



# İKLİM



“HAVANI BİLİRSEN, RİSKİNİ DE BİLİRSİN”

## DÜNYA SU VE METEOROLOJİ GÜNÜ KUTLU OLSUN...



İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI  
KULLANILARAK  
METEOROLOJİK  
ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI

SU VE KADIN:  
GEÇMİŞİN ÇEŞME BAŞINDAN  
BUGÜNÜN MÜHENDİSLİĞİNE

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE  
KADINLAR ÜZERİNDEKİ  
ÇOK BOYUTLU ETKİLER

YÜKSEK İRTİFA  
FIRLATMA VE  
KÜMÜLONİMBUS İÇİNDE  
HAYATTA KALMA

METEOROLOJİ MÜHENDİSİ  
İÇİN ÖNEMLİ BİR  
İSTİHDAM ALANI: DENİZ  
METEOROLOJİSİ



- 1- Barış Özgün (Başkan)
- 2- Ahmet Köse
- 3- Ayfer Serap Söğüt
- 4- Ayşegül Akıncı Yüksel
- 5- Burak Işık (Raportör)
- 6- Bünyamin Sürmeli (Medya İlişkileri Sorumlusu)
- 7- Eren Göbüt
- 8- Feryal Bıçkıcı
- 9- İremsu Şahinöz (Sosyal Medya)
- 10- Lalehan Çınar
- 11- Zekiye Güneri
- 12- Ercüment Avşar
- 13- Edanur Gözet (Tasarım)
- 14- Emirhan Yıldırım (Tasarım)
- 15- Fuat Kurumahmut (Tasarım)

METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
YÖNETİM KURULU

- 1- Emel Ünal (Başkan)
- 2- Ahmet Köse (2. Başkan)
- 3- İsmail Küçük (Genel Sekreter)
- 4- Yücel Kaya (Muhasip Üye)
- 5- Zeynep Feriha Ünal Dinç (Sosyal İşler Üyesi)

İLETİŞİM:

Meteoroloji Mühendisleri Odası  
Adres: Bayındır Sok. No: 49/16  
Kızılay - ANKARA

Telefon: +90 541 419 56 04 /  
+90 312 419 56 04

E-posta: [bilgi@meteorolojimuh.org.tr](mailto:bilgi@meteorolojimuh.org.tr)

# İÇİNDEKİLER

ÖZEL SAYI 2026

<b>HAKAN AKSU</b> “SU VE KADIN: GEÇMİŞİN ÇEŞME BAŞINDAN BUGÜNÜN MÜHENDİSLİĞİNE”	5
<b>AHMET KÖSE</b> “YÜKSEK İRTİFA FIRLATMA VE KÜMÜLONİMBUS İÇİNDE HAYATTA KALMA”	7
<b>AFRA NUR KORKMAZ, BETÜL TÜRKÖZ, EFKAN DURAK, ZEYNEP ELİF TALİ</b> “İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI KULLANILARAK METEOROLOJİK ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI”	12
<b>FURKAN KESKİN, BIHTER DURNA</b> “COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUMU İÇİN UYGUNLUK HARİTASI OLUŞTURULMASI”	15
<b>PROF.DR.MİKDAT KADIOĞLU, PROF.DR.NURDAN MEMİŞOĞLU APAYDIN, AHMET KÖSE, SALİH ÖZMEN, MURAT TUNÇ</b> “ASMA KÖPRÜLERDE RÜZGÂRIN TRAFİK AKIŞINA ETKİSİ VE KRİTİK DEĞERLERDE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER”	26
<b>NAMİK CEYHAN</b> “OBRUKLAR, KONYA OVASINDA HİDROLOJİK İFLASIN GÖSTERGESİ Mİ?”	36
<b>AYFER SERAP SÖĞÜT, AYŞEGÜL AKINCI YÜKSEL</b> “İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KADINLAR ÜZERİNDEKİ ÇOK BOYUTLU ETKİLER: KIRILGANLIKTAN GÜÇLENMEYE UZANAN BİR ANALİZ”	42
<b>DR.MURAT DURAK</b> “METEOROLOJİ MÜHENDİSİ İÇİN ÖNEMLİ BİR İSTİHDAM ALANI: DENİZ METEOROLOJİSİ”	48
<b>ALPEREN NEBİ BİLEN, DOÇ.DR.BAHTİYAR EFE</b> “MARMARA BÖLGESİNDE KIŞ AYLARINDA ORTAYA ÇIKAN SOĞUK HAVA DALGALARININ 1995 - 2025 YILLARI KAPSAMINDAKİ ANALİZİ”	50

# EDITÖR



PROF.DR. HÜSEYİN TOROS

İTÜ

İklim Bilimi ve Meteoroloji  
Mühendisliği Bölüm Başkanı

Meteoroloji Mühendisleri Odası bünyesinde hazırladığımız 2026 yılı özel sayısında, atmosfer bilimlerinin sınırlarını zorlayan ve doğanın bazen hayranlık uyandırıcı bazen de ürkütücü olan gücünü hayatımız için mercek altına alan içeriklerle sizlerle buluşmanın heyecanını yaşıyoruz. İstanbul Teknik Üniversitesi İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Yayın Kurulu adına, atmosferin ışığında hazırlanan bu e-bültene hoş geldiniz demekten onur duyuyorum.

