

# Türkiye'nin Fırtına Afeti Etkilenebilirliği ve Risk Çözümlemesi

Murat TÜRKEŞ\*  
Sinan ŞAHİN\*\*

Günümüzde afetler, oluşum nedenlerine göre biyolojik (salgın hastalık, böcek istilası vb.), jeofizik (deprem, volkanik püskürme, tsunami vb.), meteorolojik (fırtına, fırtına kabarması, tropikal siklon vb.), klimatolojik (sıcak ve soğuk hava dalgaları, kuraklık, orman yangını vb.) ve hidrolojik (taşkın, sel, kütle hareketleri) kökenli afetler olarak sınıflandırılır (Türkeş ve Deniz, 2010). Doğal afetler içinde klimatolojik ve meteorolojik kaynaklı olanların hem yinelenme sıklığı hem de etkisi bakımından ayrı bir yeri olmasına karşın, bunlar genel olarak yaşamın bir parçası olarak değerlendirilmekte ve afet olarak algılanmamaktadır. Gerçekte, dünya ölçeğinde yapılan afet etki değerlendirmelerine göre klimatolojik ve meteorolojik kaynaklı (atmosfer, hava, iklim ve onlarla ilişkili) afetler, doğal afetlerin yaklaşık %80'inden sorumludur. Fırtınalar, taşkınlar ve seller, doğal afetlerin sırasıyla %28 ve %37'sini, birlikte ise %65'ini oluşturur (WMO, 2006).

Genel olarak, klimatoloji ve meteorolojide, yeryüzünün herhangi bir yerinde rüzgâr hızının günün herhangi bir anında en az on dakika ve daha uzun bir süre boyunca 17.2-20.7 m/s (fırtına) ve daha hızlı estiği (ör. 20.8-24.4 m/s, kuvvetli fırtına) rüzgârlı hava koşulları fırtına olarak tanımlanır (Sanho, 2009). Böyle günler ise fırtınalı gün olarak kaydedilir. Rüzgâr hızının ve fırtınaların kendilerine özgü klimatolojik, meteorolojik ve istatistiksel özellikleri ve dağılım desenleri vardır. Fırtına, aynı zamanda, şiddetli hava koşullarının (kuvvetli

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

\*\* Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı / ssahin@nku.edu.tr

yağışların, yağmur, kar ve dolu sağanaklarının ve rüzgârların, soğuk havanın vb.) egemen olduğu orta enlem siklonlarına, tropikal siklonlara, gökgürültülü fırtınalara ya da hortumlara (dönen ve hortumu olan gökgürültülü fırtına) verilen bir addır. Örneğin lodos fırtınası, tropikal fırtına, karayel fırtınası, cephesel fırtına, muson fırtınası vb...

Fırtınalar; aşırı yağışlar, şiddetli sağanaklar ve sellerle birlikte erozyona, üst toprak ve çökel taşınımına, kütle hareketlerine, yağışın olmadığı zamanlardaysa toprak neminin azalmasına, üst toprağın ve doğal vejetasyonun kurumasına neden olarak kuruyan üst toprakta erozyona ve çölleşmeye neden olur. Sıcak, kuru ve fırtınalı hava koşulları, orman ve çalılık yangınlarının şiddetini ve sıklığını arttırdığı gibi büyük yangınlarının denetimi ve söndürülmesini de zorlaştıran önemli bir hava ilişkili etmendir.

Afet boyutundaki fırtınalar ayrıca orta enlem ve tropikal siklonlara; gökgürültülü fırtınalara ve hortumlara, ağaçların devrilmesine; binaların çatılarının, ağaçların, arabaların hatta evlerin parçalanıp uçmasına; kıyı yapılarının ve deniz araçlarının zarar görmesine; gemilerin batmasına, kara, deniz ve hava ulaşımının engellenmesine; tarımsal ürün kaybına, hatta can kayıplarına yol açar. Fırtına Afet Tehlikesi, ister orta enlem cephesel siklonlarıyla ister tropikal siklonlar ya da muson sistemleriyle bağlantılı ve/veya onların sonucunda ve/veya denetiminde gelişsin, kısacası nedeni ne olursa olsun, kuvvetli ve aşırı rüzgâr hızlarıyla bağlantılı fırtına afetlerinin oluşturduğu fırtına felaketleri, onunla aynı zamanda gelişen ve etkili olan şiddetli, aşırı yağışlar, onlarla ilişkili kütle hareketleri (bazı heyelanlar, çamur akmaları vb) fırtına kabarması, hızlı kıyı erozyonu ve heyelanları, seller ve taşkınlar gibi doğal felaketleri içeren geniş bir felaketler listesini içerir.

Şiddetli kış fırtınaları (Orta enlem cephesel siklonları ile bağlantılı fırtınalar) Avrupa'yı etkileyen en önemli doğal afetlerden biri olarak nitelendirilmektedir. Örneğin, bunlardan 1990 yılı başında Ocak ve Şubat aylarında (ör. Daria; Vivian) oluşan bir dizi orta enlem siklon fırtınaları; Mayıs 1998'de Türkiye'nin Batı Karadeniz bölümünde oluşan şiddetli yağış fırtınaları, taşkın ve seller (Türkeş 1998a, Türkeş 2001); Aralık 1999'da Avrupa'da etkili olan şiddetli kış fırtınası (ör. Ulbrich ve diğ. 2001, Wernli ve diğ. 2002), Ocak 2004'te oluşan Marmara ve Çanakkale kar fırtınası felaketleri (ör. Türkeş 2004; Koç ve diğ. 2005a; Koç ve diğ. 2005b vb.) ile Ocak 2007'de oluşan şiddetli orta enlem kış fırtınaları, fırtına afetleri ve onlarla ilişkili felaketlere yönelik toplumsal, kamusal ve bilimsel ilginin artmasına neden olmuştur. Türkiye'de buna verilebilecek en güzel örnekler, Batı Karadeniz ve Marmara/Çanakkale'de asıl olarak orta enlem siklonik fırtınalarıyla bağlantılı olarak oluşmuş olan şiddetli yağış, kar ve rüzgâr fırtınalarıdır (Türkeş 1998a, Türkeş 1998b, Türkeş 2001, Türkeş 2004, Koç ve diğ. 2005a, Koç ve diğ. 2005b).

Orta enlem siklonları, fırtınalar ve fırtına afeti/felaketi konularında Türkiye'de yapılmış özgün ve nitelikli çalışmalarsa ne yazık ki çok azdır. Konuyla ilgili bazı çalışmalar şunlardır:



Türkes (1998a), "Influence of geopotential heights, cyclone frequency and Southern Oscillation on rainfall variations in Turkey" başlıklı çalışmada, Akdeniz ve kuzeydoğu Atlantik oluşumlu orta enlem siklonlarının (depresyon ya da cephesel alçak basınçlar), Türkiye'deki yağışların oluşum ve değişimlerine önemli katkı yaptığını vurgulanmıştır. Yazar, ayrıca, Türkiye'ye ulaşan tropiklerdışı siklonların 1983 yılından başlayarak kış ve yaz mevsimlerinde ve yıllık olarak azalma eğilimi gösterdiğini, bu durumun özellikle Türkiye yağışları açısından önemli bir rol oynayan II ve III nolu siklon yollarında belirgin olduğunu vurgulamıştır.

"Examination of wind storms over Central Europe with respect to circulation weather types and NAO phases" başlıklı bir çalışmada (Donat ve diğ. 2012), Orta Avrupa'daki fırtınaların oluşumu, geniş ölçekli atmosferik akışlar ve yerel rüzgâr hızları açısından ele alınmış ve incelenmiştir. Yazarlar, çalışmada Orta Avrupa için fırtına tanımlamasını iki farklı yöntem uygulayarak belirlemiştir. Birincisi, geniş ölçekli atmosfer akışlarının (sirkülasyon temelli hava tipleri, WT) karakteristiklerine, ikincisi ekstrem (aşırı ya da uç) rüzgâr hızlarının oluşumuna dayandırılmıştır. Tanımlanan aşırı rüzgâr hızları ve sirkülasyon temelli hava tipi desenleri, Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) evreleri ve bu koşullar altında oluşan CWT'ler açısından incelenmiştir. Çalışmada, Orta Avrupa'daki fırtınalı günlerin yaklaşık %80'inin batılı akışlarla bağlantılı olduğu ve fırtına olaylarının asıl olarak orta düzeyde pozitif NAO evresinde olduğu ve kuvvetli pozitif NAO evrelerinin (tüm günlerin %6.4'ü) fırtınaların %20'sinden fazlasını içerdiği ortaya konulmuştur. Orta Avrupa üzerinde oluşan fırtınalarla ilişkili siklonik sistemlerin en sık kullandığı siklon yolu, Kuzey Atlantik'ten İngiliz Adaları, Kuzey Denizi ve Güney İskandinavya aracılığıyla Baltık Denizi'ne ulaşan yoldur.

Deniz ve diğ. (2013) "Investigations of storms in the region of Marmara in Turkey" başlıklı çalışmalarında, 2000-2010 döneminde Marmara Bölgesi'nde oluşan fırtınalar ve etkilerini çalışmıştır. Çalışmalarında MGM'nin sinoptik meteorolojik verileri ve hava haritaları ile ABD NCEP/NCAR yeniden çözümleme verilerini kullanan yazarlara göre, Marmara Bölgesi'nde etkili olan en kuvvetli rüzgârlar, çoğunlukla soğuk mevsimde kuzey ve kuzeydoğulu (Poyraz) rüzgârlardır. 10 yıllık çalışma döneminde, kuvvetli rüzgârların yaklaşık %65'i kuzey, yaklaşık %33.5'i güney ve yaklaşık %1'i doğu sektöründen eser. Zamansal olarak, kuvvetli rüzgârların yaklaşık %53.4'ü kışın, %21.2'si ilkbahar ve %22.2'si sonbaharda eser.

Son olarak, Şahin ve Türkes (2013) "Contemporary surface wind climatology of Turkey" başlıklı bir çalışmada, Türkiye'de 1970-2008 döneminde MGM'nin 267 klimatoloji ve meteoroloji istasyonunda 16 ana ve ara yönde gözlenmiş olan aylık ortalama rüzgâr hızı (Vm) ve hâkim rüzgâr yönü (Vp) verileri ile 174 istasyonunun istasyon basıncı (Sp) verilerini kullanarak, sınır katmanı ya da yüzey gradyan rüzgârlarının (semi-jeostrofik ya da yarı sapsmış yüzey rüzgârları) ayrıntılı klimatolojik özelliklerini incelemiştir. Yüzey gradyan rüzgârları, ortalama rüzgâr hızlarının diverjant ve rotasyonel bileşenlerinin

hesaplanmasıyla incelendi. Çalışmada ayrıca, rüzgâr oluşum alanları ile deniz düzeyi basıncı (SLP) desenleri arasındaki ilişkilerin yanı sıra, mevsim ortası ayların rüzgâr alanlarındaki alansal ilişkileri Temel Bileşenler Analizi (PCA) yöntemi aracılığı ile çözümlenmiştir. Vm verilerinin klimatolojik çözümlenmelerine göre, Türkiye'deki yüzey rüzgârları radyal olarak genellikle batıdan doğuya uzanma eğilimindedir. Klimatolojik olarak, en kuvvetli hâkim rüzgârlar yaz aylarında eserken en zayıf hâkim rüzgârlar sonbahar aylarında esme eğilimindedir. Vm ve Vp dağılımlarıysa, sahip oldukları özgül ısı değerleri arasındaki belirgin farklılık nedeniyle, kara ve deniz arasındaki sıcaklık farklılığının da yüksek olduğu kış ve yaz aylarında daha belirgin bir gradyan gösterir. PCA çözümlene sonuçlarına göre, PC1 ve PC2 Türkiye üzerindeki kuvvetli ancak farklı nitelikteki rüzgâr alanlarını temsil eder. Bu değerlendirmeye göre, PC1 sonuçları, büyük ölçüde deniz yakınında ve kıyı kuşaklarında gözlenen kuvvetli rüzgâr alanlarını temsil ederken, PC2 sonuçları iç bölgelerdeki kuvvetli rüzgâr alanlarını işaret eder. Ayrıca, PCA sonuçları, Türkiye'deki alansal olarak tutarlı en kuvvetli rüzgârların Temmuz'da, en zayıf rüzgârlarınsa Ekim ayında oluştuğunu gösterir.

