiziksel Bakımın Risk Değerlendirmesi**, başka bir deyişle **Afet Riskinin** hesaplanması ya da kestirimi amacıyla kullanımını gösterir:

$$R = FizEts \cdot Etb \quad (6)$$

Burada; *R*, **Afet Riskini**;  $FizEts$ , **Fiziksel Etkilenmişliği** (bakı), daha açık bir deyişle, afet sıklığı ve şiddetinin o afetten etkilenen popülasyonla çarpımını; *Etb* ise, **Etkilenebilirliği** gösterir.

Sonraki adım, bir araya toplanan afet ilişkili ölüm puanlarının, ulusal düzeyde de hesaplanmasıdır. Doğal afetler nedeniyle oluşması beklenen kayıplar, bir alandaki nüfusun karşı karşıya kaldığı tüm risk türlerinin toplamına eşit olacaktır. Bu özellik, *Eşitlik* (7)’te özetlenmiştir:

**Fiziksel Etkilenmişlik** faktörünü hesaplamak için, genellikle aşağıda kısaca açıkladığımız iki yöntem kullanılır:

**Bunlardan birincisi**, etkilenen her alanda yaşayan nüfusun afet sıklığı ile çarpılması yoluyla elde edilen **Fiziksel Etkilenmişlik** değeridir. Afetlerin sıklığı afet olaylarına ilişkin farklı

kuvvetler/büyüklikler için hesaplanır ve **Fiziksel Bakı Eşitlik** (5) uygulanarak bulunur.

**Ulusal Düzeydeki Fiziksel Bakı** ise, *Eşitlik* (5)'ten yararlanarak, bu çarpımların, daha açık bir deyişle o ülkedeki tüm fiziksel bakıların toplamına eşit olur (*Eşitlik* 8):

$$FizEtş_{Ulus} = \sum (Frk_i \cdot Pop_i) + \dots + (Frk_n \cdot Pop_n) \quad (8)$$

Burada;  $FizEtş_{Ulus}$ , **Ulusal Fiziksel Bakıya**;  $Frk_i$ , bir coğrafi alan biriminde (bölge, bölüm, yöre, havza, vb.) gerçekleşmiş olan kendine özgü bir büyüklükteki/şiddetdeki **afet olayının yıllık frekansına**;  $Pop_i$ , bir coğrafi alansal birimde yaşayan **toplam nüfusa** eşittir.

**İkinci Fiziksel Etkilenmişlik hesaplama yöntemi**, belirli bir büyüklükteki bir afet olayının yıllık geri dönüş (yinelenme) frekansı konusunda veri bulunmadığı ya da yeterli veri bulunmadığı zaman kullanılır.

Afet olayına ilişkin sıklık verisi bulunmadığı ya da yetersiz olduğunda (ör. depremler), **Fiziksel Etkilenmişlik** aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$FizEtş_{Ulus} = \sum \frac{Pop_i}{Y_n} \quad (9)$$

Burada,  $Pop_i$ , belirli bir deprem kuşağında ya da bölgesinde yaşayanların nüfusunu;  $Y_n$ , afet olayının oluştuğu/kaydedildiği yılların sayısını;  $FizEtş_{Ulus}$  ise, bir ülkedeki Ulusal Toplam Fiziksel Etkilenmişliği gösterir.

### 3.3. Afet risk yönetimi

**Afet Risk Yönetimi**, hem *afet riskinin anlaşılmasını, azaltılması ve transferinin desteklenmesi ile insan güvenliğini, refahını, yaşam kalitesini ve sürdürülebilir kalkınmayı arttırmaya yönelik bir kavramdır, hem de afete hazırlık, müdahale ve onarım (iyileştirme, “yaraları sarma”) eylem ve etkinliklerinin geliştirilmesi ve desteklenmesine yönelik tasarım, yürütme ve değerlendirme strateji, politika ve önlemlerine ilişkin tüm süreç için kullanılan kavramdır (Şekil 2) (Türkeş, 2013d, 2015). Afet risk yönetimi, ekstrem olaylarla bağlantılı riskin ya da afetlerin yönetimi için hazırlanmış olan bir kılavuz değil, afet oluşumunu yönlendiren ya da tetikleyen*

zengin desenleri, ölçekleri ve maruz kalma, afet olayı ve etkilenebilirliğin karşılıklı etkileşim düzeylerindeki girişim ve gelişmelerini tanımlayan ve önceden kestiren bir kavram ve afet yönetim yaklaşımıdır.



Şekil 2- Risk temelli Afet Yönetimi Döngüsünün (ör. burada kuraklık için Afet Risk Yönetimi) temel bileşenleri (Wilhite 2007'ye göre değiştirilerek yeniden düzenlendi ve çizildi).

Figure 2- Principal components of the Risk-based Disaster Management Cycle (e.g. here Disaster Risk Management for drought) (Re-arranged and re-drawn according to Wilhite 2007).

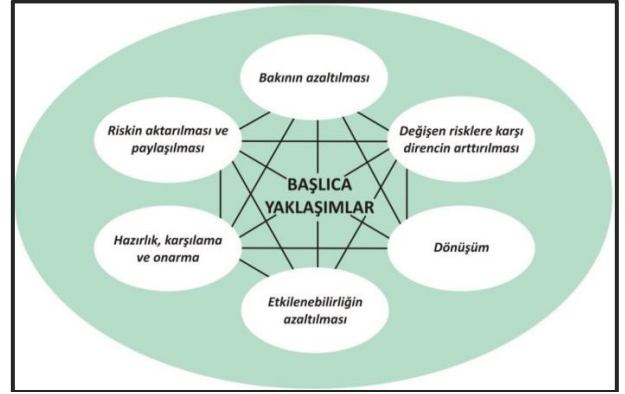
Hava ve iklim ekstremleri ve afetleri açısından **afet risk yönetiminin** başlıca öğeleri, atmosferdeki birikimleri Sanayi Devrimi'nden beri sürekli artmakta olan sera gazı salımları yoluyla insan kaynaklı iklim değişikliğine neden olan ve onu yakından denetleyen **kalkınma paradigması** dikkate alınarak, Şekil 1'de verilmiştir. Bu yaklaşımda, **etkilenebilirlik** ve **bakı** etmenlerini doğrudan etkileyen ve yakından denetleyen **kalkınma** (afet risk yönetimi ve iklim değişikliği uyumu) ile hava ve iklim ekstremleri ve afetlerinin oluşmasına neden olan, onları doğrudan etkileyen ve yakından denetleyen **İklim** (doğal ve insan kaynaklı iklim değişikliği ve değişkenliği) arasındaki ilişkiler ve etkileşimler dikkate alınmaktadır. Risk yönetimi birbiriyle yakından bağlantılı ancak ayrılmayı gerektirecek kadar da farklı olan başlıca iki alt bölüme ya da bileşene ayrılır. Bunlar, **Afet Risk(inin) Azaltımı** ve **Afet Yönetimi** kavramlarıdır.

**Afet Risk(inin) Azaltımı**, hem bir politik amaç ya da hedefi, hem de gelecek afet riskini öngörmek, sosyal, ekonomik, doğal (fiziki

coğrafya), ekolojik ya da çevresel sistemlerin var olan baki, afet ya da etkilenebilirlik düzeylerini azaltmak ve dayanıklılık ya da dirençlerini arttırmak için geliştirilen stratejik ve teknolojik önlemleri kapsar (Şekil 2). Ayrıca o, toplumun, geçim koşullarının ve varlıklarının etkilenebilirlik düzeylerinin azaltılması ile toprak, hava ve su ile doğal çevrenin öteki bileşenlerinin uygun sürdürülebilir yönetiminin sağlanmasını da içerir. **Afet Yönetimi**, çeşitli örgütsel ve sosyal düzeylerde, **Afete Hazırlık** ve **Afete Müdahale** (Afeti Karşılama ve Yanıtlama) uygulama ve eylemlerini destekleyen ve geliştiren strateji, politika ve önlemlerin tasarımı, yürütülmesi ve gözden geçirilmesi ya da değerlendirilmesine yönelik planlı, düzenli ve örgütlü sosyal düzenek ve süreçlerin tümünü kapsar (Şekil 2 ve 3).

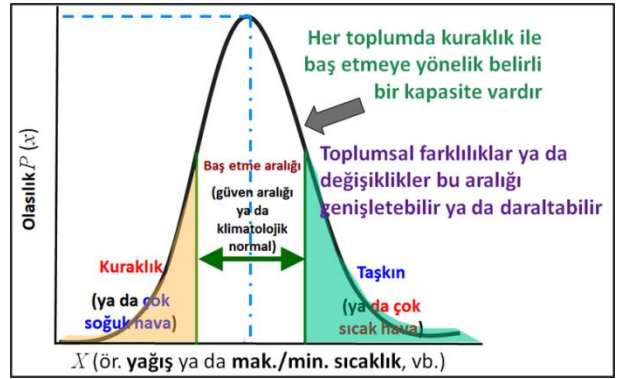
**Afet yönetimi düzenek ve süreçleri**, afet olayının acilliği belirginleşir belirginleşmez hemen devreye girer ve kaynaklar, kapasite ve olanaklar etki yaşanmadan önce ve etkiyi izleyen zamandaki girişimlerin yapılmasını sağlayacak ve önceden belirlenmiş bir yerde toplanır. Bu süreç, erken uyarı sistemlerinin, acil durum planının, acil müdahalenin (şiddetli stres ve olağandışı koşullar altında kritik insani gereksinimleri karşılamaya yönelik etki sonrası acil yardım ve destek) ve son olarak onarım ve iyileştirmenin etkinleştirilmesini içerir (Şekil 2). Afet yönetimi, devam eden afet risk azaltım süreçlerinin yeteri kadar baş edemeyeceği ve azaltamayacağı ya da tümüyle önleyemeyeceği **'kalıntı' afet risklerinin** varlığı nedeniyle de gerekli bir sistemdir.