İçinde bulunduğumuz dönem, küresel iklim değişikliğinin etkilerini her zamankinden daha belirgin hissettiğimiz, aşırı hava olaylarının frekansının ve şiddetinin arttığı bir sürece işaret etmektedir. İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği, sadece bir tahmin sanatı değil; tarımdan savunma sanayiine, şehir planlamadan havacılığa, enerji üretiminden toplumsal cinsiyet eşitliğine kadar hayatın her alanında stratejik önem taşıyan, veri temelli bir disiplindir.

Bu özel sayımızda, disiplinlerarası yaklaşımın gücünü gösteren çok özel dosyalara yer veriyoruz. Öne çıkan başlıklarımızdan biri, havacılık tarihinde benzerine az rastlanır bir direnç ve fiziksel olay olan “26 Temmuz 1959 Rankin Olayı”dır. Albay William Rankin’in bir Kümülonimbus (CB) bulutu içine fırlatma koltuğuyla düşüşü; termodinamik, aerodinamik ve fizyolojik sınırların meteorolojik uç koşullarla çarpıştığı bir laboratuvar niteliğindedir. Bir pilotun CB içerisindeki dikey hava akımlarıyla mücadelesini, dolu oluşum mekanizmalarını ve atmosferik basınç değişimlerini tarihsel ve bilimsel bir bakış açısıyla inceliyoruz. Dosyamızda ayrıca, güncel askeri operasyonlarda ve yüksek irtifa uçuşlarında meteorolojik faktörlerin hareketin kaderini nasıl etkilediğini gösteren örnek vakalar ve modern hava platformlarının (F-15 vb.) doğanın uç koşullarıyla imtihanı da yer almaktadır.

Bununla birlikte bu sayımızda meteoroloji mühendisliğinin farklı çalışma alanlarına ışık tutan önemli araştırmalar da bulunmaktadır:

Teknoloji ve Gözlem: İnsansız Hava Araçları (İHA) ile yapılan meteorolojik ölçümlerin geleceği ve radiosonde sistemlerine alternatifleri,

Enerji ve Planlama: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak Güneş Enerjisi Santrali (GES) kuruluma uygunluk analizleri,

Kentsel ve Yapısal Meteoroloji: Asma köprülerde rüzgârın trafik akışına etkisi ve kritik güvenlik tedbirleri, Su Kaynakları ve İklim: Konya Ovası’ndaki obruklar üzerinden “Hidrolojik İflas” riski ve sürdürülebilir su yönetimi,

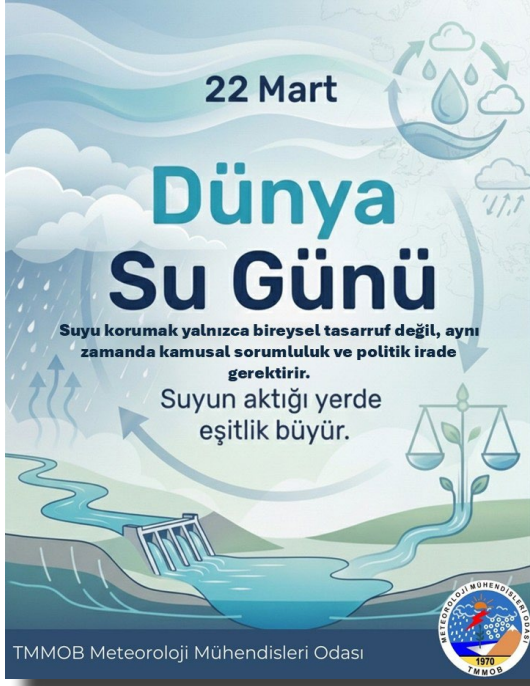
Toplumsal Etkiler: İklim değişikliğinin kadınlar üzerindeki çok boyutlu etkileri ve toplumsal cinsiyet eşitsizliği,

Deniz ve İklim: Deniz meteorolojisinin istihdam alanları ve MetOcean ölçümleri,

Uç Olaylar: Marmara Bölgesi’nde kış aylarında ortaya çıkan soğuk hava dalgalarının 30 yıllık analizi.