Bu makalede ise fırtına afeti için riskli bölgelerin (illerin) belirlenmesine yönelik bir yöntem oluşturulmaya çalışılmıştır. Yöntem belirleme çalışmaları sağlanan veriler ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) olanaklarına göre şekillenmiştir. Bu kapsamda tedarik edilen gerçek bir etkilenebilirlik verisi olmadığı için nüfus verilerine dayanan sosyal etkilenebilirlik indisi kullanılmıştır. Afet boyutunda etkilenebilirliği ya da zarar görebilirliği belirleyen ve riski arttırıcı en önemli faktörlerin başında insana dayalı faktörler gelmektedir. Bu yüzden sosyal olarak nüfusun etkilenebilirliğini arttıran her faktör önemlidir. Tüm bu nedenlerle, bu çalışmada da risk değerlendirmesi yapmak için bir sosyal etkilenebilirlik indisi kullanılmıştır. Ayrıca, MGM'den alınan verilerin yeterli uzunlukta olmaması nedeniyle, riskli bölgelerin belirlenmesi için Bofor 8 ve sonrası rüzgâr şiddetlerine göre ağırlıkların belirlendiği bir yöntem izlenmiştir. Fırtına etkilenebilirlik ve risk analizi gerçekleştirilmeden önce Türkiye'de fırtına afetine ilişkin yazılım ve donanım alt yapısı ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

MGM'nin ölçülmüş saatlik maksimum rüzgâr hızı ve yönü verilerine göre Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde fırtına görülmektedir. Bofor rüzgâr ölçeğine göre belirlenen en şiddetli ölçeğe (Bofor 12 ölçeği) göre kıyı bölgelerinin yanında karasal iç kısımlarda da önemli sayıda Bofor 12 şiddetinin ölçüldüğü alanlar bulunmaktadır. Küresel iklim değişikliği nedeniyle, özellikle yüzey ve alt atmosfer hava sıcaklıklarının artması ve bu artışa bağlı buharlaşmanın artması sonucunda, hidrolojik döngünün hızlanacağı ya da şiddetleneceği, bunun da fırtına ve hortum olaylarının sayısında ve şiddetinde artışa yol açabileceği beklenebilir. Bu yüzden ulaşım, tarım ve hayvancılık ve sanayi gibi temel endüstrileri önemli derecede etkileyebilecek fırtına afeti için erken uyarı, risk analizi ve hasar önleme/tespit çalışmaları mutlaka yapılmalıdır.



## I. Tanımlar

Dao ve diğ. (2003) ve Peduzzi ve diğ. (2003) çalışmalarında yer alan Afet Risk İndisinin (ARİ) geliştirilmesinde ve hesaplanmasında kullanılan, sonuçların küresel ya da ülkesel ölçekte karşılaştırılmasını kolaylaştıracak Afet Riski ilişkili temel istatistiksel terimler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

**Doğal Afet (DA):** Biyosferde hasar yapıcı ve zarar verici afetsel (afet boyutundaki) bir olayla sonuçlanabilen doğal süreç ya da olay Doğal Afet olarak tanımlanır. Afet olayları, büyüklük (magnitüd) ya da şiddet, frekans (oluşum sıklığı), süre, etki ya da yayılım alanı, gelişim hızı, alansal ve zamansal boyutlarda değişmektedir. Doğal Afetler, uzun bir listesi yapılabilmekle birlikte çoğunlukla, deprem, tropikal ve orta enlem siklonları ve fırtınaları, taşkın ve seller ile kuraklık gibi büyük ölçekli ve şiddetli doğal olay ve etmenleri içerir.

**Doğal Felaket ya da Afetsel Tehlike (DF):** Doğal felaket, etkilenenlerin baş etme olanak ve yeteneklerini aşarak can ve mal (insan, malzeme) kayıplarının, ekonomik, ekolojik ve çevresel kayıpların ortaya çıkmasına neden olan şiddetli bir doğal olayın ya da afetin tetiklediği ciddi bir yıkım ya da felaket şeklinde tanımlanabilir.

Doğal felaketler, Afet/Felaket Risk İndisi (ARİ) hesaplamalarında, fiziksel etkilenmişlik (etkilenme ya da etkiye uğrama durumu) ( $FizEt_s$ ) ve etkilenebilirliğin (Etb) bir fonksiyonu olarak ele alınır:

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

**Afet/Felaket Risk İndisi (ARİ):** UNDP/BCPR'nin (2004) önce küresel ölçekte uygulanmak üzere geliştirdiği, sonra da Afrika'daki birkaç gelişmekte olan ülkede genel olarak bazı seçilmiş ve o ülkeler açısından önemli tarımsal ürün üretiminin doğal afetlerden etkilenebilirliği ve afet risklerinin belirlenmesi ve kestirilmesi amacıyla uygulanmış olan, Doğal ARİ modelinde, doğal afetin yalnız sıklığı ve etki alanı dikkate alınmıştır. Afetin büyüklüğü ya da şiddeti ise hesaplamalar olanaklı olduğunda dolaylı olarak dikkate alınmıştır.

Deprem, tropikal siklon, taşkın ve kuraklık gibi birinci önemdeki doğal afetlerin tetiklediği ikinci önemdeki doğal afetler (ör. depremlerin ya da aşırı yağışların ve şiddetli fırtınaların tetiklediği heyelanlar), birincil afetlerin altında değerlendirilir.

**Fiziksel Etkilenmişlik ya da Etkilenme (Bakı) durumu (FizEt\_s):** Riskin öğeleri, afete uğrayan (afetten etkilenen ya da etkilenmiş olan) toplumların ya da insan yapılarının dökümü. Fiziksel Etkilenme, ARİ'de, afet olaylarının sıklığı ile birlikte afetsel olayların oluştuğu alanlarda yerleşik insan sayısı ya da nüfusunu (popülasyon) niteler.

**İnsan ya da Sosyal Etkilenebilirlik (SE):** Bir afetin yol açtığı etkinin oluşturduğu hasarın ve kaybın olabirliğini ve derecesini ya da büyüklüğünü belirleyen, fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel etmenlerden kaynaklanan ya da onların oluşturduğu insana ilişkin ya da sosyal durum ve koşullar ya da süreçler, sosyal etkilenebilirlik olarak tanımlanabilir.

Sosyal Etkilenebilirlik, ARI'de, insanın bir afet olayının (tehlike) etkisini soğurabilme, baş edebilme ve onarabilme düzeyini daha çok ya da daha az yapan farklı değişkenler ve etmenlerdir. Etkilenebilirliğin ARI'de kullanılmasının yolu, onun aynı zamanda bir afetin şiddeti ya da büyüklüğü, sıklığı, etki alanı ya da yayılımı ve öngörülememe özelliğini arttırabilen insan kaynaklı değişken ve etmenleri de içeriyor olmasıdır.

**Afet Riski (AR):** 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 olasılığı, şeklinde tanımlanabilir.

## II. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Fırtına Afet Tehlikesinin Belirlenmesi, Öngörülmesi ve Uyarıları Kapsamındaki Olanak, Yetenek ve Etkinlikleri

Fırtına etkilenebilirlik ve risk analizi gerçekleştirmeden önce, Türkiye'de fırtına afetine ilişkin yazılım ve donanım alt yapısı ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Türkiye'de konuyla ilgili faaliyetleri bulunan MGM'nin teknik, donanım ve alt yapısı araştırılmıştır. MGM'nin oldukça geniş bir gözlem ağı bulunmaktadır. Bu ağda 463 adet Otomatik Hava (ya da Meteoroloji) Gözlem İstasyonu (OMGİ) (Automatic Weather Stations - AWS) bulunmaktadır ve bu sayı giderek artmaktadır. Bu istasyonlardan birçoğu uydu veya GPRS ile gerçek zamanlı veri erişimi sağlamaktadır. Sağlanan veriler arasında günlük, saatlik ya da anlık rüzgâr hızı ve yönü verisi de bulunmaktadır.

MGM, hidrometeorolojik olayların erken uyarısını sağlamaktadır. Örneğin kuvvetli rüzgâr, fırtınamsı rüzgâr ve fırtına şiddetindeki güçlü rüzgârlar ve fırtına dalgası gibi olaylar için erken uyarı yapabilmektedir. Ancak hortum (tornado) ve siklon için herhangi bir erken uyarı mekanizması yoktur (WMO, 2012). 2014 yaz aylarında başta Marmara Bölgesi (ör. İstanbul yöresi), Türkiye'nin Kuzey Ege Denizi, Batı Karadeniz, Akdeniz kıyı yakını ve açığı deniz alanlarında oluşan ve etkili olan hortum olaylarından sonra MGM'nin şiddetli sağanak ve gök gürültülü fırtına ve dolu uyarıları ile birlikte hortum uyarılarını da yapmaya başladığını görmekteyiz.

Üst atmosfer gözlemleri nümerik hava tahminleri için çok önemlidir. MGM'nin üst atmosfer ölçümü için 8 adet rawinsonde istasyonu bulunmaktadır ve bu sistem GPS tabanlı bir alıcı sistemle 2002 yılında güncellenmiştir. Bu istasyonlar İstanbul, İzmir, Diyarbakır, Erzurum, Samsun, Adana ve Isparta'da bulunmaktadır. Üst atmosfer ölçümleri rüzgâr profili ölçüm donanımlarıyla önemli derecede iyileştirilebilir. Bunun için ticari uçaklara monte edilen ölçüm sistemleriyle (AMDAR) sürekli veri elde edilebilir. Ancak MGM'nin henüz herhangi bir AMDAR veri erişim olanağı yoktur.



Ayrıca hava radarları da kısa vadeli hava tahminleri; özellikle şiddetli yağmur ve dolu sağanakların, gök gürültülü fırtınalar ile orta enlem ve Akdeniz cephesel siklonlarına bağlı olarak oluşan rüzgâr ve kar fırtınalarının belirlenmesi, öngörüsü ve erken uyarıları için çok yararlıdır, can ve mal kayıplarının azaltılması açısından yaşamsal öneme sahiptir (IPA 2009, Türkeş 2010) MGM'nin şu anda Türkiye'nin 10 ilinde/yöresinde (Ankara, İstanbul, Balıkesir, İzmir, Antalya, Adana/Hatay, Zonguldak, Samsun, Trabzon, Muğla) hava radarı vardır<sup>1</sup>.

MGM'nin nümerik hava tahmin modellerine (NWP) dayalı iyi bir hava, deniz, yol durumu, ekstrem (aşırı) koşullar vb. gibi birçok bileşeni olan iyi bir tahmin ve uyarı sistemi vardır. Hava tahminleri; saatlik, günlük, 1-5 günlük ve 1-10 günlük zaman ölçekleri için çeşitli ulusal basın organları, sosyal medya, TRT, özel radyo televizyon kanalları ve MGM'nin kendi web sayfası aracılığı ile yayınlanmaktadır. Ancak yeterli sayıda hava radarı olmadığı için operasyonel olarak çok kısa süreli hava tahminleri yapılamamaktadır. Ayrıca, MGM'nin fırtınanın oluşumunu ya da başlangıcını ve gelişimini gözlemlemeye yardımcı olabilecek yıldırım sensörleri henüz yoktur.