Şekil 3'te, iklim değişikliği koşullarında (hava ve iklim ekstremleri ve afetleri), afet riskini denetim altında tutmak, azaltmak ve kalan afet risklerine karşı direnci ya da afetle baş edebilme kapasitesini (Şekil 4) arttırmak için yararlanılabilecek olan uyum ve afet risk yönetimi yaklaşımları gösterilmiştir. Uygulamada bu yaklaşımlar birleştirilebilir ve eşzamanlı olarak yürütülebilir.



Şekil 3- İklim değişikliği koşullarında iklim ekstrem ve afet risklerini denetim altında tutmak, azaltmak ve zamanla değişebilecek olan kalan afet risklerine karşı direnci arttırmak için yararlanılabilecek olan uyum ve afet risk yönetimi yaklaşımları (IPCC 2012'ye göre yeniden düzenlenerek ve çizilerek, Türkeş 2013d'den).

Figure 3- Adaptation and disaster risk management approaches for reducing and managing disaster risk in a changing climate (Re-arranged and re-drawn according to IPCC 2012). This wide range of complementary adaptation and disaster risk management approaches can be used to reduce risks of climate extremes and disasters and increase resilience to remaining risks as they change over time.



Şekil 4- Afet risk yönetimi planlarında afet ve felaketlerden (ör. burada kuraklıktan ya da taşkından) çok soğuk ya da çok sıcak havadan, soğuk hava baskını ya da sıcak hava dalgalarından, vb.) etkilenebilirliğin önemli ve belirleyici bir etmen oluşunun bir standart normal olasılık dağılım eğrisinden yararlanarak istatistiksel olarak şematik gösterimi (Türkeş, 2015).

Figure 4- Statistical schematic representation of hazard/disaster vulnerability in the disaster risk management plans as an important and determinant factor by using a standard normal probability distribution curve (Türkeş, 2015).



#### 4. Kuraklık Afeti Tehlikelerinin Belirlenmesinde ve Değerlendirilmesinde Yararlanılan Gösterge ve İndisler

Karmaşık bir süreç olan kuraklığı belirlemek ve nitelendirmek (şiddeti/büyüklüğü, süresi, sıklığı ve coğrafi dağılışı) için, çok sayıda klimatolojik, meteorolojik ya da hidrolojik indikatör (gösterge) ve indis kullanılır. Kuraklığın nitelendirilmesi, kuraklık tanımlama yöntemlerinin ve/ya da kuraklık indislerinin doğru seçilmesini gerektirir (Türkeş, 2012a, 2012b, 2013b, 2013c, 2014). Kuraklık yöntem, yaklaşım ya da indisleri, kurak koşulların ortaya çıkışını ve evrimini çok açık bir biçimde tanımlayabilir. Ayrıca, bunların her birisi, kendine özgü niteliklere sahiptir ve genel olarak birbirlerini desteklemektedir.

Konuya ilişkin ayrıntılı değerlendirme ve tartışmalar, temel olarak (Türkeş, 2012b, 2013b, 2013c, 2014)'in çalışmalarına dayanarak aşağıda verilmiştir:

##### 4.1. Gösterge ve indislerin tanımlanması ve başlıca özellikleri

**İndikatör** (gösterge), çeşitli özellik ve düzeylerdeki verilerin, halkın verilerin halkın ve karar vericilerin kullanması ve yorumlaması amacıyla ilişkili bilgiye dönüşmesinde önemli rol oynayan bir araçtır. **İndikatörler** çeşitli istatistik ve çözümlemeler aracılığıyla, bir konu, olay, problem ve sürece ilişkin var olan veri, koşul, özellik ve eğilimlerin kolay ve doğru bir biçimde karar vermede kullanılabilir bir birleşimini sağlar.

Genel olarak kuraklık göstergeleri aşağıda verilenleri içerir:

- Yağış, hava sıcaklığı, bağıl nem, buharlaşma, evapotranspirasyon, Güneş ışınımı, güneşlenme, rüzgâr, vb. iklim değişkenleri,
- Hazne, göl ve baraj seviyeleri,
- Toprak nemi (tarla kapasitesi, toprak su tutma kapasitesi ya da yarayırlı toprak su içeriği, vb.)
- Yeraltı suyu (akifer seviyeleri, vb.),
- Kar örtüsü ve kalınlığı,
- Akarsu akımı,
- Vejetasyon,

- Mevsimlik ve uzun süreli model öngörülere, vb.

Kuraklık göstergeleri, tüm kuraklık çeşitlerini (meteorolojik kuraklık - normal yağış koşullarından negatif sapma; hidrolojik kuraklık - normal hidrolojik koşullardan negatif sapma; tarımsal kuraklık - ürünün büyümesi için gerekli olan normal toprak nemi koşullarından negatif sapma; sosyoekonomik kuraklık - toplumsal gereksinimleri karşılamada kullanılan su varlığının normal düzeyinden negatif sapması ya da normal düzeyinin altına inmesi) tanımlamak için kullanılabilir.

**İndis** ise, bir doğal olaya ve sürece ya da sosyoekonomik etkinliğe ilişkin olarak toplanan bir grup veriyi tek bir temel sayıda özetleyen istatistiksel araç ya da değerdir. Bu yüzden, bir indis bazen ölçeklendirilmiş bir birleşik değişken olarak da tanımlanabilir. Klimatoloji açısından, bir kuraklık olayının şiddetini ve süresini niceliksel olarak belirleyen standartlaştırılmış ya da normalleştirilmiş yağış, kuraklık ya da yağış etkinliği indisleri; insanların sıcak ya da soğuk, nemli ya da kuru koşulları hangi ölçüde hissettiklerinin olabildiğince nesnel olarak belirlenmesi için niceliksel bir ölçü koyan iklimsel insan rahatlığı (konfor) indisleri, konuya ilişkin başlıca örnekleri oluşturur. Her indisin kendine özgü ve belirli bir bilimsel, teknik ve/ya da uygulama amacıyla geliştirilmiş olan hesaplama metodolojisi vardır ve indisler çoğunlukla bir temel değere göre oluşan değişiklikler açısından açıklanır.

##### 4.2. Kuraklık indisleri ve kuraklık türleri

###### 4.2.1 Kuraklık ve yağış etkinliği indisleri neleri karşılamalıdır?

1. Var olan meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal gözlem ve ölçüm sistemlerinden sağlanan veriler kullanılarak hesaplanabilmelidir;
2. Kuraklığın etkilerine açık sosyal, ekonomik ve ekolojik sistemler ile öncelikli ve doğrudan bir ilgisi bulunmalıdır;
3. Bilgi kaybı en az olmalıdır;
4. Aşırı (çok düşük ya da yüksek) nitelendirme ve öngörü yapmamalıdır;

5. Aynı zamanda, izleme, erken uyarı ve öngörü için kullanılabilir.

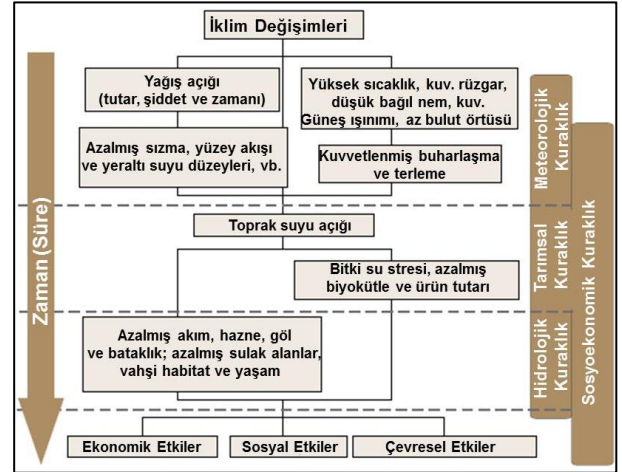
#### 4.2.2 Kuraklık ve yağış etkinliği indislerinin yararları

1. Tarihsel kayıtlardaki meteorolojik, hidrolojik ya da tarımsal kuraklık dönemlerinin doğru nitelendirilmesini sağlar.
2. Doğru bir kuraklık nitelendirilmesi ise, karar vericileri, tarihsel iklim değişikliği ve değişkenliğinin olağan dışılığı ve bir coğrafi alan üzerindeki etkilerinin ortaya konulması açısından nesnel bir ölçü olarak destekler.
3. Kuraklık izlemesi, gelişmekte olan olası bir kuraklığın uyarısını yapmanın yanı sıra, bilimsel ve nesnel bir kuraklık bildirisi aracılığı ile şiddetli su kıtlığını ve sıkıntısını olabildiğince önlemek için yeterli ve gerekli bilgiyi sağlar

#### 4.2.3 Kuraklık tür ve tanımları

Kuraklık afetinin çevresel boyutunun yanında, ekonomik ve toplumsal boyutları da vardır. Toplumların ekonomisi, sağlığı, psikolojisi ve ticareti kuraklıkla ilişkilidir. Kuraklıklar dünyada etkisini gittikçe arttırmasına karşın, onların doğası ve oluşum düzenekleri henüz tam olarak anlaşılmamış ve etkileri yeterince değerlendirilmemiştir. Bu nedenle kuraklığın kesin bir tanımı da yapılamamıştır. Yapılan tanımlar daha çok mesleklere, uygulama alanlarına, ülkelere ve hatta iklim bölgelerine göre oluşmuştur. Başka bir deyişle her meslek, ülke ya da kuruluş kuraklığı kendi açısından değerlendirmiş ve tanımlamıştır.