Bizler, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü olarak birikimimizi, odamızın sektörel gücüyle birleştirerek toplumda “meteorolojik okuryazarlık” bilincini artırmayı hedefliyoruz. Bilim kurumumuzun ve yayın kurumumuzun kıymetli üyelerinin titiz çalışmalarıyla hazırlanan bu bültenin; öğrencilerimiz, sahada aktif görev yapan mühendislerimiz ve ilgi duyanlar için ufuk açıcı bir kaynak olmasını temenni ediyorum.

Emeği geçen tüm Yayın Kurulu üyelerimize, araştırmalarıyla katkı sunan yazarlarımıza ve bizleri takip eden tüm okurlarımıza teşekkürlerimi sunarım. Gökyüzünün dilini doğru okuduğumuz ve doğayla uyum içinde olduğumuz bir gelecek dileğiyle.



# SU VE KADIN: GEÇMİŞİN ÇEŞME BAŞINDAN BUGÜNÜN MÜHENDİSLİĞİNE



DOÇ. DR. HAKAN AKSU

Samsun Üniversitesi  
İklim Bilimi ve Meteoroloji  
Mühendisliği Bölümü

Birleşmiş Milletler tarafından bu yılın Dünya Su Günü teması “Su ve Cinsiyet” odağında şekilleniyor. Anadolu; dünyanın en eski barajlarından biri olan Hitit Barajı’ndan Mardin Dara antik kentindeki su sarnıçlarına kadar, devasa bir su medeniyetine ev sahipliği yapmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti, kuruluşundan bugüne su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik büyük yatırımlara imza atmıştır. Geniş ovalarımız sulama şebekeleriyle canlanmış, tarımsal üretim artmış ve suyun gücüyle elde edilen enerji kalkınmamızın lokomotifini olmuştur. Bu süreçte su, her eve ulaştırılarak hayatımızı kolaylaştırmıştır.

Anadolu insanı için su; köylerin kalbi olan çeşmelerden omuzlarda taşınan bir hafıza mirasıdır. Bu kutsal taşıma görevi ise tarih boyunca kadınlarındı. Öyle ki, çeşme başındaki karşılaşmalara dair sayısız Anadolu türküsü yakılmış; su temini bir evin yaşam döngüsünün teminatı olmuştur. Her toplumda olduğu gibi Anadolu’da da yaşam kuralları suyun ritmine göre şekillenmiştir.

Bugün artık şehirlerde suyu çeşmeden dolduran kadınlar yok, ancak kadının su konusundaki hayati rolü temel kullanıcı olarak devam ediyor. Evsel tüketimin ana bileşenleri olan çamaşır ve bulaşık gibi her faaliyette suyun tasarruflu kullanımı, yine kadınlarımızın bilinciyle mümkündür. Cumhuriyet’in sunduğu eğitim olanaklarıyla bugün kadınlar, sadece suyun kullanıcısı değil, aynı zamanda yönetenidir. Su projelerinde ter döken pek çok kadın mühendisimiz, bu mirası teknik bilgiyle birleştirmektedir.

Su medeniyettir ve medeniyet kadınların omuzlarında yükselir. Doğa ile nasıl bir ilişki kurulması gerektiğini en iyi Anadolu kadını bilir; o, bugün "sürdürülebilirlik" dediğimiz kavramı "israf etmeme" ilkesiyle binlerce yıldır yaşatmıştır. Kadim bilgilerini çocuklarına aktararak suyu korumayı bir yaşam biçimi haline getirmiştir.

Sudan bahsedip hayrat kültürüne değinmeden geçmek olmaz. Şehirleri süsleyen Valide Sultan çeşmelerinden Anadolu köylerindeki mütevazı çeşmelere kadar pek çok su yapısı, kadınların zarafetini ve hayırseverliğini taşır. Bilinir ki; bir

canlıya su getirmek, yapılabilecek en büyük iyiliktir. Her ne kadar kadın özelinde bu konuya değinmiş olsak da, muhabbetin dilinde kadın ve erkek ayrımı yoktur. Toplumsal yaşama katılan her değer, kolektif bir çabanın ürünüdür. Bir Anadolu çeşmesi gördüğünüzde orada asıl görmeniz gereken, insanımızın geniş gönlüdür.

Suya dair söylenecek çok söz var; ancak Fuzulî'nin Su Kasidesi tüm heybetiyle orada dururken bize sadece o aziz emanete hakkıyla sahip çıkmak düşer.