MGM'de otomatik hava gözlem istasyonlarının (OMGİ) yaygınlaşarak kullanılmaya başlaması ise, bazı çağdaştırma çalışmalarına ek olarak, esasen 21 Mayıs 1998'de Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde gerçekleşen uzun süreli ve etkili yağışların neden olduğu (Türkeş 1998b, Türkeş 2011) sel ve taşkınların yanı sıra 27 Haziran 1998'de Adana yöresinde oluşan deprem afetine dayanır. Bu önemli doğal afetlerden hemen sonra, oluşan önemli hasar ve kayıplarının onarılması konusu gündeme gelmiştir. Sonuç olarak, hem Adana'da oluşan depremin yarattığı hasar ve kayıpları onarmak ve depremleri izlemek hem de Batı Karadeniz'deki sel ve taşkın hasar ve kayıplarının etkilerinin onarılması ve bu afetlere neden olan hava olaylarını, sel ve taşkınları izlemek amacıyla bir Dünya Bankası kredisi ile Türkiye Sel ve Deprem Acil Yardım Projesi (TEFER) hazırlanmıştır. TEFER, 27 Eylül 1998 tarih ve 23476 sayılı *Resmî Gazete*'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu çalışmada, MGM'nin yanı sıra DSİ, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Afet İşleri Genel Müdürlüğü (şimdi AFAD), eski Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) gibi kamu kuruluşları ve bazı belediyeler yer almıştır.

Sonuç olarak, bazı teknik donanım ve tek bir mesleğe dayanmadan meteoroloji biliminin ve hizmetlerinin doğasına uygun çok disiplinli bir yaklaşımla istihdam edilmiş uzman eksiklerine rağmen MGM'nin fırtına gözlem ve erken uyarıları ile fırtına risk yönetimi ve modellemesini destekleyecek yeterli alt yapısının olduğu söylenebilir.

<sup>1</sup> <http://www.mgm.gov.tr/sondurum/radar.aspx?rG=img&rR=00&rU=wind#sfb> Erişim tarihi: 29.09.2014

### III. Zarar Görebilirlik Analizleri ve Algoritmaları

Fırtına afeti hasar modellemeleri, fırtına riskinin değerlendirilmesi için sıkça kullanılmaktadır. Fırtına afet riskleri, sigorta ve bankacılık sektörünü de içine almak üzere ekonomik risklerin yanı sıra sel riski, şiddetli rüzgâr riski ve fırtına kabarması gibi riskleri barındırmaktadır.

Fırtınaların matematiksel benzetimleri, fırtınaların oluşma riski ve yapıların tasarımı için rüzgâr hızı tahmini için en çok kabul gören yaklaşımdır (Cannon 1994). Model benzetimi yaklaşımı, rüzgâr haritalarının oluşturulması için ABD’de 1993’ten günümüze uygulanılmaktadır.

#### A. Risk değerlendirmesi için gerekli sosyal verilerin genel gruplandırılması

Risk, farklı yollarla, örneğin ölen insan sayısı ve etkilenen popülasyonla karşılaştırılarak ölenlerin oranı (%) olarak açıklanabilir. Gerçekte, kullanılan ya da temel alınan her bir ölçü bir diğerine göre bazı üstün ve yetersiz yanlara sahip olabilir.

Afet Risk İndisi (ARİ) çalışmasında, her afet türü için 2 gösterge kullanılır: Ölenlerin sayısı ve etkilenen popülasyon başına ölenlerin yüzdesi. Üçüncü gösterge, görece etkilenebilirliği göstermek amacıyla kullanılır. Ancak, farklı afetlerden etkilenen popülasyonlar bir standartlaştırma ya da normalleştirme yapılmaksızın karşılaştırılmaz.

**Sosyal ve ekonomik durum:** Ekonomik olarak dezavantajlı olan popülasyonlar fırtına gibi afetlerden orantısız bir biçimde etkilenirler. Diğer yandan yüksek gelire sahip popülasyonlar konut kayıpları gibi daha yüksek zararlarla karşılaşabilirler. Eğitim ve etkilenebilirlik arasındaki ilişki henüz tam belirlenmemiş olmasına rağmen, eğitim hem gelir hem de yoksulluk ile ilişkilidir. Ayrıca eğitimi yüksek kişilerin çeşitli afetler hakkında bilgi sahibi olup hazırlık yapma gibi imkânları olabilmektedir.

**1. Ev halkı durumu ve engellilik:** Bu kategorideki tüm kişiler finansal destek, taşıma, tıbbi destek ve yardım gibi “afet” anındaki günlük aktivitelere ihtiyaç duyarlar. Çocuklar ve yaşlılar afet olaylarından en çok etkilenen gruptur (Ngo 2001, Morrow 1999). Yalnız yaşayan ve fiziksel olarak herhangi bir güçlüğü olan yaşlılarda afetlerden etkilenme oranı yüksektir. Birçok yaşlı ve engelli kişi afet anında diğer insanların yardımına muhtaçtır.

**2. Azınlık durumu ve dil (Irk etnik köken ve dil):** Amerika’da yapılan çalışmalara göre Asya ya da Afro-Afrikan kökenli vatandaşların bulunduğu bölgelerin doğal afetlerden daha çok etkilenmektedir (Flanagan ve diğ. 2011). Sınırlı dil konuşma becerileri, afet anında iletişimi çok güçleştirir.

**3. Konut ve Taşıma:** Konut kalitesi afet etkilenebilirliğinin değerlendirilmesi için önemli bir faktördür. Bu durum kişisel zenginlikle yakından





ilişkilidir. Fakir insanların yaşadığı zayıf inşa edilmiş binalar fırtınalara karşı savunmasızdır.

Tablo 1'de verilen etkilenebilirlik sınıflarına ait indikatör değerleri Türkiye genelinde 81 il için elde edilmiştir. Kullanılan veriler gerçek bir etkilenebilirlik verisi olmadığından ancak potansiyel olarak bir değerlendirme yapılabilmektedir. Özetle; tüm nüfusun fırtına afetinden etkilendiği kabulü yapılmıştır, bu yüzden tüm Türkiye nüfusu için değerler kullanılmıştır.

Etkilenebilirlik Sınıfı	İndikatör
Öğretim	Okuryazarlık (%)
Demografi	Nüfus artış hızı (%)
	Nüfus yoğunluğu (kişi/km <sup>2</sup> )
	Kırsal nüfusun toplam nüfus içindeki oranı (%)
	Nüfus değişim (göç) hızı (%)
Ekonomik etkinlik	Bitkisel Üretim Değeri (%)
	Canlı Hayvan Değeri (%)
Sağlık, sağlık koruma ve baş edebilme kapasitesi	Bin kişi başına düşen otomobil sayısı
	Belediyelerde sağlanan günlük su tutarı (litre/kişi-gün)
	Yüzbin kişi başına düşen hastane yatak sayısı
	Nüfus sayısı (> 65 yaş)
	Nüfus sayısı (< 5 yaş)
	Ortalama hane halkı büyüklüğü

**Tablo 1:** Türkiye'de Fırtına Afeti Etkilenebilirlik Çözümlemesi ve Değerlemesi için hazırlanan, illerde hane halkının öğretim durumu, demografi, ekonomik etkinlik, sağlık, sağlık koruma ve baş edebilme kapasitesi durumlarına ilişkin indikatörleri içeren Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (SEİ) verileri (başta TÜİK olmak üzere, çeşitli kaynaklardan, 2014).

Bu çalışmada kullanılan ve yukarıda ortalama olarak istatistiği verilen tüm veriler Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınabilir. İlerde bir fırtına veri tabanı kurulacak olursa fırtına afetinden etkilenen bölgelerle ilgili yukarıda liste olarak verilen verilerin yanında etkilenebilirlik verisi (hasar tespit, can ve mal kaybı, afet boyutundaki rüzgâr şiddeti ve yönü) MGM'den ve AFAD'dan alınabilir. TÜİK'den alınan veriler il bazında ve genel verilerdir yani fırtına afetine özel veriler değildir.

## B. Zarar Görebilirlik Faktörleri

Etkilenebilirliğin (zarar görebilirliği) ve riski artırıcı en önemli faktörlerin insana dayalı faktörler olarak adlandırılması uygundur. Bu yüzden sosyal olarak nüfusun etkilenebilirliğini arttıran her faktör önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada da risk değerlendirmesi yapmak için, bir sosyal etkilenebilirlik indisi

kullanılmıştır. Aşağıdaki faktörler etkilenebilirliği arttıran sosyal faktörler olarak tanımlanabilir:

- Yoksulluk Sınırı
- İşsizlik
- Gelir
- Eğitim düzeyi
- 65 yaş ve üstü
- 17 yaş ve altı
- 5 yaş üstü engelli sayısı
- Tek ebeveynli konut
- Çok-birimli yapılar
- Prefabrik/Taşınabilir evler
- Araç olmaması
- Grup ikametgâhı

### C. Riskin Azaltma Faaliyetlerine Yönelik Analiz

Afet Riskinin Değerlendirilmesi ve bir Afet Risk İndisi oluşturulması çalışmalarının geçmişi, oldukça gerilere, 1970'li yıllara kadar uzanır (ör. UNDRO, 1976). Modelleme yaklaşımları iki türlü olabilir. Bunlar;

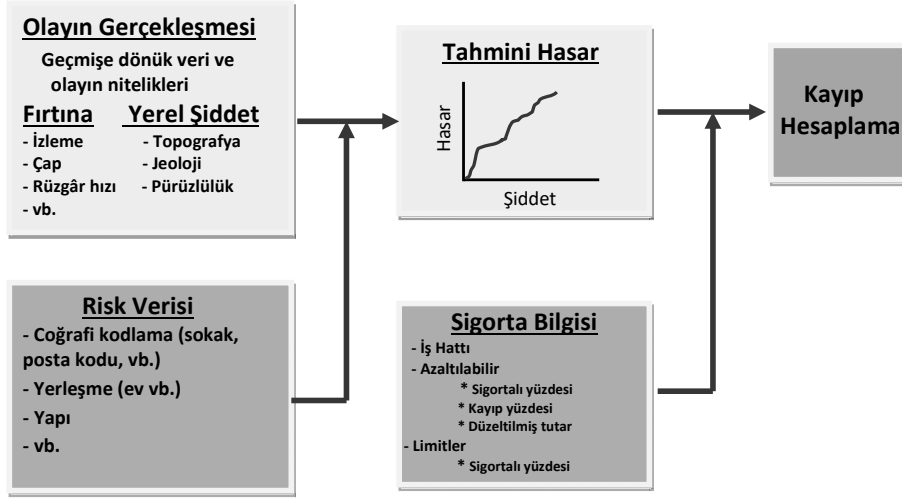
1. İndis temelli yaklaşımlar (ör. Felaket/Afet Risk İndisi, DRI)
2. Senaryo temelli yaklaşımlar:
  - Delil tabanlı yaklaşım
  - Deterministik yaklaşım
  - Olasılıklı yaklaşım

İyi ve güvenilir modeller çok fazla veri temini gerektirir. Geliştirilen model aşağıda listelenen bazı temel gereksinimleri karşılamalıdır:

1. Model geniş kapsamlı geçmişe yönelik verilerle sınıandığında, uyumlu ve tarafsız sonuçlar vermelidir.
2. Modeller gerçek zamanlı kabul edilebilir ve yansız tahminler üretmelidir.
3. Model bileşenleri hasarın temel fiziksel ilkelerini yansıtmalıdır.
4. Modeller günümüz koşullarında (ör. iklim) sınıandığında da yine güvenilir ve yansız sonuçlar üretmelidir.
5. İyi bir model, her fırtına döneminde ya da mevsiminde önemli derecede güncelleme gerektirmemelidir.