En yaygın kuraklık tanımlamaları, meteorolojik, hidrolojik, tarımsaldır (Şekil 5). Bunları atmosferik, klimatolojik, coğrafi ya da endüstriyel, ekolojik, ormancılık ve orman yangınları, enerji üretimi ve su kaynakları gibi diğer tanımlamalar izlemektedir. Fiziki Coğrafyacı, Klimatolog ve Meteorologlar, yağış, sıcaklık, nem, buharlaşma, buharlaşma-terleme, radyasyon şiddeti vb. büyüklükler açısından; su kaynakları mühendisleri, akarsular, yeraltı suları, su biriktirme haznelere, göller açısından; Tarımcılar bitkisel ve hayvansal üretim açısından; Beşeri Coğrafyacılar ve Ekonomistler ise insanların yaşamı, sosyal ve ekonomik etkileri açısından kuraklığı incelemiş ve incelemektedir.



Şekil 5- Meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik kuraklıklar arasındaki ilişkilerin Çizimsel Gösterimi (NDMC-University of Nebraska'a göre Türkeş (2013bc) tarafından değiştirilerek yeniden düzenlendi).

Figure 5- Schematic representation of the relationships between meteorological, agricultural, hydrological and socio-economic droughts (Re-arranged and re-drawn from the NDMC-University of Nebraska).

Kuraklık çalışmalarında özellikle beklenen kuraklığın süresi, büyüklüğü ve yinelenme sıklığını bilmek gereklidir. Bu nedenle kuraklık süresi, sıklığı, şiddeti/büyüklüğü ve kapladığı alan (coğrafi etki alanı ve dağılım desenleri, vb.) gibi kuraklık özelliklerinin net olarak belirlenmesi ve bunlar dikkate alınarak gerekli çalışmaların planlanarak yapılması son derece önemlidir. Kuraklık uzun süreli, geniş alanlı ve şiddetli olduğunda klimatolojik kökenli bir doğal afet olarak kabul edilir. Bu tür kuraklıklar tarım, orman ve hayvancılığı, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarını, sucul ekosistemi çok olumsuz etkiler. Türkiye'de kentlerdeki içme ve kullanım suyu, tarım ve hidroelektrik enerji sektörleri, kuraklıktan etkilenen sektörlerin başında gelmektedir (Türkeş ve Yıldız, 2014).

Kuraklığın frekans, şiddet/büyüklük, süre ve etki alanı en önemli niteliklerini oluştururken, en önemli özellikleri ise başlangıç ve bitişinin belirsiz oluşu, etkisinin kümülatif artması ve etkinin özellikle kuraklık olayının ve felaketinin gerçekleştiği coğrafi alandaki sosyoekonomik etmenlere ve kısmen de fiziksel coğrafya koşullarına göre farklılaşması ya da değişiklik

göstermesi, aynı anda birden fazla kaynağa etki etmesi, ekonomik boyutunun yüksek olması şeklinde sıralanabilir. Klimatolojik kuraklık (arid ya da kurak bölge ve yaz kuraklığı) ayrı tutulmak üzere, yeryüzünün tüm iklim bölgelerinde ve yılın her zamanında oluşabilen kuraklık olayları, son yıllarda aşağıda verilen dört başlık altında ele alınmaktadır (Şekil 5):

#### 4.2.3.1. Meteorolojik kuraklık

Kısaca, yağış toplamlarının belirli bir zaman döneminin uzun süreli ortalamalarından, ortancasından (medyan) ya da normalinden (en az 30 yıllık) oluşan sapma olarak tanımlanır. Bu tanımlama genellikle bölgeseldir ve bölgesel klimatolojinin tam olarak anlaşılması temeline dayanır. Kuraklığın açıklanmasında en yaygın kullanılan gösterge klimatolojik/meteorolojik ve hidrolojik ölçümlerdir (Şekil 5).

#### 4.2.3.2. Tarımsal kuraklık

Kök bölgesindeki toprak neminin/suyunun bitkinin büyüüp gelişmesi için yeterli olmadığı durum tarımsal kuraklık olarak ifade edilebilir (Şekil 5). Özellikle büyüme periyodu boyunca, bitkinin suya en hassas olduğu dönemde bitki için toprakta yeterli nemin olmadığı koşulda tarımsal kuraklık oluşur. Tarımsal kuraklık meteorolojik kuraklıktan sonra ve hidrolojik kuraklıktan önce ortaya çıkabilir. Tarımsal kuraklıkta bitki kök bölgesi dikkate alınır. Yağış eksikliğinin etkilerinin artması, sıcaklıkların yükselmesi, bağıl nemin düşmesi ve bunlara ek olarak, kurutucu rüzgârların etkili olması sonucunda katlanarak artar.

#### 4.2.3.3. Hidrolojik kuraklık

Uzun bir süre yağış eksikliği sonucunda ortaya çıkan yüzey ve yeraltı su rezervlerindeki azalma, hidrolojik kuraklık olarak adlandırılır (Şekil 5). Başlıca yüzey su kaynakları olarak nitelendirilen nehirlerin akım ölçümleri, göl ve diğer su biriktirme yapılarının rezerv ölçümleri, yeraltı su seviyesi ve rezerv ölçümleri izlenebilir ölçümler sunar. Yağış eksikliği ile akarsu ve rezervuarlardaki (hazne) su eksikliği arasında zamana bağlı doğrudan bir ilişki olduğu için, hidrolojik ölçümler kuraklığın ilk göstergelerinden değildir. Yaşanan her hangi bir meteorolojik kuraklık son bulduktan sonra bile, hidrolojik kuraklık, kuraklığın etkili olduğu bölgenin fiziki

coğrafya (topografya, iklim, vejetasyon, hidrografya ve hidroloji) ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişen gecikme süreleriyle birlikte varlığını uzun bir süre sürdürebilir.

#### 4.2.3.4. Sosyoekonomik kuraklık

Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar, hem kuraklığın şiddeti ve süresi arttıkça ve sistemin (tarım, enerji, ekolojik, kentsel ve sosyoekonomik, vb.) kuraklığa karşı açık olma ve etkilenme düzeyi yükseldikçe, hem de kuraklık risk yönetimi ve kuraklık yönetimi planlarının bulunmaması ya da bulunsa bile iyi çalışmaması durumunda, sonuçları açısından sosyoekonomik kuraklığa dönüşebilmektedir (Şekil 5).

### 5. Türkiye'nin Kuraklık Afeti Etkilenebilirlik Çözümü ve Değerlemesi

Bu konunun ayrıntılı bir değerlendirmesi ve metodolojisi, önceki bölümlerde verildiği için, burada temel olarak, etkilenebilirlik analizleri için gerekli olan **Fiziksel Bakı** (burada **Kuraklık Olayı ve Standartlaştırılmış Yağış İndisi, SPI**, vb.) indislerine ve **İnsan** ya da **Toplumsal Etkilenebilirlik** (ör. **Sosyal Etkilenebilirlik İndisi, SEİ**) analiz ve değerlemelerine temel oluşturacak olan sosyoekonomik ve kuraklıktan etkilenmişlik için kullanılacak olan bilgi ve veriler ele alınacaktır. Belirlenen her bir algoritma için gereksinim duyulan her bir veriye ait tanım ve toplama/derleme yaklaşımları aşağıda verilen alt bölümlerde ayrıntılı olarak tanımlanmış ve açıklanmıştır.

#### 5.1. Kuraklık etki, etkilenebilirlik ve risk çözümlerinde kullanılan kuraklık indisleri

Bir yöreye uygun kuraklık indisi, yörenin jeomorfolojik, klimatolojik, hidrolojik, ekolojik ve toprak özellikleri ile etkili olan kuraklığın ve ekonomik etkinliğin türüne göre seçilebilir. Bazı indisler izleme açısından, bazıları ise tarihsel kuraklık olaylarının çözümlenmesi açısından daha uygun olabilir. Bu nedenle birbirlerine göre bazı üstünlükleri ve zayıf yönleri bulunan birkaç indisi ya da göstergeyi birlikte kullanmak, kuraklığın nitelendirilmesi ve sonuçlarının karşılaştırılması açısından daha yararlı olabilir.

Tablo 1- Çeşitli kuraklık indisleri, işlevleri ve kullanım alanları (asıl olarak Türkeş, 1999, 2010, 2012a, 2013abc; Türkeş ve Tatlı, 2009, 2011, vb. bilimsel çalışmalara dayanarak düzenlendi).  
 Table 1- Functions and areas of usage of the various drought indices (arranged mainly based on the scientific literatures of Türkeş, 1999, 2010, 2012a, 2013abc; Türkeş and Tatlı, 2009, 2011, etc.)