### Sevgili Okurlarımız ve Meslektaşlarımız;

*Meteoroloji Mühendisleri Odası aylık İKLİM E-Bültende yayınlanmasını istediğiniz Makale ve Teknik yazılarınız (tablo, şekiller, kaynakça dahil) **en fazla 7 sayfa olmalıdır**. Yayınlanmasını istediğiniz makaleleri Meteoroloji Mühendisleri Odasına ait [bilgi@meteoroloji.org.tr](mailto:bilgi@meteoroloji.org.tr), [dergi@meteoroloji.org.tr](mailto:dergi@meteoroloji.org.tr) elektronik posta adresine en geç her ayın 15'ine kadar göndermenizi rica ederiz.*



**METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

# YÜKSEK İRTİFA FIRLATMA VE KÜMÜLONİMBUS İÇİNDE HAYATTA KALMA (26 TEMMUZ 1959 RANKİN OLAYININ TARİHSEL VE BİLİMSEL ANALİZİ)



AHMET KÖSE

Meteoroloji Mühendisler Odası  
2.Başkanı ve Yayın Kurulu Üyesi

## Giriş

İran-ABD/İsrail savaşında Kuveyt'te düşen ABD'ye ait F-15 savaş uçağının pilotunun fırlatma koltuğunu kullanarak son anda kurtulduğu öğrenildi. Paraşütle süzülmesi anlar kameralara yansırken, şok geçiren pilotun iniş sonrası bir aracın bagajına konularak bölgeden hızla uzaklaştırıldığı görüldü. Bu metni okur okumaz yıllar önce okuduğum ve bir türlü paylaşmaya fırsat bulamadığım aşağıdaki olayı hatırladım.

30.000 feet yükseklikte bir jetten fırlatıldı ve sonraki 40 dakikayı gökyüzünün işkencesiyle geçirdi. 26 Temmuz 1959. Yarbay William Rankin, Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğusu üzerinde rutin bir görevdeyken akıl almaz bir olay yaşandı.

F-8 Crusader uçağı 30.000 feet yükseklikte uçuyordu; bu, gökyüzünün kararmaya başladığı ve havanın yaşama sürdürmeye yetmediği Everest Dağı'ndan daha yüksek bir yükseklikti. Sonra motor patladı. Rankin'in seçim yapması için sadece saniyeleri vardı. Daha güvenli bir yüksekliğe süzülme deneyebilir veya hemen fırlatma kolunu çekebilirdi. Kokpit zaten dumanla doluyordu. Kontroller arızalanıyordu. Çekti.



Fırlatma koltuğu onu neredeyse eksi 70 dereceye yakın bir sıcaklığa fırlattı. Orada oksijen azdır ve basınç o kadar düşüktür ki vücut sıvıları buharlaşmaya başlar; bu olaya kan kaynaması denir. Rankin'in kanı kelimenin tam anlamıyla kaynamaya başladı.

Fırlatma sırasında oksijen maskesi koptu. Bilincini kaybetmeye başladı. Sonra paraşüt açıldı. Ve işte o zaman gerçek cehennem başladı.

Rankin, doğrudan bir kümülonimbus bulutunun kalbine fırlatılmıştı; devasa bir fırtına, yerden yaklaşık 15.000 metreye yükselen rüzgar ve öfkenin gökdeleni. Dışarıdan bakıldığında, pilotlar bu bulutlardan canavarlar gibi kaçınırlar. İçeride ise dikey kasırgalardır. Rankin tam kalbine düştü.

İnmek yerine, tuzağa düştü. Şiddetli hava akımları paraşütünü yakaladı, onu yukarı, sonra yana, sonra tekrar yukarı fırlattı. Rüzgar, buz ve elektrikten yapılmış canlı bir yaratığın içinde hapsolmüştü. Bazıları golf topu büyüklüğünde olan dolu taneleri vücuduna çarpıyordu. Şimşek o kadar yakından çakıyordu ki, tüylerinin diken diken olduğunu ve ozonun metalik kokusunun havayı yaktığını hissedebiliyordu. Gök gürültüsü artık bir ses değildi; bir darbe, göğsüne görünmez bir darbeydi. Yağmur paraşütü ıslattı, paraşüt çöktü ve onu aşağı doğru savurdu, sonra patlayıp onu şiddetle yukarı çekti. Kusmaya başladı. Bilincini kaybetti. Tekrar uyandı, dönüyordu.

Sıcaklık çılgıncaydı. Termal akımın tepesinde, soğuk kıyafetlerini, derisini, kirpiklerini dondurdu. Birkaç saniye sonra, daha sıcak havaya düştü, buz eridi - sadece hemen tekrar donmak için. Nefes almak neredeyse imkansızdı. Yağmur o kadar yoğundu ki boğuluyormuş gibi hissediyordu. Nefes almaya çalıştı, su yuttu ve ciğerlerinin yandığını hissetti.

Daha sonra Rankin, parçalara ayrılıyormuş gibi hissettiğini söyleyecekti. Şiddetli güçler vücudunu ezdi, onu serbest bıraktı, sonra tekrar ezdi. Morluklarla kaplıydı, kanıyordu ve hipotermiye giriyordu.

Zamanın tüm anlamı kalmamıştı. Dakikalar saatler gibi geliyordu. Orada, o bulutta sonsuza dek dönerek, asla yere değmeden öleceğini düşündü. Sonra, aniden, fırtına onu dışarı attı.