Şekil 1'de, bir afet risk modellemesinin nasıl olması gerektiği, fırtına afetine uyarlanarak gösterilmiştir.

Risk modellemeleri ve riskin azaltılması, AIR, EQECAT ve RMS gibi özel şirketler ve üniversite tabanlı araştırma enstitüleri (ör. Risk Frontiers, Macquarie University/Avustralya, Benfield Hazard Research Centre, University College London/UK gibi), Birleşmiş Milletler (BM) uzmanlık kuruluşları ve bölgesel kuruluşlar ya da bölgesel BM ofisleri tarafından da geliştirmektedir. Son yıllarda, AIR Worldwide ve RMS şirketleri ABD için kasırga hasar modellerinin yeni sürümlerini çıkarmıştır.



Şekil 1: Bir Afet Modeli taslağı ve temel bileşenleri Benson ve diğ. (2007)'ye göre yeniden düzenlendi.

#### D. Afet Riskinin Hesaplanması

Afet Riski, UNDP/BCPR (2004)'ün geliştirdiği ve uyguladığı ARI'de genel olarak can kaybını niteler ve fiziksel bakı (etkilenmişlik) ile etkilenebilirliğin bir fonksiyonu olarak görülür:

Afet riski aşağıdaki iyi bilinen genel eşitlik (*Eşitlik 2*) ile gösterilir:

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

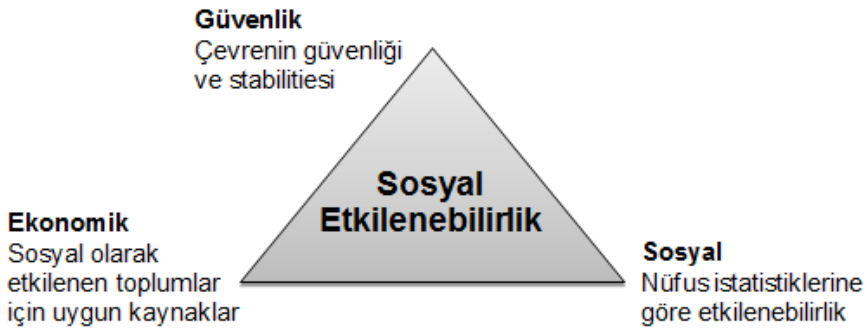
Tablo 2'de afet risk çözümlerinde kullanılması önerilen indikatörlerin üstün/zayıf yanlarından bahsedilmiştir.

Risk İndikatör-leri	Üstün Yanları	Zayıf Yanları
Ölen insan sayısı	Her insan "aynı ağırlıktadır".	Küçük nüfuslu ülkeler dezavantajlıdır.
Ölen İnsan Sayısı / Popülasyon	Bu oran ülkeler arasındaki karşılaştırmalara olanak verir. Az nüfuslu ülkeler, nüfusu daha çok olan ülkelerle "aynı ağırlıktadır".	Her insan "farklı ağırlıktadır". Örneğin, Honduras'ta yaşamını yitiren bir kişi, Çin Halk Cumhuriyeti'nde (ÇHC) ölen yaklaşık 200 kişiye eşit olmaktadır.
Ölen İnsan Sayısı / Etkilenen Popülasyon	Etkilenen nüfus toplam ulusal nüfusun küçük bir bölümüne karşılık gelmekle birlikte, bölgesel risk belirlenir.	Bu yaklaşım ulusal önemde olmayan yerel afet sorunlarını öne çıkarabilir ve seçilen ülke açısından yanlış öncelik verir.

**Tablo 2:** Afet riskinin belirlenmesi çözümlerinde kullanılması önerilen Afet Risk İndikatörlerinin üstün ve zayıf yanları UNDP/BCPR (2004).

UNDP/BCPR (2004) çalışmasında afet riskinin modellenmesinde kullanılan formül 3 bileşenden oluşur. Bunlar; felaket/afet oluşumunun olasılığı, riskteki öge (insan nüfusu) ve etkilenebilirlik olarak alınır. Başka bir deyişle, afet riski bu 3 bileşenin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar ve afetten etkilenmiş bir alanda yaşayan insan popülasyonu açısından hesaplanır ve değerlendirilir.

**Sosyal Etkilenebilirlik Kavramı:** Her toplum fırtına ve hortum gibi tehlikeli doğa olaylarına karşı hazırlıklı olmalı ve karşılık verebilmelidir. Yoksulluk, ulaşım eksikliği ve kalabalık ev nüfusu gibi toplumun doğa olayları sırasında insan zararları ve finansal kayıpların engellenme kabiliyetini zayıflatan güvenlik, ekonomi ve sosyal durum faktör ya da bileşenleri sosyal etkilenebilirlik olarak tanımlanır (Dao ve Peduzzi, 2003).



Şekil 2: Sosyal Etkilenebilirliğin ana bileşenleri.

**Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (SEİ):** Sosyal etkilenebilirlik indisi popülasyon verisini kullanarak her nüfus alanı için göreceli olarak sosyal etkilenebilirliği hesaplar. Örneğin ABD için hesaplanan SEİ her alan için 14 sosyal faktörü 4 gruba ayırarak derecelendirir. SEİ veri tabanı ArcGIS kişisel geodatabase formatı (mdb) olarak sunulmaktadır. Mdb uzantılı dosyalar Access ve Excel gibi programların kullanılmasına uygun hale getirilebilir.

**Sosyal Etkilenebilirlik İndisinin Toplumların Afete Daha İyi Hazırlanması Üzerindeki Rolü:** SEİ sağlık örgütleri ve yerel planlayıcıların fırtına afetine karşı cevap ve hazırlık için yardımcıdır. SEİ haritalarının hazırlanması potansiyel olarak afetlerden etkilenebilir bölgelerin gösterilmesini sağlar ve afet döngüsü safhalarında etkin bir biçimde kullanılabilir kullanılabilir (Flanagan ve diğ. 2011).

SEİ aşağıdaki durumlar için kullanılabilir:

- İlaç, yatak, su ve gıda gibi yardım malzemelerinin miktarının tahmini
- İnsanlara yardım edecek acil yardım personelinin sayısının belirlenmesi
- Acil durum barınakları ihtiyacı için kullanılacak alanların belirlenmesi
- Aracı olmayanlar, yaşlılar ya da bölgede konuşulan dili iyi bilmeyenler gibi özel ihtiyacı olan insanları da hesaba katarak tahliye için en uygun yolun planlanması



- Fırtına afeti sonrası toparlanmak için yardıma ihtiyacı olan toplulukların belirlenmesi

### E. Sosyal Etkilenebilirlik İndisinin ve Fırtına Afet Riskini Hesaplama Metodolojisi

SEİ hesaplanması için elde edilen her nüfus göstergesi 0-1 arası normleştirilerek toplanır ve toplam etkilenebilirlik değeri elde edilir. Örneğin 65 yaş üzeri nüfusun en çok görüldüğü bölge 1 ve en az görüldüğü bölge 0 değeri verilerek diğer bölgeler içinde 0-1 arası bir değer hesaplanır.

Diğer bir yöntem ise “yüzde sırası” hesaplanarak SEİ belirlenir (Flanagan ve diğ. 2011). SEİ hesaplamak için her bir parametre büyükten küçüğe doğru sıralanır. İstisna olarak gelir düzeyi küçükten büyüğe doğru sıralanır çünkü diğer parametrelerin aksine yüksek gelir (değer) daha az etkilenebilirlik demektir.

Yüzde sırası aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$Yüzde\ sırası = (Sıra - 1) / (N - 1) \quad (3)$$

Burada N toplam veri sayısını gösterir ve tüm dizideki veriye bir sıra numarası atanmıştır.

Çalışmada belirlenen nüfus alanlarının (grid kutusu ya da il/ilçe alanları) içinde bulunan toplam nüfus belirlenecek ve bu alanlar nüfus parametreleri olarak homojen kabul edilecektir.

Afet riskinin modellenmesinde aşağıdaki formül dikkate alınır (Eşitlik 4):

$$0 \text{ (Afet)} \cdot Nüfus \cdot Etkilenebilirlik = 0 \text{ (Afet Riski)} \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te verilen bu istatistiksel ifadenin oluşturulmasında yararlanılan üç faktör ya da bileşenin 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 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 de (örneğin bir afet türü için gelişmiş ve afet risk yönetimi plan, politika ve uygulamaları olan bir gelişme ülkedeki yurttaşlar açısından) ortaya çıkabilir. 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 (4)'teki ifadedden yola çıkılarak, aşağıda verilen sadeleştirilmiş “risk eşitliği” (Eşitlik 5) oluşturulmuştur (UNDP/BCPR, 2004):

$$R = Af \cdot Pop \cdot Etb \quad (5)$$

Burada R, riski; Af, doğal afeti; Pop, etkiye uğrayan bir alanda yaşayan nüfusu; Etb, etkilenebilirliği gösterir. Eşitliği açmak gerekirse riskin, ölen insan sayısına; doğal afetin, belirli bir afetin sıklığı ve şiddetine; popülasyonun, etkiye uğrayan alanda yaşayan insan nüfusuna ve etkilenebilirliğine, etkilenen nüfusun

sosyal, politik ve ekonomik niteliğine ve afetle baş etme kapasitesine, olanağına ve yetesine bağlı olduğu söylenebilir.

Aşağıda, *Eşitlik* (6)'da göreceğimiz gibi afetten etkilenmiş nüfusun ( $Pop_{Ets}$ ) afet (ör. afetin sıklığı,  $Frk$ ) ile çarpılması ise fiziksel etkilenmişliği (afet bakısı,  $FizEts$ ) hesaplamak için kullanılır.

*Eşitlik* (6), fiziksel bakının risk değerlendirmesi 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. Bu çalışmada etkilenebilirlik faktörü, Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (SEİ) kullanılarak hesaplanacaktır.

Fiziksel bakı, kaydedilmiş olan her afet olayından etkilenmiş olan alanın modellenmesi 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 başka bir deyişle "klimatolojik olasılığı" elde edilir.

Afetten etkilenmiş alan kullanılarak da etkilenmiş popülasyondaki fert sayısı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olanağı kullanılarak belirlenir.

Afetten etkilenmiş popülasyon ( $Pop_{Ets}$ ), fiziksel bakının ( $FizEts$ ) bir ölçümünü sağlayan belirli bir büyüklük ya da şiddet düzeyi için belirlenen bir afet olayının sıklığı ( $Frk$ ) ile çarpılır (*Eşitlik* 7):

$$FizEts = Pop_{Ets} \cdot Frk \quad (7)$$

Doğal olayın büyüklüğü ya da şiddeti, bir afet olayına ilişkin bir üst eşik değerin çizilmesi ile dikkate alınır. Örneğin, depremler söz konusu olduğunda, eşik değer Rihter ölçeğine göre 5.5 büyüklüğünde belirlenir. Sonra, fiziksel bakının hesaplanması amacıyla, büyüklükle ilişkili etkilenmiş alanın boyutuna yaklaşarak kısmen dikkate alınır. Küresel afet riski değerlendirmelerinde kullanılmak üzere afet olayının büyüklüğünün kestirilmesi, bu çalışmalarda ilerleme gösterme açısından önemli bir fırsatın ve olanağın bulunduğu bir alan olarak kabul edilmektedir.