İndis	Meteorolojik kuraklık	Tarımsal kuraklık	Hidrolojik kuraklık	Klimatolojik kuraklık	Agrohidrolojik çalışmalar	İklim senaryoları	Tarihsel çözümlenmeler	Risk çözümlenmeleri	İzleme, öngörü
Standartlaştırılmış Yağış İndisi ( <i>SPI</i> )	x		x						x
Normal Yağışın Yüzdesi İndisi ( <i>PNPI</i> )	x	x							
Medyan Yağışın Yüzdesi indisi ( <i>PMPI</i> )	x		x						x
Palmer Kuraklık şiddet İndisi ( <i>PD5/</i> )	x	x	x				x	x	x
Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi ( <i>PHDI</i> )	x	x	x						x
Palmer Nem Anomali ya da Z İndisi ( <i>ZNDX</i> )	x	x			x				
Su Kullanım İndisi			x					x	

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ayrıntılı literatür değerlendirmesi sonucunda (Türkeş, 2015), meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık türleri için ulusal ve uluslararası ülke uygulamalarında, projelerinde ve hakemli bilimsel çalışmalarda kabul görmüş kuraklık indislerinden Türkiye koşullarına uygun ve verileri ve/ya da hesaplanmış biçimleri büyük ölçüde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde (MGM) bulunabilecek olanları belirlenmiş (Tablo 1) ve bu makalede bunların üçü açıklanmıştır:

1. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (*SPI*)
2. Palmer Kuraklık İndisleri
  - a) Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (*PDSI*)
  - b) Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi (*PHDI*)
  - c) Palmer Nem Anomali İndisi (*Z* İndisi)
3. Normal Yağışın Yüzdesi İndisi (*PNPI*)
4. Ortanca Yağışın Yüzdesi İndisi (*PMPI*)
5. Su Kullanım İndisi (*WEI*)

### 5.1.1 Standartlaştırılmış yağış indisi

Yalnız yağış verisine (aylık, mevsimlik, yıllık toplam yağış dizileri, mm) dayanarak hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (*SPI*),

kuraklığın izlenmesi amacıyla, McKee ve ark. (1993) tarafından geliştirilmiş olan önemli bir kuraklık izleme aracıdır. *SPI* kuraklık sınıfları, standart normal dağılımlı (Gaussian) yağış dizilerinden edilir. Oysa yağış dizilerinin olasılık dağılım fonksiyonu (*ODF*) genelde normal dağılıma uymaz.

Bu yüzden, birinci adımda ham yağış verilerinin *ODF*'sinin *gama ODF*'ye dönüştürülmesi gerekir (McKee ve ark., 1993, 1995; Wilks, 1995; Guttman, 1998, 1999). Thom (1966), yağış verilerine en iyi uyan olasılık dağılımının *gama dağılımı* olduğunu belirtmiştir. *Gama Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF)* aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$f(y) = \frac{(y/\beta)^{\alpha-1} \exp(-y/\beta)}{\beta\Gamma(\alpha)}, \quad y, \alpha, \beta > 0 \quad (10)$$

Burada,  $\alpha$  ve  $\beta$ , sırasıyla *gama OYF*'nin *şekil* ve *ölçek* parametreleri ve  $\Gamma(\alpha)$  ise *gama* fonksiyonudur. *Gama* fonksiyonu,  $\Gamma(\alpha)$ ,

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (11)$$

şeklinde tanımlıdır.

*Gama olasılık yoğunluk fonksiyonunun şekil ve ölçek parametreleri,  $\bar{y}$  ve  $\bar{g}$ , sırasıyla yağış verisinin aritmetik ve geometrik ortalamalarını temsil etmek üzere, aşağıdaki eşitlikler ile yaklaşık olarak hesaplanır (Thom, 1966; Wilks, 1995):*

$$\left. \begin{aligned} D &= \ln(\bar{y} / \bar{g}) \\ \hat{\alpha} &= \frac{1 + (1 + 4D/3)^{1/2}}{4D} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{y}}{\hat{\alpha}} \quad (13)$$

Yukarıda verilen yaklaşım ile kestirilen *şekil parametresi*, Erlang yaklaşımı olarak da bilinen yöntemle düzeltilir (Bowman ve Shenton 1988). Toplam yağış tutarı verilerine uyan teorik *Gama Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun* (OYF) integrali, başka bir deyişle yağışın *Olasılık Dağılım Fonksiyonu* (ODF), Press ve ark. (1992) tarafından önerilen sayısal integrasyon yaklaşımıyla elde edilir.

İkinci adımda, gama ODF'den gelen yağış olasılıklarından, *ters standart normal dağılım fonksiyonu* kullanılarak, "normalleştirilmiş" *standart yağış dizileri* elde edilir. Bu yolla, ortalaması sıfır (0) ve varyansı (değişkesi) bir (1) olan standartlaştırılmış bir yağış indisi hesaplanmış olur.

Tablo 2- Yağışlı ve kurak (kuraklık/nemlilik) koşulların *Standartlaştırılmış Yağış İndisi* (SPI) yaklaşımına göre sınıflandırılması.  
Table 2- Classification of the rainy and wet (drought/wetness) conditions in terms of the Standardized Precipitation Index (SPI) approach.

STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ İNDİSİ (SPI)	YAĞIŞ (KURAKLIK/NEMLİLİK) SINIFI
2 ve üzeri	Aşırı nemli ( <i>extremely wet</i> )
1.5 – 1.99	Çok nemli ( <i>very wet</i> )
1 – 1.49	Orta düzeyde nemli ( <i>moderately wet</i> )
0.5 – 0.99	Normale yakın nemlice ( <i>near-normal wet</i> )
<b>-0.499 – 0.499</b>	<b>Normal (normal)</b>
-0.5 – -0.99	Normale yakın kurakça ( <i>near-normal dry</i> )
-1 – -1.49	Orta düzeyde kurak ( <i>moderately dry</i> )
-1.5 – -1.99	Şiddetli kurak ( <i>severely dry</i> )
-2 ve altı	Aşırı kurak ( <i>extremely dry</i> )

Üçüncü adımda ise, bulunan *SPI* değerleri, Tablo 2'deki eşik değerler dikkate alınarak; McKee ve ark. (1993)'nin önerdiği kuraklık/nemlilik sınıflarına dönüştürülerek, alt-kuraklık/nemlilik sınıfları elde edilir. *SPI* değerleri, Şekil 5'teki eşik değerler temel alınarak, *aşırı kurak, şiddetli kurak, orta düzeyde kurak, normale yakın kurakça, normal* ya da normal sınıfı genişletilerek (ör.  $\pm 1$  *SPI* aralığında kalan değerler için) *normale yakın* sınıflarına ayrılabilir (bkz. Tablo 7).

### 5.1.2 Palmer kuraklık indisleri

Palmer yönteminin hesaplama süreci, klimatolojik toprak su/nem dengesi ile başlar. Klimatolojik Toprak Su Dengesi, genel olarak haftalık ya da aylık toplam yağış (*P*), haftalık ya da aylık ortalama hava sıcaklığı (*T*) ve çalışılan alan ya da bölge için bir sabit olan Tarla Kapasitesindeki Toprak Su İçeriği (Topraktaki Su Varlığı) ya da Toprak Su Tutma Kapasitesi (WHC) verilerine dayanır. Yöntemin uygulanmasında, tarla kapasitesindeki su içeriğinin (toprağın su

tutma kapasitesi) gerçek koşullara yakın ya da doğru bilinmesi çok önemlidir.

**Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)** programı, Birleşik Devletler Ulusal İklim Veri Merkezi (US National Climatic Data Center, US/NCDC) tarafından aylık *PDSI* indislerini hesaplamak amacıyla geliştirilmiş olan bir FORTRAN programına dayanır (<http://nadss.unl.edu>). *PDSI* programı, orijinal aylık Palmer indislerini (*PDSI*), diğer Palmer ilişkili indis ve parametreleri (ör. **Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi- PHDI**, **Palmer Nem Anomali İndisi** ya da **Palmer Z Indisi- ZNDX** ve *PET* ile birlikte **Thorntwaite su bilançosunun öğeleri**, vb.), aylık olarak hesaplayabilir. Programa ilişkin en güncel bilgi ve belgelere, "<http://nadss.unl.edu/info/>" adresinden ulaşılabilir.

Palmer (1965) tarafından birlikte geliştirilmiş olan **Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)** ve **Palmer Nem Anomali İndisi (Palmer Z Indisi, ZNDX)**, günlük ortalama hava sıcaklığı ve günlük toplam yağış dizileri ile tarla kapasitesindeki toprak su içeriği (*AWC* ya da Toprak Su Tutma Kapasitesi, *WHC*) bilgilerini gerektiren bir toprak nem/su dengesi algoritması kullanılarak çalıştırılan kapsamlı bir kuraklık belirleme, değerlendirme ve izleme yöntemidir. Yöntemin uygulanmasında, üst ya da yüzey toprağını iki katmana ayırarak (Üst Toprak Katmanı-  $S_{UL}$  ve Alt Toprak Katmanı-  $S_{LL}$ ) toprakta nem/su depolanmasını (birikmesini) hesaplamak amacıyla ampirik bir yaklaşım kullanılır. Bu yaklaşımda, üst toprak ( $S_{UL}$ ) katmanında tarla kapasitesinde 25 mm su içeriği (Üst toprak katmanının ( $S_{UL}$ ) Tarla Kapasitesindeki Toprak Su Tutma Kapasitesi (*WHC*),  $S_{ULWHC} = 25$  mm) bulunduğu, toprak neminin/suyunun üst toprak katmanı doyuncaya kadar alttaki 2'nci toprak katmanına geçmediği, yüzey akışının her iki toprak katmanı doyuncaya kadar oluşmadığı ve üst toprak katmanından ( $S_{UL}$ ) olan evapotranspirasyon (*PET*) yoluyla nem/su kaybının daima 'potansiyel oranda' gerçekleştiği gibi birçok önemli kabul vardır. Toprağın alt katmanındaki kullanılabilir su tutarı, bitki köklerinin etkin kök derinliğine ve toprak özelliklerine bağlıdır.