Yaklaşık 3000 metrede bulutun tabanını deldi. Hala yüksekteydi, ama sonunda normal bir hızla düşüyordu. Ağaçları gördü. Yeryüzünü gördü. Kuzey Carolina'da bir ormana düştü. Dalların sesi duyuldu. Paraşüt ağaç tepelerine takıldı ve darbeyi yeterince yumuşattı. Yaralı, sersemlemiş bir halde yere düştü hayattaydı.

Birkaç dakika orada yattı, inanamadı. Sonra kalktı. Paraşütten kurtuldu. Yürümeye başladı. Vücudunda dolu izleri, küçük yanıklar, donma vardı. Kanıyordu. Ama yürüyordu.

Bir yol buldu. Sonra bir ev. Bir çiftçi kapıyı açtı ve karşısında perişan halde, şokta bir pilotla karşılaştı. "Ben... Ben gökyüzünden düştüm," dedi Rankin. Askeri doktorlar ve meteorologlar onun hikayesini duyduklarında şaşkına döndüler. Kimsenin bundan sağ kurtulmaması gerekirdi. Basınç düşmesi onu öldürmeliydi. Soğuk, dolu, şimşek her şey ölüme işaret ediyordu. Ama durum böyle olmadı.

Rankin haftalarca iyileşme sürecindeydi. 1960 yılında, bu büyüklükteki bir fırtınanın hayatta kalan birinin tek birinci elden anlatımı olan "Gök Gürültüsüne Binen Adam"ı yazdı. Hikayesi bilime katkıda bulundu. Havacılık protokollerini değiştirdi. Gelecekteki hayatları kurtardı.

William Rankin 89 yaşına kadar yaşadı.

Elli yıl sonra bile meteorologlar hala onun adını anıyor. Pilotlar hala onun imkansız düşüşünü inceliyor. Çünkü nadir ve rahatsız edici bir şeyi kanıtladı: bazen, her şey başarısız olduğunda, doğa en acımasız yüzünü gösterdiğinde, ölüm kesin gibi görüldüğünde bile... İnsanlar hala direniyor.

Onu yok etmeye çalışan bir gökyüzünde 9000 metre düştü. Ve geri döndü.

## Özet

26 Temmuz 1959 tarihinde yüksek irtifada meydana gelen bir motor arızası sonrası gerçekleştirilen fırlatma vakası, havacılık tıbbı, atmosfer fiziği ve uçuş güvenliği literatüründe istisnai bir örnek olarak yer almaktadır. Yaklaşık 47.000 feet ( $\approx 14.300$  m) irtifada gerçekleşen fırlatma sonrasında pilot aktif bir kümülonimbus hücresi içine girmiş ve yaklaşık 40 dakika boyunca şiddetli türbülans, dolu, aşırı soğuk ve hipoksi koşullarına maruz kalmıştır. Bu çalışma, olayın tarihsel bağlamını, atmosferik dinamiklerini ve insan fiziolojisi üzerindeki etkilerini disiplinlerarası bir çerçevede incelemekte; ayrıca olayın havacılık güvenliği protokollerine katkılarını değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: yüksek irtifa fırlatma, hipoksi, ebullism, kümülonimbus, havacılık tıbbı, konvektif fırtına

### 1. Giriş

Yüksek irtifa uçuş operasyonları, düşük atmosfer basıncı, düşük sıcaklık ve oksijen parsiyel basıncındaki azalma nedeniyle ciddi fizyolojik ve operasyonel riskler içerir. 1950'li yıllar, süpersonik jetlerin operasyonel kullanıma girdiği ve uçuş tavanlarının önemli ölçüde arttığı bir dönemdir. Bu süreçte fırlatma koltukları geliştirilmiş olsa da, 40.000 feet üzerindeki acil durum senaryolarına ilişkin deneysel veri sınırlıydı.

26 Temmuz 1959 tarihinde gerçekleşen Rankin vakası, yüksek irtifa fırlatma ile aktif konvektif fırtına sisteminin kesiştiği nadir bir olaydır. Bu çalışma üç temel araştırma sorusuna odaklanmaktadır:

1. 47.000 feet irtifada fırlatmanın fizyolojik sonuçları nelerdir?
2. Kümülonimbus hücresi içindeki dikey hava akımları paraşüt dinamiklerini nasıl etkiler?
3. Bu olay havacılık güvenliği ve tıbbi protokolleri nasıl etkilemiştir?

### 2. Tarihsel Arka Plan

II. Dünya Savaşı sonrası dönemde jet motorlu savaş uçaklarının hız ve irtifa kapasitesi dramatik biçimde artmıştır. 1950'lerde geliştirilen erken dönem fırlatma koltukları çoğunlukla düşük ve orta irtifa için optimize edilmiştir (USAF Aerospace Medical Division, 1960).