Doğal afetler nedeniyle oluşması beklenen kayıplar, bir alandaki popülasyonun karşı karşıya kaldığı tüm risk türlerinin toplamına eşit olacaktır. Bu özellik, *Eşitlik* (8)'te özetlenmiştir:

$$Risk_{Toplam} = \sum_{i=1}^n (Risk_{Tasqan} + Risk_{Deprem} + Risk_{Volkan} + Risk_{T.Siklon} + \dots + Risk_n) \quad (a) \quad (8)$$

*Eşitlik* (8)'ten görülebileceği gibi, bir ülke için geçerli olan çoklu (çok faktörlü) afet riski için, her bir afetın şiddetinin/büyüklüğünün ve oluşma olasılığının, afetın etkilediği insan sayısının, popülasyonun etkilenebilirliğinin tanımlanmasının ve afet ile baş etme ve üstesinden gelme kapasitesinin bir kestirimini hesaplamak gerekir.

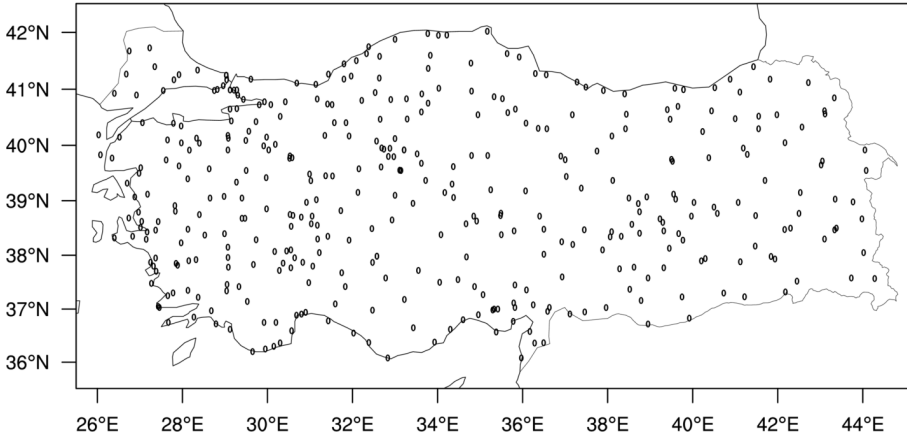


## IV. Afet Riskleri ve Risk Değerlendirme

### A. Fırtına Afeti Risklerinin Belirlenmesine Yönelik Analiz Çalışması ve Fırtına Afeti için Risk Faktörleri

MGM'den fırtına afeti için gerekli klima, sinoptik ve otomatik gözlem istasyonlarına (OMGİ) ait tüm saatlik veriler istenmiştir. Bu istasyonlardan sadece OMGİ istasyonları maksimum rüzgâr verisine sahiptir ve ölçüm periyodu 2007 yılından günümüzedir. Klima istasyonları ölçüm periyodu 1940'tan günümüze olmasına rağmen ölçülmüş en yüksek hızı 9.9 m/s'dir. Bu yüzden klima istasyonlarına ait veriler kullanılamamıştır.

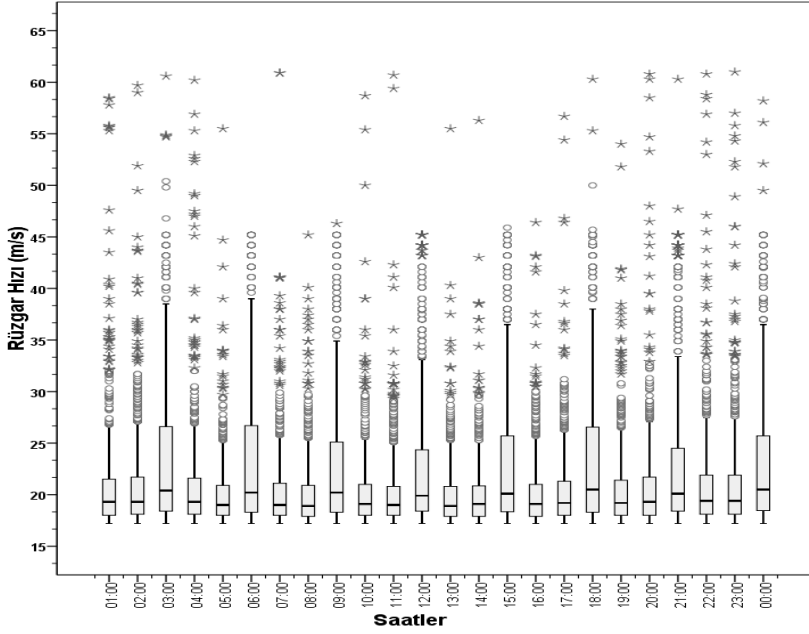
Benzer şekilde sinoptik istasyon verileri 1980 yılından günümüze ölçüm yapmasına rağmen fırtına seviyesinde ölçüm sayısı OMGİ istasyonlarına göre %10 bile değildir. Bu yüzden hem ölçüm sayısının hem de istasyon sayısının azlığı nedeniyle sinoptik istasyon verileri de kullanılmamıştır. Üstelik sinoptik istasyon sayısı OMGİ istasyonlarına göre çok azdır. Bu yüzden bu çalışmada 01/01/2007 tarihinden 31/08/2014 tarihine kadar olan 394 adet OMGİ istasyonuna ait saatlik maksimum rüzgâr verisi (m/s) ve yönü (derece) kullanılmıştır.



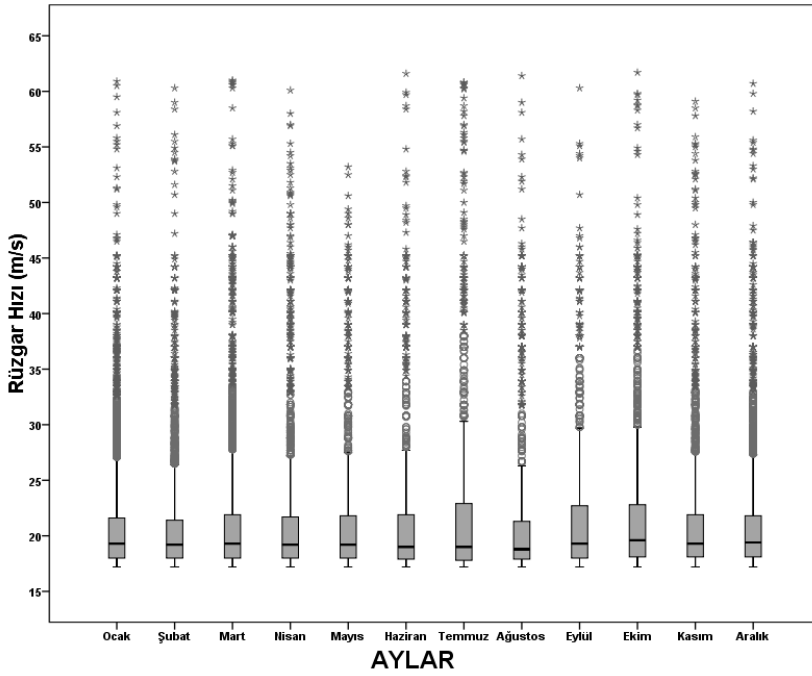
Şekil 3: Çalışmada kullanılan 394 adet OMGİ'nin coğrafi dağılımı

Şekil 3'te görüldüğü üzere OMGİ istasyonlarının alansal olarak Türkiye üzerindeki dağılımı oldukça iyidir. Türkiye'nin batı yarısındaki istasyon sayısının doğu yarısına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4'teki kutunun içindeki ince çizgi medyan değerini (%50) kutunun alt ve üst sınırı sırasıyla verinin %25 ve %75'inin bulunduğu durumu göstermektedir. Daire şeklindeki semboller aykırı değerleri yıldız şekilleri ise ekstrem değerleri göstermektedir. Şekil 4'te de görüldüğü üzere günün her saatinde ekstrem değerler oluşabilmektedir. Tüm saatlerin medyan değerleri benzerlik göstermekle birlikte hem gündüz hem de gece saatlerinde %75'lik dilimde bulunan veri sayısı değişiklik göstermektedir. Sonuç olarak Türkiye genelinde her saatte afet seviyesinde fırtına beklenebilir.



Şekil 4: Saatlere göre düzenlenmiş verilerin kutu profili



Şekil 5: Aylara göre düzenlenmiş verilerin kutu profili





Şekil 5'te aylara göre gruplanmış verilerin kutu profili görülmektedir. Şekil 4'teki saatlere göre gruplanmış verilerdeki durum Şekil 5'te de görülmektedir. Ancak ölçüm sayısı aylara göre büyük farklılık göstermektedir. Kutu profilinden toplam ölçüm sayısı anlaşılacağı için Tablo 3'te aylara göre gruplanmış saatlik verilerin tanımsal istatistikleri verilmiştir.

Aylar	Veri Adedi	Minimum (m/s)	Maksimum (m/s)	Ortalama (m/s)	St. Sapma (m/s)
Ocak	6612	17.20	60.90	20.78	4.67
Şubat	6694	17.20	60.30	20.44	4.03
Mart	6862	17.20	61.00	20.95	4.87
Nisan	3414	17.20	60.10	21.32	5.97
Mayıs	1698	17.20	53.20	21.77	6.53
Haziran	1381	17.20	61.60	22.11	7.40
Temmuz	1375	17.20	60.80	23.01	8.81
Ağustos	1485	17.20	61.40	21.63	6.94
Eylül	1309	17.20	60.30	22.28	7.03
Ekim	2536	17.20	61.70	21.91	6.34
Kasım	4188	17.20	59.10	21.02	5.12
Aralık	6171	17.20	60.70	20.83	4.53

Tablo 3: Aylara göre gruplanmış saatlik verilerin tanımsal istatistikleri

Tüm aylarda Tablo 5'te verilen Fujita EF2 ölçeğinde rüzgâr hızları ölçülmüştür. Soğuk mevsim aylarındaki ölçüm sayısı sıcak mevsim aylarına göre yaklaşık olarak 4-5 kat fazladır. En çok fırtına Şubat ayında en az ölçüm ise Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

Ölçek No	Rüzgârın Tanımı	Rüzgâr Hızı (m/s)	Rüzgârın Karada Yaptığı Etki
0	Sakin	0 - 0.2	Duman dikine yükselir.
1	Esinti	0.3 - 1.5	Rüzgârın yönü, rüzgâr değil, dumanın sürüklenmesinden belli olur.
2	Hafif Rüzgâr	1.6 - 3.3	Rüzgâr insan teninde hissedilir, yapraklar titreşir, rüzgârgülü harekete geçer.
3	Tatlı Rüzgâr	3.4 - 5.4	Rüzgâr yaprakları ve ince dalları devamlı hareket ettirir. Bayrakları hafif dalgalandırır.
4	Orta Rüzgâr	5.5 - 7.9	Rüzgâr toz ve kağıt parçacıklarını uçurur, küçük dalları hareket ettirir.
5	Sert Rüzgâr	8.0 - 10.7	Yapraklı küçük ağaçlar sallanmaya başlar, iç sularda tepeli dalgacıklar oluşur.