Alt toprak katmanının toprak su içeriği ya da su depolama kapasitesi ise ( $S_{llWHC}$ ), bu durumda, kuramsal olarak  $S_{llWHC} = WHC - 25$  mm olur. Alt

toprak katmanından olan nem/su kaybı, *hem başlangıçtaki nem koşullarına* (havanın uzun süreli ortalama ya da normal koşullardan daha yağışlı ya da daha kurak, daha sıcak ya da daha soğuk, vb. olması gibi) *hem de hesaplanan PET'e ve her iki katmanın birleşik Tarla Kapasitesindeki Toprak Su İçeriğine* (Toprak Su Tutma Kapasitesi) yakından bağlıdır. Bu koşullar altında, *PET*'in ancak yağışı (*P*) aştığı (yağışın *PET* ile olan nem/su kaybını karşılamadığı) ve *PET* – *P* arasındaki farkın yüzey katmanında depolanan 25 mm'yi geçtiği aylarda, alt toprak katmanında buharlaşma yoluyla su kaybının oluşacağı beklenir. Ayrıca, yine kuramsal olarak, yüzey akışının, yalnız her iki toprak katmanının kendi birleşik toprak nem/su kapasitesine ulaşması koşuluyla oluştuğu kabul edilir.

Palmer yöntemi "WHC bilgilerini gerektiren bir toprak nem/su dengesi algoritması" kullandığı ve *WHC* değişimine karşı çok duyarlı olduğu için, Palmer kuraklık indislerinin kuraklık çalışmalarında uygulanmasında, topografik/mikro klimatolojik (yeryüzü şekilleri, bakı, yükselti, eğim, vb.), arazi kullanımı/örtüsü/vejetasyon ve toprak tür çeşitliliğinin çok değişken olması, kuraklık, belirleme, değerlendirme ve izleme çalışmaları ile mevsimlik öngörülerde düşük ya da yüksek değerlendirme ve/ya da kestirimlerin yapılmasına yol açabilir.

"Topraktan, açık su yüzeylerinden (buharlaşma) ve bitki örtüsünden (terleme) atmosfere yönelik su kaybına karşılık gelen birleşik sürece evapotranspirasyon (buharlaşma-terleme) (*ET*)" adı verilir (Türkes, 2010). Başka bir deyişle, "toprak ve açık su yüzeylerinden buharlaşma (*E*) ve bitkilerden terleme (*T*) yoluyla gerçekleşen toplam su kaybı, evapotranspirasyon (*ET*)" olarak tanımlanır. İdeal toprak nemi, bitki örtüsü ve atmosfer koşulları altında gerçekleşen potansiyel evapotranspirasyon (*PET*) ise, "her zaman yeteri kadar sulu, etkin olarak büyüyen (çok canlı) ve kısa yeşil bitkilerle (çim, vb.) tümüyle kaplı yüzeylerden gerçekleşen evapotranspirasyon" olarak tanımlanır (Türkes, 2010).

Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (*PDSI*) ve Palmer Z İndisi (Palmer *ZNDX*) hesaplamalarında kullanılan *PET* tutarları, Thorntwaite (1948) yöntemi ile elde edilir. *PDSI* için gerekli olan referans ortalama hava sıcaklığı değerleri (sıcaklık

normalleri) ise, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonlarının iklim normallerinden (örneğin 1971-2000 yılları arasındaki 30 yıllık verilerinden) yararlanılarak hesaplanabilir.

PDSI'yi hesaplamak için gerekli olan değişken, katsayı ve parametreler belirlendikten sonra, PDSI değerleri her *j*-inci ay için Eşitlik (14) kullanılarak ardışık olarak elde edilir.

$$X_j = \frac{1}{3} Z_j + 0.897 X_{j-1}, X_{-1} = 0 \quad (14)$$

Bu denklemde, *X* sembolü PDSI'yi temsil eder. Hesaplan PDSI değerleri, Şekil 8'de verilen ve temel olarak Palmer (1965) tarafından önerilen kuraklık sınıflarına dönüştürülür. Palmer'ın orijinal kuraklık/nemlilik şiddeti sınıflamasında, "normal" sınıfı dardır ve ± 0.5 aralığında yer alır (Tablo 3).

Tablo 3- Kuraklık olaylarının ve nemli koşulların, Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) yaklaşımına göre ve orijinaline uygun sınıflandırılması.

Table 3- Original classification of the rainy and wet (drought/wetness) conditions in terms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) approach.

PDSI (X) İNDİSİ	YAĞIŞ (KURAKLIK/NEMLİLİK) SINIFI
4.00 ve üzeri	Aşırı nemli
3.00 - 3.99	Çok nemli
2.00 - 2.99	Orta nemli
1.00 - 1.99	Biraz (Hafif) nemli
0.50 - 0.99	Başlangıç evresindeki nemli dönem
<b>0.49 - -0.49</b>	<b>Normal</b>
-0.5 - -0.99	Başlangıç evresindeki kuraklık (kurak dönem)
-1.00 - -1.99	Biraz (Hafif) kurak
-2.00 - -2.99	Orta kurak
-3.00 - -3.99	Şiddetli kurak
-4.00 ve altı	Aşırı kurak

Tablo 4- Kuraklık olaylarının ve nemli koşulların, Normal Yağışın Yüzdesi İndisi (PNPI) yaklaşımına göre sınıflandırılması (Türkiye için genel bir sınıflandırma).

Table 4- Classification of the rainy and wet (drought/wetness) conditions in terms of the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI) approach.

SINIF AÇIKLAMASI	PNPI SINIFLARI
Aşırı nemli	%210'dan büyük
Çok nemli	%175 - %210
Orta nemli	%150 - %175
Normale yakın nemlice (az yağışlı)	%120 - %150
<b>Normal</b>	<b>%80 - %120</b>
Normale yakın kurakça (biraz kurak)	%80 - %50
Orta kurak	%50 - %25
Şiddetli kurak	%25 - %5
Aşırı kurak	%5'den küçük

### 5.1.3 Normal yağışın yüzdesi indisi

Normal Yağışın Yüzdesi İndisi (PNPI), güncel yağış toplamının uzun yıllar ortalamasına (genellikle 30 yıllık normaller kullanılır) bölünür

100 ile çarpılmasıyla bulunur. Normal Yağışın Yüzdesi İndisi kullanılarak yapılan kuraklık çözümü, tek bir bölge ve tek bir ay ya da mevsim için kullanıldığı zaman yararlı olmaktadır.

Bu indis farklı zaman ölçeklerinde de hesaplanabilir. Bu zaman dilimi bir ay, bir mevsim ya da bir yıl olabilir. Meteorolojik ve tarımsal kuraklıkla ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır. Başlıca sakıncaları, normal dağılım göstermemesi, çok ya da şiddetli kurak koşullardan, özellikle sifıra yakın değerlerden ve hiç yağış düşmemesi (yağış 0 mm) ile sonuçlanan aşırı kurak koşullardan çok etkilenmesi ve bu durumda *SPI* gibi normal dağılıma dönüştürülmüş yağış indislerinin sonuçları ile karşılaştırılmasının zor ya da olanaksız olmasıdır.

Klimatoloji ve meteoroloji istasyonlarının uzun süreli aylık zaman dizileri, önce Palmer

kuraklık indisleri ve *SPI* için yapıldığı gibi 1971-2000 normal referans dönem alınarak, *Normal Yağışın Yüzdesi Indis* dizilerine dönüştürülebilir. Sonra normal dağılıma en uygun sınıf aralıklarını bulabilmek için, tüm istasyonların aylık *PNPI* dizilerinin klimatoloji olasılıkları, çok sayıda sınıflandırma için elde edilir. Bunlardan hem her ayın aylık hem de uzun süreli ardışık yıl/ay dizileri için elde edilen kuraklık/nemlilik koşullarının bir aylık *SPI* ile en fazla uyumlu olan *PNPI* sınıflandırması, en uygun sınıflandırma olarak seçilir ve uygulanabilir (Tablo 4).

Tablo 5- Hane halkının sosyoekonomik, demografik, azınlık/dil ve konut/taşınabilirlik durumlarına ilişkin indikatörleri içeren Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (*SEİ*) veri tabanı (Flanagan ve ark., 2011).

Table 5- Data-base for the Social Vulnerability Index (*SVI*) including those indicators related with the socioeconomic, demographic, minority/language and residence/labability states of the population.

		YOKSULLUK SINIRI
Sosyoekonomik Durum		İşsizlik
		Gelir
		Eğitim düzeyi
Hane Halkı Durumu ve Engellilik		65 yaş ve üstü
		17 yaş ve altı
		5 yaşından büyük engelli sayısı
		Tek ebeveynli konut
TOPLAM ETKİLENEBİLİRLİK		Azınlık
		İyi seviyesinden az İngilizce (Türkiye’de olsa Türkçe) konuşma
Azınlık Durumu ve Dil		Çok-birimli yapılar
		Taşınabilir/Mobil evler
		Araç olmaması
		Grup ikametgâhı
Konut ve Taşıma		

## 5.2. Kuraklıktan etkilenebilirlik faktörleri

*Kuraklık Afeti Etkilenebilirlik ve Risk Çözümleme ve Değerlemelerinin* yapılabilmesi için, başta “Kuraklık ilişkili tarımsal üretim kayıpları” ve “Kuraklıklardan etkilenmiş olan coğrafi alan birimindeki nüfus” gelmek üzere, çeşitli indikatör sınıfları ve indikatörlere (ekonomik, öğretim, demografik, ekonomik etkinlik, sağlık ve sağlık koruma, erken uyarı ve baş edebilme kapasitesi, kuraklık afetinden etkilenmişlik ya da etkilenme durumları) yaşamsal düzeyde gereksinim vardır (Türkeş, 2015). Ancak, bu çalışmada başta “Kuraklık ilişkili tarımsal üretim kayıpları” ve “Kuraklıklardan etkilenmiş

olan coğrafi alan birimindeki (ülke, bölge, bölüm, yöre, il, akarsu havzası, vb.) nüfus” gelmek üzere, indikatörlerin önemli bir bölümü sağlanamamıştır. Çalışma kapsamında sağlanan bilgi ve verilerin, bazı yeniden hesaplama ve kestirimlerle birlikte, etkilenebilirlik ve risk çözümleme ve değerlemelerinde kullanılabilecek olanları Tablo 5’te ve 6’da bulunabilir.