Yüksek irtifa fırlatma durumlarında karşılaşılan başlıca riskler şunlardır:

- Ani dekompresyon
- Hipoksi ve bilinç kaybı
- Donma ve hipotermi
- Yüksek hızda hava akımı travması

Rankin vakası, bu risklerin eş zamanlı olarak gerçekleştiği belgelenmiş ilk olaylardan biridir.

### 3. Atmosferik Koşullar ve Kümülonimbus Dinamikleri

#### 3.1 Kümülonimbus Yapısı

Kümülonimbus bulutları, güçlü konveksiyon sonucu oluşan ve dikey gelişimi 10-15 km'ye ulaşabilen sistemlerdir (Wallace & Hobbs, 2006). İç yapıları aşağıdaki bileşenleri içerir:

- Güçlü yukarı akımlar (updraft)
- Aşağı yönlü hava akımları (downdraft)
- Süper soğumuş su damlacıkları
- Dolu oluşum bölgeleri
- Elektriksel yük ayrışması

Updraft hızları 30-50 m/s'ye ulaşabilir; şiddetli hücrelerde bu değer daha da artabilir (Ludlam, 1980).

#### 3.2 Türbülans ve Paraşüt Dinamikleri

Normal koşullarda 14 km irtifadan paraşütle iniş 5-10 dakika sürer. Ancak yukarı yönlü hava akımlarının terminal düşüş hızını dengelemesi durumunda askıda kalma süresi belirgin şekilde uzayabilir. Rankin vakasında yaklaşık 40 dakikalık iniş süresi, güçlü dikey konveksiyon ile açıklanabilir.

#### 3.3 Termal ve Elektriksel Alanlar

Fırtına hücresi içinde sıcaklık gradyanları keskindir. Üst seviyelerde -50 °C altı değerler görülürken alt seviyelerde daha sıcak hava bulunabilir. Bu durum tekrar eden donma-çözülme döngülerine neden olur. Yıldırım oluşumu, bulut içi elektrik alan şiddetinin artmasıyla ilişkilidir. Doğrudan çarpma olmaksızın da elektrostatik etkiler gözlenebilir (Rakov & Uman, 2003).

### 4. Yüksek İrtifa Fiziolojisi

#### 4.1 Hipoksi

47.000 feet irtifada atmosfer basıncı yaklaşık 87 mmHg civarındadır. Oksijen parsiyel basıncı kritik eşiğin altındadır. Koruyucu ekipman olmaksızın bilinç kaybı 10-20 saniye içinde gerçekleşebilir (West, 2012).

## 4.2 Ebullism

Düşük basınçta vücut sıvılarında çözünmüş gazların kabarcık oluşturması ebullism olarak tanımlanır. Armstrong sınırı (~63.000 feet) üzerinde suyun kaynama noktası vücut sıcaklığına düşer. Rankin bu sınırın altında olmasına rağmen ciddi gaz genişlemesi riski altındaydı (Ernsting, Nicholson & Rainford, 2016).

## 4.3 Hipotermi

-40 °C altındaki sıcaklık ve ıslak giysiler çekirdek vücut sıcaklığında hızlı düşüğe yol açar. Uzun süreli maruziyet ventriküler aritmi ve bilinç kaybına neden olabilir.

## 4.4 Mekanik Travma

Dolu çarpması, türbülans kaynaklı ivmelenmeler ve paraşüt çökmesi; künt travma, kas-iskelet yaralanmaları ve yumuşak doku hasarı oluşturabilir.

## 5. Olayın Yeniden Yapılandırılması

Meteorolojik arşivler ve tanıklık verileri birleştirildiğinde olayın olası fazları şu şekilde modellenebilir:

1. 47.000 feet irtifada fırlatma
2. Hızlı bilinç kaybı ve paraşüt açılması
3. Aktif konvektif hücreye giriş
4. Updraft kaynaklı askıda kalma
5. Bulut tabanının delinmesi (~10.000 feet altı)
6. Ormanlık alana iniş

Bu model, paraşüt dinamikleri ile dikey konveksiyonun etkileşimini göstermektedir.

## 6. Havacılık Güvenliğine Katkıları

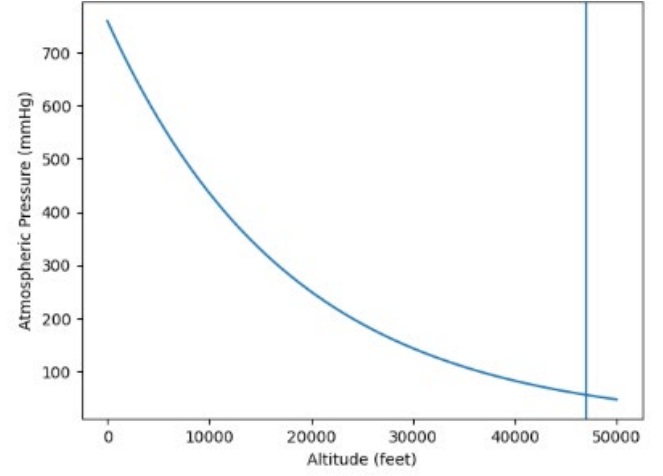
Olay sonrasında:

- Yüksek irtifa fırlatma eğitimleri güncellenmiştir.
- Basınçlı giysi ve oksijen sistemleri yeniden değerlendirilmiştir.
- Aktif konvektif hücrelerden kaçınma protokolleri güçlendirilmiştir.