Ölçek No	Rüzgârın Tanımı	Rüzgâr Hızı (m/s)	Rüzgârın Karada Yaptığı Etki
6	Kuvvetli Rüzgâr	10.8 - 13.8	Büyük dallar sallanır, telgraf tellerinde ıskık sesi işitilir, şemsiye taşımak güçleşir.
7	Fırtınamsı Rüzgâr	13.9 - 17.1	Bütün ağaçlar sallanır. Rüzgâra karşı yürümek güçleşir.
8	Fırtına	17.2 - 20.7	Rüzgâr filizleri kırar ve rüzgâra karşı yürümek genellikle çok zordur.
9	Kuvvetli Fırtına	20.8 - 24.4	Zayıf yapıli binalarda hasar meydana gelir. Bacalar yıkılır, kiremitler uçar.
10	Tam Fırtına	24.5 - 28.4	Karada nadir olup, ağaçları kökünden söker, binalarda önemli zararlar yapabilir.
11	Çok Şiddetli Fırtına	28.5 - 32.6	Ender rastlanır ve geniş çapta hasarlara neden olur.
12	Harakeyn (Kasırğa)	32.7 +	-

Tablo 4: Bofor Ölçeğine göre açık ve düz alanda 10 m yükseklikte tanımlanmış rüzgâr hız sınırları (<https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/beaufort.pdf>)

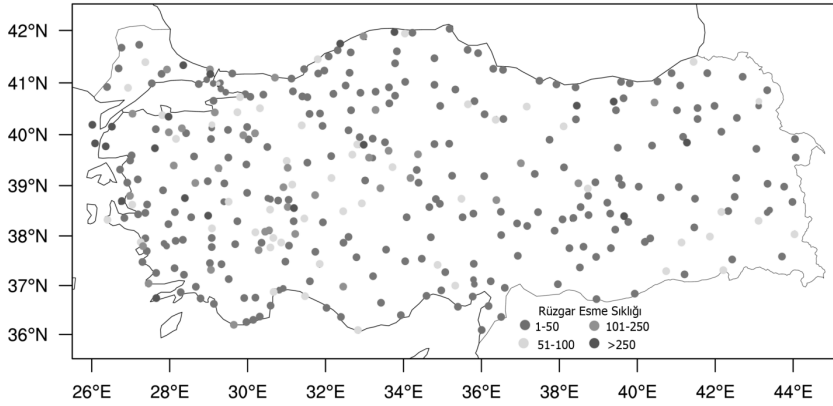
Sınıf	Rüzgâr Hızı	Hasar
EF0	105 - 137 km/h	Ağaçlara ve mobil evlere zarar verir.
EF1	138 - 178 km/h	Mobil evleri temellerinden hareket ettirir, çatı padavalarını soyar.
EF2	179 - 218 km/h	Çatıları söker, mobil evleri yıkar, büyük ağaçları köklerinden söker.
EF3	219 - 266 km/h	Çatı ve duvarları yıkar, arabaları yerlerinden oynatır.
EF4	267 - 322 km/h	İyi inşa edilmiş evleri şiddetle sarsar, zayıf temelli evleri kımıldatır, arabaları fırlatır.
EF5	> 322 km/h.	Evleri temellerinden kaldırıp süpürür, arabaları 90 m uzağa fırlatır.

Tablo 5: T. Theodore Fujita tarafından 1971 yılında ortaya konulan hortum şiddeti ölçeğinin 28 hasar göstergesine dayanan, farklı yapı türlerini ve farklı mimari dayanıklılık seviyelerini dikkate alarak hesaplanan geliştirilmiş halidir (McDonald ve Mehta, 2006)

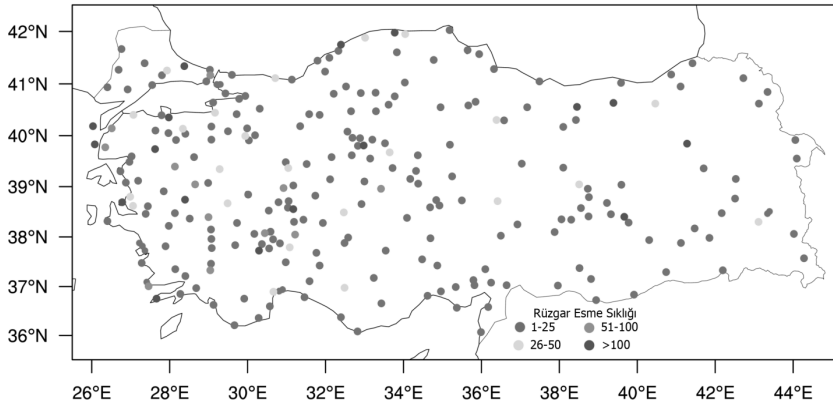
MGM'den sağlanan OMGİ istasyonu verileri, rüzgâr hızı fırtına seviyesine ulaştığında rüzgâr yönü bilgisini içermemektedir. Bu yüzden hazırlanan rüzgâr verisi desenleri rüzgâr yönünü içermemektedir. Rüzgâr desenleri ilk önce Bofor ölçeğine göre hazırlanmıştır. Bofor ölçeği Tablo 4'te verilmiştir. Bofor ölçeği 32.7 m/s'den daha kuvvetli esen rüzgâr hızını sınıflandırmadığından Türkiye'de hemen hemen her ay ölçülmüş 60 m/s gibi çok yüksek hızları ölçeklendirmeye



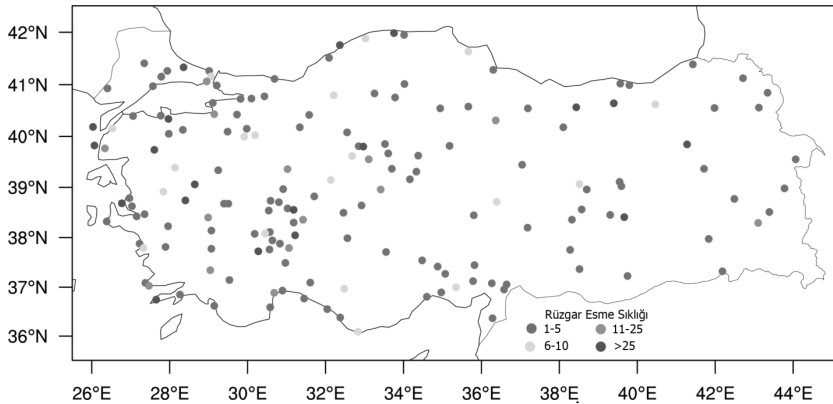
mektedir. Bu yüzden hızı 32.7 m/s'den fazla olan rüzgâr hızları için Fujita hortum ölçeği kullanılmıştır.



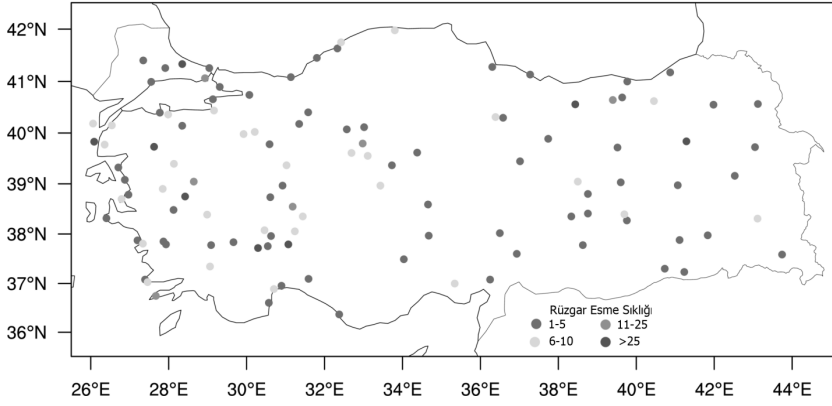
Şekil 6: Bofor 8 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 355 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları



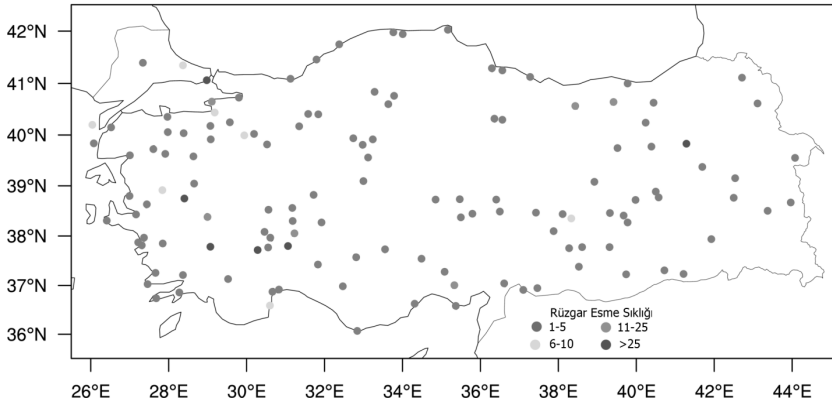
Şekil 7: Bofor 9 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 261 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları



Şekil 8: Bofor 10 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 169 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları



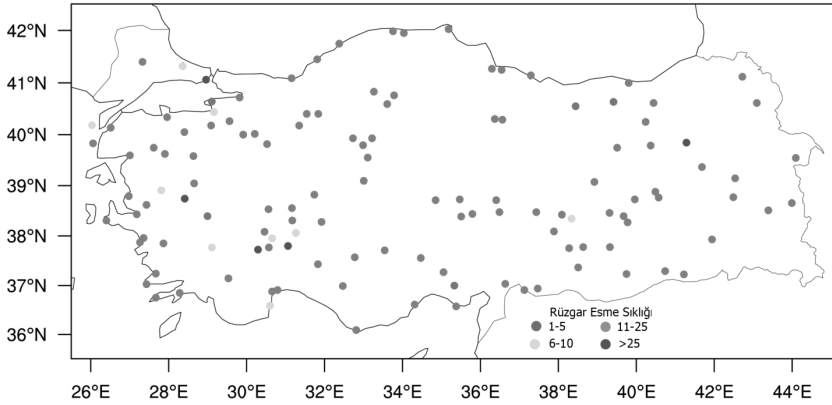
Şekil 9: Bofor 11 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 113 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları



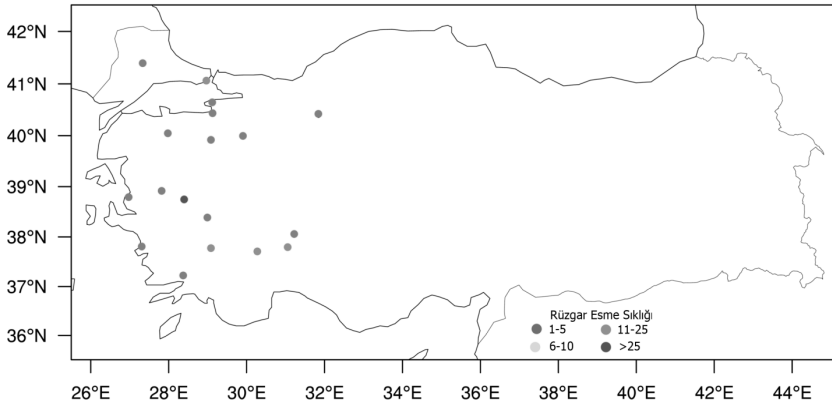
Şekil 10: Bofor 12 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 131 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları

Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da Bofor 8-12 ölçeğine göre Türkiye'deki OMGİ istasyonlarının dağılımı görülmektedir. Görüldüğü üzere Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde fırtına düzeyinde rüzgâr estiği gözlenmiştir. Ülkenin batı kesimlerindeki rüzgârın hızı, şiddeti ve yönü ile ölçülen istasyon sayısı, doğu kesimlerine göre yüksektir. Özellikle rüzgâr hızı arttıkça bu durum daha da belirginleşmektedir.

Özellikle Akdeniz kıyılarındaki Bofor 11 ve Bofor 12 şiddetinin görüldüğü istasyon sayısının azlığı dikkat çekicidir. Bofor ölçeği rüzgâr hızı 32.7 m/s'den daha şiddetli rüzgârları sınıflandırmadığından bu hızdan fazla olan ölçümler Tablo 5'te verilen Fujita ölçeğine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 11: Fujita F1 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 127 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları



Şekil 12: Fujita F2 ölçeğinin ölçüldüğü Türkiye'deki 18 OMGİ istasyonunun coğrafi dağılımı ve rüzgâr esme sıklıkları

Şekil 11 ve Şekil 12'de Fujita F1 ve Fujita F2 ölçeğinin ölçüldüğü istasyonlar görülmektedir. F0 ölçeğine göre sınıflandırmaya gerek duyulmamıştır çünkü F0 ölçeği sınırları Bofor ölçeği sınırları içerisinde. F2 şiddetinin görüldüğü yerlerde çatıları sökülür, mobil evler yıkılır ve büyük ağaçlar köklerinden sökülür. Eldeki verilere göre Akdeniz bölgesinde 2007 yılından günümüze hiç F2 şiddetinde rüzgâr görülmemesi dikkat çekicidir.