Çalışmada afetten (kuraklık olaylarından) etkilenmiş nüfus ( $Pop_{EİŞ}$ ) sağlanamadığı için, Fiziksel Etkilenmişlik ( $FizEtŞ$ ) yerine, Kuraklık Riskinin kestirimi amacıyla içerisinde nüfus indikatörlerinin de yer aldığı bir **Sosyal Etkilenebilirlik İndisi** (*SEİ*) hesaplandı.



Tablo 6- Türkiye’de kuraklık afeti etkilenebilirlik çözümlemesi ve değerlemesi için hazırlanan, illerde hane halkının öğretim durumu, demografi, ekonomik etkinlik, halk sağlığı ve sağlık koruma ve baş edebilme kapasitesi ile doğal çevre durumlarına ilişkin indikatörleri içeren SEI verileri (başta TUİK gelmek üzere, çeşitli kaynaklardan elde edilebilir).

Table 6- Data-base for the SVI including those indicators related with the education, demography, economic activity, public health and health protection and coping capacity of the population, and natural environmental states, which was prepared for analysing and evaluating the drought disaster vulnerability of Turkey (accessible mainly from TUİK and other sources).

ETKİLENEBİLİRLİK SINIFI	İNDİKATÖR
Öğretim	Okuryazarlık (%)
	Nüfus artış hızı (%)
Demografi	Nüfus yoğunluğu (kişi/km <sup>2</sup> )
	Kırsal nüfusun toplam nüfus içindeki oranı (%)
	Nüfus değişim (göç) hızı (%)
	Kuru marjinal tarım
Ekonomik etkinlik (kısmen tarımsal arazi kullanımı)	Kuru mutlak tarım
	Sulu marjinal tarım
	Sulu mutlak tarım
	Bitkisel Üretim Değeri (%)
	Canlı Hayvan Değeri (%)
Sağlık, sağlık koruma ve baş edebilme kapasitesi	Belediyelerde sağlanan günlük su tutan (litre/kişi-gün)
	Yüzbin kişi başına düşen hastane yatak sayısı
	Nüfus sayısı (> 65 yaş)
	Nüfus sayısı (< 5 yaş)
	Ortalama hane halkı büyüklüğü
Doğal çevre (kısmen örtüsü)	Çayır
	Mera
	Orman

Türkiye’nin ‘Potansiyel’ Kuraklık Afet ve Felaketinden Etkilenme Riskinin hesaplanması için gerekli olan “Kuraklık Afet ve Felaketinden Etkilenebilirlik İndisi” kullanılmıştır. Bu indis geliştirilmesinde özellikle ABD ve Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde, kentlerin, sektörlerin ya da alt yapıların fırtına, kasırga, sel ve taşkın, hortum ya da tropikal fırtınaların neden olduğu ‘fırtına kabarması’ gibi doğal afetlerden etkilenebilirliklerinin belirlenmesi ve afet riskinin hesaplanmasında kullanılan Sosyal Etkilenebilirlik İndisi’nden (*Social Vulnerability Index, SVI*) yararlanıldı (ör. Rygel ve ark., 2006; Flanagan ve ark., 2011, vb.).

Tablo 6’da verilen indikatörlere dayanılarak ya da bu indikatörler dikkate alınarak kestirilen SEİ haritalarının hazırlanması, potansiyel olarak afetlerden etkilenebilir bölgelerin gösterilmesini ve **en düşükten en yükseğe doğru değerlemesinin**

**yapılmasını sağladığı için, afet döngüsü aşamalarında etkin bir biçimde kullanılabilir** (Şekil 2).

Türkiye’nin Kuraklık Afeti açısından SEİ’nin hesaplanmasında, sağlanabilen verilerin içerisinde iller bazında kullanıma ve hesaplama algoritmasına en uygun olan indikatörler seçilmiş, doğrudan kullanılamayacak olanlar (ör. okuryazarlık oranı, kırsal nüfus, vb.) ise, mantıksal basit işlemler yardımıyla kestirilmiştir. Bu kapsamda, okuryazarlık oranı, okuma yazma bilen kişi sayısının toplam nüfusa oranıyla; kırsal nüfus oranıysa, toplam nüfustan il ve ilçe nüfusu çıkarılarak bulunmuştur (Tablo 6).

### 5.3 Türkiye’nin kuraklıktan etkilenebilirliği ve kuraklık riski

Bu bölümde Türkeş (2015)’e dayanarak Türkiye’nin kuraklıktan etkilenebilirliği ve

kuraklık riski tartışılacaktır. Çalışmada kuraklık olaylarından etkilenmiş nüfus (*PopEts*) sağlanamadığı için, *FizEts* yerine, kuraklık riskinin kestirimi amacıyla içerisinde nüfus indikatörlerinin de yer aldığı bir **Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (SEİ)** hesaplandı (Rygel ve ark., 2006; Flanagan ve ark., 2011).

Türkiye'nin kuraklıktan etkilenebilirlik çözümlene ve değerlendirmelerinde temel alınan hesaplama algoritmasının ana çizgileri aşağıda verildi:

1. Çözümleme için, 5 etkilenebilirlik sınıfı (Öğretim, Demografi, Ekonomik etkinlik, Sağlık, sağlık koruma ve baş edebilme kapasitesi, Doğal çevre) altında gruplandırılan 19 indikatör seçildi.
2. Birbirinden ölçek, ölçüm ya da gözlem teknikleri ve birimler açısından çok farklı olan verilerin birlikte kullanılabilmesini sağlamaya yönelik olarak, veriler 0-1 arasında normalleştirildi. Daha sonra tüm değerler toplanarak, her il için bir *SEİ* değeri hesaplandı.
3. Veriler normalleştirilirken İstanbul nüfus verileri (nüfus yoğunluğu, > 65 yaş ve < 5 yaş) baskın olduğu için önce çözümlemeye alınmadı; daha sonra İstanbul nüfus verilerine doğrudan 1 değeri atanarak hesaplama sokuldu.
4. Kuru Marjinal Tarım, Kuru Mutlak Tarım, Sulu Marjinal Tarım, Sulu Mutlak Tarım, Çayır, Mera ve Orman indikatörlerine ilişkin temel veriler ise, 0.5-1 arası için normalleştirildi. Bu yaklaşımın ana gerekçesi, söz konusu veriler 0-1 arası için normalleştirilseydi, kuraklıktan doğrudan etkilenecek birçok alanın yeterli düzeyde temsil edilemeyecek olmasıdır.
5. Etkilenebilirliği azaltan okuma-yazma oranı ve hastane yatak sayısı verisi, yüksekten (0) düşüğe (1) doğru normalleştirildi.
6. Kırsal nüfus oranı, il ve ilçe nüfus oranından çıkarılarak bulundu.

7. Okuma yazma oranı, toplam okuma yazma bilen kişi sayısının toplam nüfusa oranı yoluyla kestirildi.

8. Hesaplama, bir toplumun/sektörün/sistemin doğal afetlere dayanıklılığı, direnci ya da onlardan etkilenebilirliğinin düzeyini doğrudan etkileyen ve belirleyen sosyal ve ekonomik faktörlere ek olarak, tarımsal ve coğrafi ortama (çevre) ilişkin bilgi ve verilerden de yararlanıldığı için, bu koşullar altında elde edilen indis, kuraklık afeti için doğrudan kullanılacak bir "Etkilenebilirlik İndisi" olarak da kabul edilebilir.

Kuraklıktan etkilenebilirliğin sosyal koşulları dikkate alındığında, Türkiye'de etkilenebilirliğin görece en düşük ve en yüksek olduğu bölgeler ve iller şu şekilde sıralanabilir (Şekil 6):

Türkiye'de **etkilenebilirliğin görece en düşük olduğu** yerler, Batı Trakya'da Edirne ve Kırklareli illeri; Batı Karadeniz (Bilecik, Bolu, Karabük, Zonguldak ve Bartın) ve Doğu Karadeniz (Giresun, Trabzon, Rize ve Artvin) bölümlerindeki iller; İç Anadolu'da Ankara'nın doğusunda yer alan Kırıkkale, Kırşehir ve Yozgat iller ile Doğu Anadolu'nun orta-batı ve kuzeydoğu bölümlerinde yer alan sırasıyla Erzincan, Bayburt, Tunceli ve Elazığ illeri ile Erzurum ve Ardahan illeridir (Şekil 6).

Türkiye'de **etkilenebilirliğin görece en yüksek olduğu** iller ise, genel olarak, Marmara Bölgesi'nde İstanbul ve çevre illeri ile Bursa; Ege Bölgesi'nde Afyonkarahisar, İzmir ve (Muğla-Uşak-Kütahya dışında kalan) çevre illeri; İç Anadolu'da Ankara, Konya ve Niğde'de; Akdeniz Bölgesi'nde, Antalya, Adana, Hatay ve Kahramanmaraş'ta; Güneydoğu Anadolu'nun hemen tamamında, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin ve Batman'da; Doğu Anadolu'nun doğu ve güneydoğu bölümlerinin hemen tamamında, Şırnak, Muş, Van, Ağrı ve Hakkâri'dir (Şekil 6).



Şekil 6- Türkiye illeri için hesaplanan Kuraklık Afeti/Felaketi Sosyal Etkilenebilirlik İndisi'nin coğrafi dağılışı.

Figure 6- Geographical distribution of Drought Hazard/Disaster Social Vulnerability Index that was calculated for Turkey's administrative city provinces.