Bu yönüyle vaka, operasyonel risk yönetimi açısından dönüm noktası niteliğindedir.

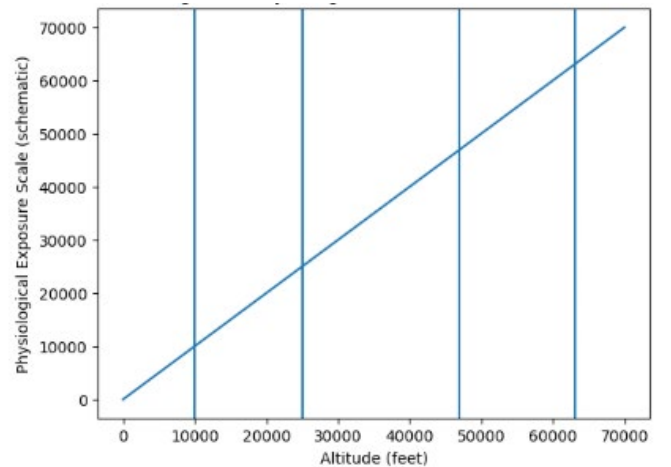
## 7. Şekiller ve Diyagramlar

Şekil 1. Kümülonimbus Kesit Diyagramı



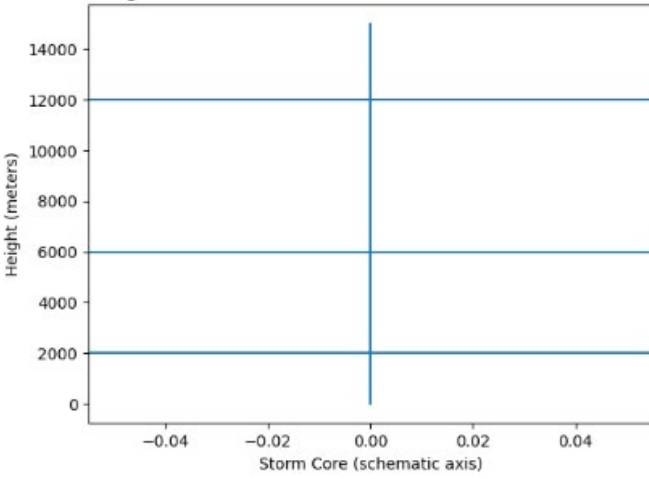
Dikey gelişimi 15 km'ye ulaşan bir fırtına hücresinin kesiti; updraft ve downdraft bölgeleri, dolu oluşum katmanı ve elektrik yük ayrışması şematik olarak gösterilmiştir (Şekil-1). Bu şekil, standart atmosfer modeline göre irtifa ile atmosfer basıncı arasındaki üstel ilişkiyi göstermektedir. Deniz seviyesinde yaklaşık 760 mmHg olan basınç, irtifa arttıkça eksponansiyel olarak azalır. Grafikte 47.000 feet (~14.300 m) irtifa dikey çizgi ile işaretlenmiştir; bu noktada atmosfer basıncı yaklaşık 85-90 mmHg aralığındadır. Bu değer, alveoler oksijen parsiyel basıncının kritik eşiklerin altına düşmesine neden olur ve koruyucu ekipman olmaksızın kısa sürede hipoksiye yol açar. Eğri, barometrik yükseklik formülünün sadeleştirilmiş bir versiyonuna dayanmaktadır ve yüksek irtifa fizyolojisinin temel belirleyicisini görselleştirmektedir (West, 2012; Ernsting et al., 2016).

Şekil 2. İrtifa-Basınç Grafiği



Y eksenini: Atmosfer basıncı (mmHg) X eksenini: İrtifa (feet) Grafikte 47.000 feet noktası işaretlenmiş ve hipoksi eşiği gösterilmiştir. Bu diyagram, irtifaya bağlı temel fizyolojik eşikleri şematik olarak göstermektedir. Yaklaşık 10.000 feet'te hipoksi semptomları başlar; 25.000 feet üzerinde bilinç kaybı süresi saniyelerle ölçülür. 47.000 feet, korumasız birey için ciddi hipoksik bilinç kaybı bölgesindedir. 63.000 feet ise Armstrong sınırını temsil eder; bu yükseklikte suyun kaynama noktası vücut sıcaklığına düşer ve ebullism riski ortaya çıkar. Diyagram, yüksek irtifa maruziyetinin doğrusal değil, eşik temelli risk yapısını vurgulamaktadır (West, 2012; Ernsting et al., 2016).