## B. Fırtına Afeti için Riskin Modellenmesi ve Hesaplanması

Riskli bölgelerin belirlenmesi için öncelikle Denklem (7)'de verilen popülasyondan etkilenmiş nüfus verisine ihtiyaç vardır. Ancak çalışma kapsamında böyle bir veri sağlanamadığı için, SEİ kullanılarak Denklem (7) hesaplanmıştır. MGM'den alınan saatlik maksimum rüzgâr verisi periyodu çok kısa olduğundan Denklem (7)'de verilen frekans verisini hesaplamak için Tablo 7'de verilen Bofor rüzgâr ölçeğine göre frekanslar hesaplanmıştır. Frekansların hesaplanması

için Bofor 8 ve daha üzeri rüzgâr şiddetlerinin frekanslar kullanılmıştır. Frekanslar hesaplanırken Tablo 6'da verilen ağırlıklar kullanılmıştır.

Rüzgâr Şiddeti	Ağırlık
Bofor 7	0
Bofor 8	0.176
Bofor 9	0.367
Bofor 10	0.564
Bofor 11	0.777
Bofor 12	1

Tablo 6: Bofor Rüzgâr Ölçeğine göre frekans hesaplanmasında kullanılan ağırlıklar

Tablo 6'da verilen ağırlıklar Tablo 4'te verilen minimum rüzgâr hızlarına göre hesaplanmıştır. Bofor 8 ya da Bofor 9 şiddetinde fırtına görülen bölgelerde de Bofor 11 ya da Bofor 12 şiddetinde fırtına görülmesi olasıdır. Ancak MGM'den sağlanan fırtına verilerinin kayıt süreleri uzun olmadığı için bu durum belirlenememiştir. Bu yüzden Bofor 8 ve üzeri rüzgâr şiddeti görülen alanlar ağırlığı azaltılarak frekans hesabına dâhil edilmiştir. Bofor ölçeğine göre hasar vermeyen en şiddetli rüzgâr Bofor 7'nin ağırlığı 0 ve en şiddetli rüzgâr ölçeği Bofor 12'nin ağırlığı 1 olarak alınmıştır ve frekanslar bu ağırlıklarla çarpılarak toplam frekans elde edilmiştir.

Denklem (7) ile hesaplanan fiziksel etkilenmişlik Denklem (6)'da SEİ değerleri ile çarpılarak risk değerlendirme yapılmıştır. Risk değerlendirme yapılırken il bazında hesap yapıp homojen dağılım kabulü yapıldığı için alansal temsil edilebilirliği etkileyen aşağıdaki istasyonlara ait veriler çözümleme veri setinden çıkarılmıştır.

- Mersin
  - Silifke
  - Tarsus
  - Alata - Erdemli
- Hatay
  - Havaalanı
  - TİGEM
- Antalya
  - Korkuteli
  - Kale-Derme
  - Finike
  - Alanya
- Aydın
  - Sultanhisar
  - Nazilli
- Kocaeli
  - Merkez
  - Cengiz Topel
- Yalova
- Düzce
- Bartın
  - Merkez
  - Ulus



- Bursa
  - Yenişehir Havaalanı
  - Uludağ Zirve
- Zonguldak
  - Karadeniz Ereğli
  - Acısu-radar
  - Devrek
- Giresun
  - Kümbet
- Erzurum
  - Palandöken
- Gümüşhane
  - Zigana Kayak Merkezi

## V. Türkiye'nin Fırtına Afeti Etkilenebilirlik ve Fırtına Risk Haritaları

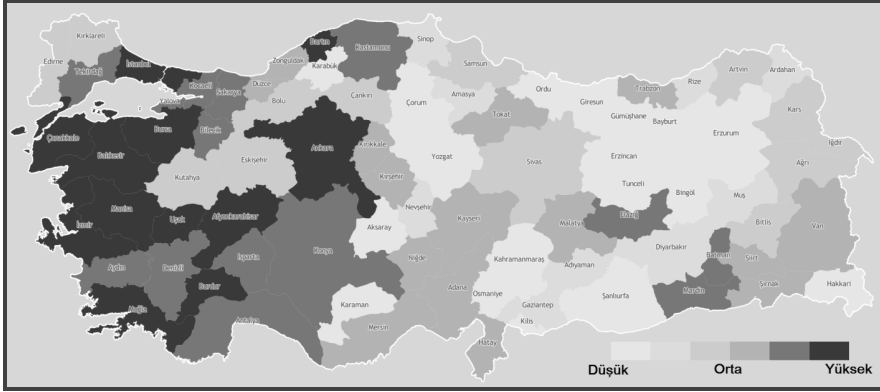
Türkiye için gerçek bir etkilenebilirlik verisi olmadığı için Fırtına Afeti etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi ve değerlemesi ancak "potansiyel" olarak yapılabilmektedir. Modelin kurulabilmesi amacıyla, bu eksik karşı sosyal ve ekonomik veri ve göstergeler kullanılarak etkilenebilirlik çözümlemesi (Şekil 13) ve hesaplanan etkilenebilirlik indisi kullanılarak da Türkiye'deki potansiyel fırtına riskinin değerlendirilmesi (Şekil 14) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13: Fırtına riski için Türkiye sosyal etkilenebilirlik indisi

Şekil 13'te gösterilen SEİ değerlerine göre sosyal ve ekonomik göstergeleri daha düşük olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin tamamı, Doğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz ve Ege kıyılarındaki (örneğin İzmir, Antalya) bazı illerin etkilenebilirlik düzeyleri yüksek çıkmıştır. Nüfusun yoğun olduğu İstanbul, İzmir, Bursa ve Kocaeli ve Ankara gibi illerde de SEİ değerleri yüksektir.

Şekil 14'te Türkiye için SEİ ve saatlik maksimum rüzgâr hızının frekansları kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi deseni görülmektedir. Buna göre, nüfusun yoğun olduğu İstanbul, İzmir ve Ankara başta olmak üzere Ege Bölgesinin neredeyse tamamı, Marmara bölgesinin önemli bir bölümü, Batı Karadeniz ve Akdeniz kıyıları fırtına afetine karşı riskli olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 14: Fırtına afeti Türkiye potansiyel risk haritası

### Fırtına Afeti için Riskin Modellenmesi ve Karşılaşılan Zorluklar

Risk modellemesi önceki bölümlerde açıklanan Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 kullanılarak yapılmıştır. Fırtınaların etkili bir biçimde erken uyarısı ve/veya risk modellemesi için öncelikli olarak ayrıntılı ve güvenilir veri elde edilmesi şarttır. Çalışma kapsamında istenen verilerin aşağıda verilen sıkıntıları vardır.

- Riskli bölgelerin belirlenmesi için öncelikle Eşitlik (7)'de verilen etkilmiş nüfus verisine ihtiyaç vardır. Ancak çalışma kapsamında böyle bir veri sağlanamadığı için Sosyal Etkilenebilirlik İndisi (SEİ) kullanılarak Eşitlik (7) hesaplanmıştır.
- MGM'den alınan saatlik maksimum rüzgâr verisi periyodu çok kısa olduğu için frekanslar Tablo 4'te verilen Bofor rüzgâr ölçeğine göre hesaplanmıştır.
- Kullanılabilen veriler il bazındadır bu yüzden risk haritası il bazında oluşturulmuştur.
- Risk modellemesi için gerekli afetten etkilenen popülasyon verisi sağlanamadığı için tüm nüfusun afetten etkilenen popülasyon olduğu kabulü yapılmıştır.
- Veriler il bazında olduğu için verilerin il haritası üzerinde homojen bir biçimde dağıldığı kabulü yapılmıştır. Bu yüzden homojen dağılımı önemli derecede etkileyen veriler çıkarılmıştır.
- Düzce, Zonguldak, Hatay ve Şanlıurfa ve Kilis ili fırtına riski homojenliği bozan verilerin çıkarılmasına rağmen beklenenin altında düşük çıkmıştır. Bu illerdeki OMGİ istasyonlarının yerinin rüzgâr hızı ve yönü ölçümleri için yeterli alansal temsil edilebilir noktalarda olmadığı düşünülmektedir. Özellikle Batı Karadeniz kıyılarında ve Şanlıurfa'da OMGİ sayıları arttırılmalıdır. Benzer durum Doğu Akdeniz kıyıları içinde geçerlidir. Örnek vermek gerekirse, Mersin iline ait istasyonların yeri ve ölçü-





len veriler yeniden gözden geçirilmelidir. İstasyonların yerleri MGM tarafından güvenlik, ulaşım gibi faktörler gözetilerek belirlenmelidir.

- Bursa Uludağ Zirve, Acısu-Radar, Karadeniz Ereğli, Mersin Silifke, Tarsus, Alata-Erdemli Alanya, Finike, Hatay TİGEM, Yalova, Kocaeli Cengiz Topel ve Düzce istasyonlarının saatlik maksimum verilerinin MGM tarafından tekrar incelenmesi gerekmektedir. Özellikle Uludağ Zirve, Silifke, Tarsus, Alata-Erdemli ve Batı Karadeniz Kıyısındaki istasyonların saatlik maksimum rüzgâr verilerinin doğru olmadığı düşünülmektedir.

## VI. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, gerçek bir fırtınadan etkilenebilirlik verisi olmadığı için Fırtına Afeti etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi ve değerlendirilmesi ancak potansiyel olarak yapılabilmektedir. Ayrıca sosyoekonomik indikatörler kullanılarak etkilenebilirlik analizi yapılmış ve hesaplanan etkilenebilirlik indisi kullanılarak da Türkiye'nin "potansiyel" fırtına risk değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçek bir risk değerlendirmesi yapılabilmesi için ileriye dönük çalışmalar yapılması gerekmektedir. Aşağıda yapılması önerilen bazı temel çalışmalar maddeler şeklinde verilmiştir:

- Fırtına afetinden etkilenmiş nüfus verisine acilen ihtiyaç vardır. Maalessel MGM ve AFAD'da geçmişe dönük fırtına afeti için bir veri tabanı yoktur. Bu yüzden bir an önce fırtına afetine yönelik bir veri tabanı oluşturulması gerekmektedir.
- Sağlanabilen nüfus verileri il bazındadır. Risk değerlendirmesi yapılırken il verilerinin homojen dağıldığı kabulü yapmak zorunda kalınmıştır. Bu yüzden türdeşliği bozan veriler analizlerden çıkarılmıştır.
- Bu nedenle, daha sağlıklı ve doğru bir değerlendirme için bundan sonraki çalışmalarda verilerin en azından ilçe bazında olması gerekmektedir.
- MGM'den alınan verilerde hızı 10 m/s'den kuvvetli rüzgârlar için yön bilgisi bulunmaması nedeniyle, fırtına afeti oluşumu ve nedenleri ile ilgili bir sentez yapılamamıştır. Bu kapsamda, MGM'nin saatlik maksimum rüzgâr hızlarının yön bilgisini eksiksiz sağlaması gerekmektedir.