Çalışmada kuraklık afetinden (çeşitli yıllarda farklı bölgelerde çeşitli zaman ölçeklerinde gerçekleşen kuraklık olayları) etkilenen nüfus ile kuraklık afetinin neden olduğu hasar ve kayıplara ilişkin indikatörlere ulaşamadığı için, Kuraklık Afet Riski ( $R_{KA}$ ), *Eşitlik 6* yeniden düzenlenerek, doğrudan **Standartlaştırılmış Yağış İndisi** (SPI) hesaplanarak elde edilen **Kuraklık Olasılıkları** [ $FrkSPI$  (tam kurak, aşırı kurak)] ile Kuraklık Afeti Sosyal Etkilenebilirlik İndisi ( $SEİKA$ ) çarpılarak kestirildi (*Eşitlik 15*):

$$R_{KA} = FrkSPI_{(tam\ kurak, aşırı\ kurak)} \cdot SEİKA \quad (15)$$

Türkiye'nin kuraklık riskinin hesaplanmasında, Türkiye'nin kuraklık afet ve felaketinden etkilenebilirlik İndisi değerlerinin yanı sıra, fiziksel etkilenmişlik çarpanının yerine doğrudan kullanılacak olan "Fiziksel Bakı İndisi" terimi için, aylık "SPI" zaman dizileri ve onlara dayanan **SPI Klimatolojik Olasılıkları** kullanıldı. SPI Klimatolojik Olasılıkları da, çalışmanın amacına uygun olarak, Normalin Altındaki tüm kurak olma olasılıklarını içeren **Normalin Altında Tam Kurak Olma Olasılığı** ve **Aşırı Kurak**

**Olma Olasılığı** şeklinde ikiye ayrılarak hesaplamalarda yer aldı (Tablo 7).

Türkiye illeri için hesaplanan aylık SPI anomalilerinin bu çalışmaya özgü özel sınıflandırmasına göre, aylık yağışların **Normalin Altında 'Tam Kurak Olma Olasılığı'** koşullarında, Türkiye'nin Kuraklık 'Afet/Felaket' Riski ( $R_{KA}$ ) görece en yüksek ve görece en düşük olan bölgeleri ve illeri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

"**Tam Kuraklık Olasılığı**" koşullarında Türkiye'nin **Kuraklık 'Afet/Felaket' Riski görece yüksek olan** bölgeleri ve illeri; Ege Bölgesi'nde, İzmir (en yüksek), Manisa, Aydın ve Muğla (yüksek olanlar); Akdeniz Bölgesi'nde, Antalya, Mersin, Adana, Osmaniye ve Kahramanmaraş (yüksek olanlar); Güneydoğu Anadolu'da, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin (en yüksek olanlar) ile Kilis, Gaziantep, Adıyaman, Siirt ve Batman (yüksek olanlar); Doğu Anadolu'da, Şırnak (en yüksek), Siirt, Hakkâri, Van ve Muş (yüksek olanlar); İç Anadolu'da, Ankara, Eskişehir, Konya, Aksaray, Karaman, Niğde ve Kayseri (orta yüksek), Marmara Bölgesi'nde, İstanbul, Çanakkale ve Balıkesir'dir (orta yüksek) (Şekil 7).

Tablo 7- Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) yaklaşımı ile hesaplanan yağış anomalisi (kuraklık/ nemlilik ya da kurak/nemli koşullar) sınıflarının Türkiye kuraklık risk çözümlemesi ve değerlemesi amacıyla özel olarak gruplandırılması.

Table 7- Special grouping of precipitation anomaly classes (drought/wetness or dry and wet conditions) that was calculated by the Standardised Precipitation Index (SPI) approach for the purpose of analysing and evaluating of the drought risk in Turkey.

STANDART YAĞIŞ İNDİSİ (SPI)	YAĞIŞ (Kuraklık/Nemlilik) SINIFI	
2 ve üzeri	Aşırı nemli	Normalin üzerinde "tam" nemli
1.5 – 1.99	Çok Nemli	
1 – 1.49	Orta düzeyde nemli	
-0.99 – 0.99	Normal	
-1 – -1.49	Orta düzeyde kurak	Normalin altında "tam" kurak
-1.5 – -1.99	Şiddetli kurak	
-2 ve altı	"Aşırı" kurak	
STANDART YAĞIŞ İNDİSİ (SPI)	YAĞIŞ (Kuraklık/Nemlilik) SINIFI	
1 ve üzeri	Normalin üzerinde "tam" nemli	
-0.99 – 0.99	Normal	
-1 ve altı	Normalin üzerinde "tam" kurak	



Şekil 7- Türkiye illeri için hesaplanan SPI Normalin Altında 'Tam Kuraklık Olasılığı' koşullarında, Türkiye Kuraklık 'Afet/Felaket' Riski değerlemelerinin en düşükten en yüksek risk değerlerine kadar coğrafi dağılış desenleri.

Figure 7- Geographical distribution of evaluations for the Drought Hazard/Disaster Social Vulnerability Index that was calculated for Turkey's administrative city provinces under the conditions of Below-normal "Exact Drought Probability" based on the SPI.

"**Tam Kuraklık Olasılığı**" koşullarında Türkiye'nin **Kuraklık 'Afet/Felaket' Riski görece düşük olan** bölgeleri ve illeri; Marmara Bölgesi Batı Trakya'da, Edirne (en düşük) ve Kırklareli (düşük), Doğu Marmara'da Bilecik (düşük); Karadeniz Bölgesi'nde, Çorum, Samsun, Giresun ve Gümüşhane (düşük) ve Amasya, Tokat, Ordu (orta düşük) dışında kalan Sakarya'dan Rize

ve Artvin'e kadar tüm iller (en düşük), İç Anadolu'da Nevşehir (en düşük), Kırıkkale ve Çorum (düşük); Doğu Anadolu'da, Ardahan (en düşük), Kars ve Erzurum'u (düşük) içerir (Şekil 7).

Türkiye illeri için hesaplanan aylık SPI anomalilerinin Tablo 7'deki özel sınıflandırmasına göre, aylık yağışların Normalin Altında 'Aşırı

**Kurak Olma Olasılığı**” koşullarında, Türkiye’nin Kuraklık ‘Afet/Felaket’ Riski ( $R_{DD}$ ) değerlemeleri (Şekil 8) ile bazı iller dışında “**Tam Kurak Olma Olasılığı**” koşullarındaki Kuraklık Riski değerlemeleri (Şekil 7) arasında iyi bir uyum gözlenir (Şekil 7). Buna göre, en önemli farklar,

riskin görece azalma yönünde 2 basamak birden değiştiği İstanbul, Eskişehir, Ordu, Ağrı ve Iğdır illeri ile riskin görece artma yönünde değiştiği Adıyaman (yüksekten en yükseğe) ve Malatya (orta yüksekten yükseğe) illerinde ortaya çıkar (Şekil 8).



Şekil 8- Türkiye illeri için hesaplanan SPI Normalin Altında ‘Aşırı Kuraklık Olasılığı’ koşullarında, Türkiye Kuraklık ‘Afet/Felaket’ Riski ( $R_{KA}$ ) değerlemelerinin en düşükten en yüksek risk değerlerine kadar coğrafi dağılış desenleri.

Figure 8- Geographical distribution of evaluations for the Drought Hazard/Disaster Social Vulnerability Index that was calculated for Turkey’s administrative city provinces under the conditions of Below-normal “Extreme Drought Probability” based on the SPI.

## 6. Tartışma ve Öneriler

Afet risk yönetimi ve iklim değişikliğine uyumun, hem yerel, bölgesel (ör. Türkiye Cumhuriyeti’nin Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerine ilişkin sosyal ve ekonomik amaçlı bölgesel kalkınma projeleri, vb.) ve ulusal (ör. Türkiye Cumhuriyeti’nin 5 yıllık kalkınma planları, plan stratejileri, hükümet programları, vb.) hem de uluslararası kalkınma politika ve uygulamalarıyla (ör. OECD) uyumlu bir yakın birlikteliği ve bütünleştirilmesi, tüm ölçeklerde olasılıkla büyük yararlar sağlayabilir.

Sosyal gönenç, yaşam niteliği, altyapı olanakları ve geçim kaynakları ele alındığında ve çoklu afet yaklaşımı kısa vadede afet planlamasına ve eylemlerine alındığında, uzun vadede toplumların ve ülkelerin iklim ekstremelerine

uyumunu kolaylaştırır. Uluslararası düzeyde, bu yaklaşım giderek daha fazla kabul görmektedir. Planlama, plan stratejileri ve politikaları, çoklu stres kaynakları ya da oluşturucularını ve öncelikleri farklı değerlere ya da ‘konulara’ sahip çıktıkları ve politika hedeflerinde rekabet yarattıkları ölçüde daha etkili ve başarılı olabilirler.