Türker ve Çeşmeci (2008) ise afetlerin oluşturabileceği hasar ve kayıpların en aza indirilmesi konusunda, çağdaş bir afet yönetim planı çerçevesinde, afet öncesi alınan önlemlerin öneminin büyük olduğunu ve alınabilecek önlemlerin, olası bir afetin etkilerini azaltabilecek ve sürdürülebilir önlemler olması gerektiğini vurgulayarak bu kapsamda yapılabilecek olanları şöyle sıralamıştır:

1. Kısa zamanda kararı alınıp uygulanabilecek en önemli önlem, kış aylarında artan fırtınalara bağlı olarak oluşan soba gazı zehirlenmelerine karşı, yerel halkın yerel yönetimler ve ilgili kamu kuruluşlarınca eğitilmesi ve bilinçlendirilmesidir.

2. Rüzgârlı havalarda baca basmasını ve yağmur suyunun baca içini ısılatmasını önlemek için teknik kurallara uygun baca sistemleri yapılmalı; soba kurmadan önce borular ve bacalar mutlaka temizlenmelidir. Baca temizliği için Türkiye’de en uygun aylar Haziran-Eylül aylarıdır.
3. Özellikle kaçak yapılaşmanın üzerine gidilmeli; yapılar yerel fiziki coğrafya etmen ve koşulları dikkate alınarak hazırlanmalı; binalar, kent planlarına uygun olarak ve her aşamasında teknik olarak denetlenerek inşa edilmeli; daha önce inşa edilen yapılar ise gereksinime (çatı, duvar, kapı, pencere vb.) göre kuvvetlendirilmelidir.
4. Yıkılacak düzeyde tehlike oluşturan yapılar, yetkili kuruluş tarafından denetimli bir şekilde yıkılmalı; binalarda lodos fırtınasına dayanıklı çatı sistemleri yapılmalı; çatı ve damlarda lodosta havalanabilecek eşyalar bırakılmamalı ya da bunlar kuvvetlice sabitlenmelidir.
5. Kent içinde direklerle taşınan yüzey haberleşme ve elektrik iletim telleri ve kabloları, yeraltından geçirilmeli; lodos sonrası görülen sağanak yağışların, taşkınlara ve sellere yol açmasını önlemek amacıyla, alt yapı sistemleri kuvvetlendirilmeli ya da tekrar yapılmalıdır.
6. Devrilme aşamasına gelmiş ve olası bir lodos fırtınası karşısında tehlike oluşturabilecek yaşlı ve bakımsız ağaçlar, tehlikenin büyüklüğü dikkate alınarak budanmalı ya da kesilmeli; kesilenlerin yerine fırtınaya dayanıklı ve kök sistemleri derinlere inen ağaç türleri dikilmelidir. İğne yapraklı türler dikkate alınmadığında, örneğin Güney Marmara bölümünde (Bursa ve Çanakkale’de) fırtınaya karşı dirençli olabilecek başlıca ağaç taksonları şunlardır: Akçaağaç (*Acer*) türleri (ör. *Acer pseudoplatanus*); adi kızılbaş (*Alnus glutinosa*); katalpa (*Catalpa bignonioides*); meşe (*Quercus*) türleri (ör. *Quercus ilex*, *Quercus robur*); karaağaç (*Ulmus*) türleri (ör. *Ulmus minor*).

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi (BİLGEM), Bilişim Teknolojileri Enstitüsü “Türkiye Afet Risk Yönetim Sistemi Projesi (TAFRİSK): Fırtına Afeti Risk Modelleme Trend Analiz alt projesi (TAFRİSK-RTAR-12)” kapsamında gerçekleştirilmiştir.

### Kaynakça

- Benson C., Twigg J., ve Rossetto T., *Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance Notes for Development Organisations*. Geneva: The ProVention Consortium, 2007.
- Cannon T., “Vulnerability Analysis and the Explanation of ‘Natural’ Disasters”. *Disasters, Development and the Environment* içinde, ed. Varley, A. Londra: Belhaven Press, 1994: 13-30.
- Dao H., ve Peduzzi P., *Global Risk and Vulnerability Index Trends per Year (GRAVITY). Phase IV: Annex to WVR and Multi Risk Integration. A technical report for: United Nations Development Programme, Bureau of Crisis Prevention & Recovery (UNDP/BCPR). United Nations Envi-*



- ronment Programme and Global Resource Information Database. Geneva: UNEP/DEWA/GRID, 2003.
- Deniz A., Özdemir E. T., Sezen İ., Coşkun M. "Investigations of storms in the region of Marmara in Turkey". *Theoretical and Applied Climatology* 112 (2013): 61-71.
- Donat M. G., Leckebusch G. C., Pinto J. G., Ulbrich U., "Examination of wind storms over Central Europe with respect to circulation weather types and NAO phases", *International Journal Of Climatology* 30, (2010): 1289-1300.
- Flanagan B. E., Gregory E. W., Hallisey E. J., Heitgerd J. L., ve Lewis B., "A social vulnerability index for disaster management". *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 8:1 (2011), Article 3.
- IPA, "Regional Cooperation in South Eastern Europe for Meteorological, Hydrological and Climate Data Management and Exchange to Support Disaster Risk Reduction". IPA/2009/199-922.
- Koç T., Türkeş M., ve Çalışkan V., "Ocak 2004 Çanakkale kar fırtınasının oluşum ve etkilerinin coğrafi analizi". *Ege Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu 27-29 Nisan 2005, Bildiriler Kitabı* içinde, ed. M. Kirami Ölgen, İzmir, 2005a: 451-462.
- Koç T., Türkeş M., Çalışkan V., Sarış F., İrdem C., Çavuş C., ve Sağlam A., "Çanakkale kar fırtınası afetinin sosyal ve ekonomik etkilerinin değerlendirilmesi". *Sivil Savunma* 181, (2005b): 5-10.
- McDonald J., ve Mehta K. C., *A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale), Revision 2*. Texas Tech University, Wind Science and Engineering Research Center, 2006.
- Morrow B. H., "Identifying and Mapping Community Vulnerability". *Disasters* 23: 1 (1999): 1-18.
- Ngo E. B., "When Disasters and Age Collide: Reviewing Vulnerability of the Elderly". *Natural Hazards Review* 2 (2001): 80-89.
- Peduzzi P., Dao H., Herold C., Mouton F., "Global Risk And Vulnerability Index Trends per Year (GRAVITY) Phase III: Drought analysis (Technical report for: United Nations Development Programme Bureau of Crisis Prevention & Recovery [UNDP/BCPR])", Geneva: 2003. Erişim tarihi 9 Kasım: [https://www-fourier.ujf-grenoble.fr/~mouton/Publis\\_HDR\\_applis/ew\\_gravity3.pdf](https://www-fourier.ujf-grenoble.fr/~mouton/Publis_HDR_applis/ew_gravity3.pdf)
- Sahin S., ve Türkeş M., "Contemporary surface wind climatology of Turkey", *Theoretical and Applied Climatology* 113: 1-2 (2013): 337-349.
- SANHO, *South African Tide Tables*. Tokai: Naval Hydrographer, South African Navy Publishing Unit, 2009. ISBN 97809584817-4-8.
- Türkeş M., "Influence of geopotential heights, cyclone frequency and Southern Oscillation on rainfall variations in Turkey". *International Journal of Climatology* 18 (1998a): 649-680.
- Türkeş M., *A Preliminary Assessment of the Western Black Sea Floods in May 1998, Turkey. Unpublished Study*, Ankara: State Meteorological Service, 1998b.
- Türkeş M., "Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma". *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri* içinde, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi 1, 2001: 187-205.
- Türkeş M., "2004 Kışı ve 'İnsan Kaynaklı' Meteorolojik Afetler Üzerine Bir Değerlendirme", *2023* 42 (2004): 76-79.
- Türkeş M., *Klimatoloji ve Meteoroloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi, 2010.
- Türkeş, M. ve Çeşmeci, H., "Bursa'da lodos fırtınasının oluşumu ve afet boyutunda etkileri". *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2008: 563-573.

- Türkeş M. ve Deniz Z. A., “Klimatolojik/meteorolojik ve hidrolojik afetler ve sigortacılık sektörü”, *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* 7 (2010): 996-1020.
- Ulbrich U., Fink A., Klawa M., Pinto J. G., “Three extreme storms over Europe in December 1999”, *Weather* 56 (2001): 70-80.
- UNDP/BCPR, *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*. New York: John S. Swift Co., 2004.
- UNDRO, *Natural Disasters and Vulnerability Analysis: Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979)*, Geneva. Erişim tarihi: 9 Kasım 2018.  
<https://archive.org/details/naturaldisasters00offi>
- Wernli H., Dirren S., Liniger M. A., Zillig M. “Dynamical aspects of the life cycle of the winter storm ‘Lothar’ (24–26 December 1999)”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 128: 580 (2002): 405–429.
- WMO, *Strengthening Multi-Hazard Early Warning Systems and Risk Assessment in the Western Balkans and Turkey: Assessment of Capacities, Gaps and Needs (Regional Programme on Disaster Risk Reduction in South East Europe Activity 2, Phase I Report)*, Geneva, 2012. Erişim tarihi 9 Kasım 2018:  
<http://www.wmo.int/pages/prog/drr/projects/SEE/documents/SEEPPhase%20I%20-%20FinalReport.pdf>

**Öz:** Biyosferde hasar yapıcı ve zarar verici afetsel (afet boyutundaki) bir olayla sonuçlanabilen doğal süreç ya da olay, Doğal Afet olarak tanımlanır. Doğal Afetler, çoğunlukla, deprem, tropikal ve orta enlem siklonları ve fırtınaları, taşkın ve seller ile kuraklık gibi büyük ölçekli ve şiddetli doğal olay ve etmenleri içerir. Bu çalışmanın temel amacı, doğal bir afet olan fırtına afeti açısından riskli alanların (illerin) belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, fırtınalar afet türü için Zarar Görebilirlik, Zarar Görebilirliği ve Riski Arttırıcı Faktörler, Risk Modelleme, Riskin Azaltılması Faaliyetlerini içeren konular araştırılmıştır. Sonuçlara göre, sosyal ve ekonomik göstergeleri daha düşük olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin tamamı, Doğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz ve Ege kıyılarındaki (ör. İzmir, Antalya) bazı illerin etkilenbilirlik düzeyleri yüksek çıkmıştır. Nüfusun yoğun olduğu İstanbul, İzmir, Bursa ve Kocaeli ve Ankara gibi illerde de SEİ değerleri yüksektir. Ayrıca, İstanbul, İzmir ve Ankara başta olmak üzere Ege Bölgesinin neredeyse tamamı, Marmara bölgesinin önemli bir bölümü, Batı Karadeniz ve Akdeniz kıyıları fırtına afetine karşı riskli olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Fırtına Afeti, Sosyal Etkilenebilirlik İndisi, Risk Çözümlemesi, Türkiye

### Storm Disaster Vulnerability and Risk Analysis of Turkey

**Abstract:** In Biosphere, disaster-wise natural processes or events resulting in harmful and damaging events are defined as Natural Disasters. Natural Disasters mostly include large scale and severe natural events and factors like earthquake, tropical and mid-latitude cyclones and storms, flood and drought. The main aim of the study is to determine risky areas (provinces) in terms of storm disaster, which is defined as a natural disaster. To this end, the subjects including Vulnerability, the Factors Increasing Vulnerability and Risk, Risk Modelling, Risk Reduction Activities were investigated. According to the results, vulnerability index values were high in all parts of South-eastern Anatolia Region, Eastern Anatolia Region, and some provinces (e.g. İzmir, Antalya) of Mediterranean Region. Also, particularly, İstanbul, İzmir and Ankara and most of the Aegean Region, vast majority of the Marmara Region, Western Black Sea and the Mediterranean shores of Turkey were calculated as high risky according to storm disaster.

**Keywords:** Storm Disaster, Social Vulnerability Index, Risk Analysis, Turkey