İklim değişikliğinin afet risk yönetimi hedeflerini ve afet risklerini yönetmek için ayrılmış ve düzenlenmiş çabaları, en azından iki nedenler kümesiyle zayıflatır ve afet risk yönetiminde karışıklığa yol açabilir. Bu nedenler kümesinin **birincisi**, buraya kadar birçok yerde açıkladığımız ve tartıştığımız gibi, iklim değişikliklerinin büyük olasılıkla bazı fiziksel olay ve afetlerin oluşum sıklığını ve şiddetini arttıracak, alansal ve zamansal dağılış desenlerini değiştirecek olmasıyla bağlantılıdır. Bu ise, birçok gelişmekte olan toplumun ve ülkenin bakı ve etkilenme düzeylerini

etkileyecek ve arttıracaktır. Artan bakı ve etkilenebilirlik ise, büyük olasılıkla afet riskinin artmasına yol açacaktır. Örneğin, iklim değişiklikleri (şiddetli kuraklık olayları ve su kıtlığı ya da ekstrem yüksek hava sıcaklıkları ve uzun süreli sıcak hava dalgaları, vb. ) zaten kıt ve yetersiz olan kaynakların (ekosistem, su, çayır ve meralar, çiftlik hayvanları, tarımsal ürünler, vb.) varlığını ve dağılım desenini etkilerse, başka türlü kaynakların ve olanakların varlığını sürdüreceği ve kalkınma hedeflerine yönlendirileceği ‘normal’ koşullar yerine, etkilenen alanının kalkınması ve kalkınma potansiyeli üzerindeki iklim ilişkili doğrudan etkiler yüzünden etkilenebilirlik düzeyi artabilecektir. **İkincisi**, iklim değişikliğinin özellikle ekstrem olaylarla bağlantılı afet riskine katkı sağlayan olası neden ve sonuçlara ulaşmayı, değerlendirmeyi, hazırlıklı olmayı ve karşılık vermeyi daha zorlaştıracak olmasıdır. Afet riskini arttırarak afet risk yönetimini etkilemesi ve zayıflatması beklenen çok sayıda olası neden ve sonuçtan söz edilebilir.

İklim ve öteki doğal afetler dikkate alındığında, yüksek bakı ve etkilenebilirlik, genel olarak, çevresel ve ekolojik bozulmalar, afete açık alanlardaki hızlı ve plansız kentleşme, yönetim yetersizliği ve/ya da yanlışlıkları ile yoksullar için uygun yaşam koşulları ve beslenme seçeneklerinin eksikliği gibi çarpık kalkınma ve kentleşme süreçlerinin bir sonucu olarak belirlemektedir. Artan küresel bağlantılar ile ekonomik ve ekolojik sistemlerin çok taraflı bağımlılıkları ise, bazen etkilenebilirliği ve afet riskini azaltma ya da arttırma yoluyla ters etkiler yapabilmektedir. Bu yüzden, eğer ülkeler ulusal kalkınma ve sektör planlarında ve stratejilerinde afet risk yönetimi ilke ve yaklaşımlarını dikkate alır ve bu plan ve stratejilerini etkiye açık alan ve sosyal gruplara

yönelik eylemlere aktaracak şekilde geliştirilen iklim değişikliği uyum stratejilerini kabul ederlerse, karşılaşılabilecekleri afet riskini çok daha etkin bir yolla yönetebilir ve ortaya çıkan etkilerini en az zararlarla atlatabilir.

Öte yandan, son yıllarda afet risk yönetimindeki önemli ilgi alanlarından ya da ana yönelimlerden biri, afetlerin giderek daha fazla oranda fiziksel anlamda aşırı olmayan daha küçük ölçekli ve/da daha az önemli fiziksel olaylarla bağlantılı oluşunun fark edilmesi, bunun daha iyi anlaşılması ve afet risk yönetimi uygulama aşamalarında daha fazla dikkate alınmasının sağlanması çabalarıdır. Bu ise, temel olarak, örneğin daha fazla insan, topluluk ve nüfus ile daha çok sayıda ve daha geniş coğrafi bölgenin ya da ülkenin küresel iklim değişikliğine bağlanan çeşitli hava ve iklim ekstrem ve afetlerinden etkilenme ve etkilenebilirlik düzeylerindeki artışlara bağlanmaktadır (ör. IPCC, 2012; Türkeş, 2013d, 2014, 2015; vb.).

### **Teşekkür ve Katkı Belirtme**

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi (BİLGEM), Bilişim Teknolojileri Enstitüsü “Türkiye Afet Risk Yönetim Sistemi Projesi (TAFRİSK): Kuraklık Afeti Risk Modelleme Trend Analiz alt projesi (TAFRİSK-RTAR-12)” kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yazar, çalışmadaki Sosyal Etkilenebilirlik İndisi ile kuraklık afet riskinin hesaplanması konusundaki katkıları nedeniyle, Sayın Doç. Dr. Sinan Şahin’e (Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi) teşekkür etmeyi bir borç bilir.

## REFERANSLAR

- Bowman, K. O., Shenton, L. R. 1988. *Properties of Estimators for the Gamma Distribution*. Marcel Dekker.
- FAO. 2009. *Profile for climate change*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO. 2011. *FAO's Framework Programme on Climate Change Adaptation (FAO-Adapt)*. Food and Agriculture Organization (FAO), FAO's Inter-Departmental Working Group on Climate Change (IDWG-CC), Rome.
- Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L. and Lewis, B. 2011. A social vulnerability index for disaster management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 8(1). Article 3. DOI: 10.2202/1547-7355.1792
- Guttman, N. B. 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association* 34: 113-121.
- Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35: 311-322.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press: Cambridge.
- IPCC. 2012. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Field et al. (eds.)). Cambridge University Press: Cambridge.
- McKee, T. B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Presented at the *Eighth Conference on Applied Climatology*. Anaheim CA, American Meteorological Society, 179-186.
- Öztürk, T., Türkeş, M. ve Kurnaz, L. 2014. RegCM4.3.5. İklim modeli benzetimleri kullanılarak Türkiye'nin gelecek hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişikliklerin çözümlenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi* 20(1): 17-27.
- Padgham, J. 2009. *Agricultural Development under the Changing Climate. Opportunities and Challenges for Adaptation*. The World Bank Joint Discussion Paper, Washington, D.C.
- Palmer, W. C. 1965. *Meteorological Drought*. Weather Bureau Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. 1992. Gamma function, beta function, factorials, binomial coefficients and incomplete gamma function, error function, chi-square probability function, cumulative poisson function. *Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*, 2nd ed. Cambridge University Press, 206-214.
- Rygel, L., O'Sullivan, D. and Yarnal, B. 2006. A method for constructing a social vulnerability index: An Application to hurricane storm surges in a developed country. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 741-764. DOI: 10.1007/s11027-006-0265-6
- Thom, H. C. S. 1966. Some Methods of Climatological Analysis. Technical Note No. 81. WMO, Geneva.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review* 38, 55-94.
- Turp, M.T., Öztürk, T., Türkeş, M. ve Kurnaz, M. L. 2014. RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerinin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi* 23(1): 1-24.
- Türkeş, M. 1999. Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science* 23: 363-380.

- Türkeş, M. 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi - Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-4613-26-7, 650 + XXII sayfa: İstanbul.
- Türkeş, M. 2012a. Küresel İklim Değişikliği ve Çölleşme. İçinde: *Günümüz Dünya Sorunları – Disiplinlerarası Bir Yaklaşım* (Ed. N. Özgen), ISBN 978-605-5472-79-5, s.1-42. Eğiten Kitap: Ankara.
- Türkeş, M. 2012b. Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi – Çevre Özel Sayısı 20 (1)*: 7-56.
- Türkeş, 2013a. *İklim verileri kullanılarak Türkiye'nin çölleşme haritası dokümanı hazırlanması raporu*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayını, ISBN: 978-6054610-51-8, 57 sayfa: Ankara.
- Türkeş, M. 2013b. Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 1-32.
- Türkeş, M. 2013c. İklim değişiklikleri: Kambriyen'den Pleyistosen'e, Geç Holosen'den 21. Yüzyıla. *Ege Coğrafya Dergisi* 22(1): 1-25.
- Türkeş, M. 2013d. Değişen iklim koşullarında aşırı hava ve iklim olaylarının afet risk yönetimi. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 10. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi - Çevre Yönetimi, Bildiriler Kitabı*, s.11-25, 12-14 Eylül 2013: Ankara.
- Türkeş, M. 2014. İklim Değişikliğinin Tarımsal Gıda Güvenliğine Etkileri, Geleneksel Bilgi ve Agroekoloji. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2(2): 71-85.
- Türkeş, M. 2015. *Türkiye Afet Risk Yönetim Sistemi Projesi (TAFRİSK): Kuraklık Afeti Risk Modelleme Trend Analiz Raporu*. Doküman Kodu: TAFRİSK-RTAR-12, Sürüm No: 3.0, Sürüm Tarihi: 31.03.2015. TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi (BİLGEM), Bilişim Teknolojileri Enstitüsü, Ankara. (Yayımlanmamış Araştırma Projesi Raporu).
- Türkeş, M. and Akgündüz, A. S. 2011. Assessment of the desertification vulnerability of the Cappadocian district (Central Anatolia, Turkey) based on aridity and climate-process system. *International Journal of Human Sciences* 8: 1234-1268.
- Türkeş, M. and Tatlı, H. 2009. Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology* 29: 2270–2282. DOI: 10.1002/joc.1862
- Türkeş, M. and Tatlı, H. 2011. Use of the spectral clustering to determine coherent precipitation regions in Turkey for the period 1929-2007. *International Journal of Climatology* 31: 2055–2067. DOI: 10.1002/joc.2212
- Türkeş, M. ve Yıldız, D. 2014. *Gözlenen bugünkü ve benzeştirilen gelecek yağış değişimleri ve kuraklık olayları perspektifinde Türkiye'de hidroelektrik santrallerin geleceği*. 22 Ocak 2014. Hidropolitik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları, Ankara.
- UNDP/BCPR. 2004. *A global report, reducing disaster risk: A challenge for development*. United Nations Development Programme and Bureau for Crisis Prevention and Recovery. John S. Swift Co., New York.
- WB. 2010. *WB world development report 2010: Overview - Changing the climate for development*. World Bank (WB), Washington, DC.
- Wilhite, D. A. 2007. *Managing drought: A roadmap for change in the United States*. PowerPoint Presentation, [www.hazardscaucus.org/.../Wilhite0707.ppt](http://www.hazardscaucus.org/.../Wilhite0707.ppt); erişim tarihi: 1 Mayıs 2016.
- Wilks, D. S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. Academic Press.

#### İnternet Referansı

<http://nadss.unl.edu>