**Şekil 3. Fizyolojik Eşik Diyagramı**



İrtifaya bağlı olarak:

- Hipoksi başlangıcı
- Bilinç kaybı aralığı
- Ebullism riski
- Armstrong sınırı

şematik olarak sunulmuştur. Bu şematik kesit, tipik bir kümülonimbus bulutunun dikey yapısını göstermektedir. Alt seviyelerde ( $\approx 2$  km) yoğun nem ve yükselici hava akımları bulunur. Orta seviyede ( $\approx 6$  km) süper soğumuş su damlacıkları ve dolu oluşum bölgesi yer alır. Üst troposfer seviyesinde ( $\approx 12-15$  km) örs (anvil) yapısı ve buz kristalleri hakimdir. Güçlü yukarı akımlar ( $30-50$  m/s) paraşüt terminal hızını dengeleyerek askıda kalma süresini uzatabilir. Elektriksel yük ayrışması yıldırım oluşumunu mümkün kılar (Wallace & Hobbs, 2006; Rakov & Uman, 2003).

## 8. Tartışma

Rankin vakası, havacılık mühendisliği, atmosfer bilimi ve havacılık tıbbının kesişiminde yer almaktadır. Hayatta kalma olasılığı teorik olarak düşük olsa da; paraşütün erken açılması, doğrudan yıldırım çarpmasının olmaması ve iniş sırasında ağaç örtüsünün darbeyi absorbe etmesi kritik faktörler olarak değerlendirilmektedir.

Bu olay, ekstrem çevresel stres altında insan fizyolojisinin dayanıklılık kapasitesine ilişkin nadir bir saha verisi sunmaktadır.

## 9. Sonuç

26 Temmuz 1959 vakası, yüksek irtifa fırlatma ve konvektif fırtına içi maruziyetin birleştiği istisnai bir olaydır. Disiplinlerarası değerlendirme, olayın yalnızca dramatik bir anlatı olmadığını; aynı zamanda operasyonel güvenlik ve tıbbi protokoller açısından öğretici bir vaka olduğunu göstermektedir.

## Kaynakça:

- Ernsting, J., Nicholson, A., & Rainford, D. (2016). *Aviation medicine* (4th ed.). CRC Press.
- Ludlam, F. H. (1980). *Clouds and storms*. Pennsylvania State University Press.
- Rakov, V. A., & Uman, M. A. (2003). *Lightning: Physics and effects*. Cambridge University Press.
- USAF Aerospace Medical Division. (1960). *High altitude escape and survival reports* (Technical Report Series).
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: An introductory survey* (2nd ed.). Academic Press.
- West, J. B. (2012). *High altitude medicine and physiology* (5th ed.). CRC Press.
- Rankin, W. (1960). *The man who rode the thunder*. Prentice Hall.

# İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI KULLANILARAK METEOROLOJİK ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI



AFRA NUR KORKMAZ



BETÜL TÜRKÖZ



EFKAN DURAK



ZEYNEP ELİF TALİ

İstanbul Teknik Üniversitesi  
İklim Bilimi ve Meteoroloji  
Mühendisliği Bölümü

## Özet

Atmosferin düşey profilinin doğru şekilde ölçülmesi, hava tahminlerinin geliştirilmesi, konvektif sistemlerin izlenmesi ve sınır tabakasının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi açısından kritik bir gerekliliktir. Uzun yıllardır bu amaçla kullanılan radiosonde sistemleri meteorolojiye önemli katkılar sağlamış olsada; rüzgârla sürüklenme nedeniyle konumsal belirsizlik oluşturması, yalnızca belirli zaman aralıklarında çalıştırılabilmesi, tek kullanımlık yapısı ve operasyonel maliyetleri gibi sınırlamalar, özellikle hızlı değişen atmosferik süreçlerin izlenmesinde yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, düşey atmosfer gözlemlerinde daha esnek, geri döndürülebilir ve konumu kontrol edilebilir alternatif yöntemlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Son yıllarda meteorolojide insansız hava araçlarının (İHA) kullanımına yönelik çalışmalar hız kazanmış; sensör entegrasyonu sayesinde dronlar belirli bir noktada, istenen zamanda ve yüksek çözünürlüklü ölçüm yapabilen yeni bir gözlem platformu olarak öne çıkmaya başlamıştır. Bu platformlar, radiosondenin aksine konumunu koruyabilmekte, tekrarlanabilir uçuşlarla zamansal çözünürlüğü artırabilmekte ve operasyonel maliyetleri önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, düşey atmosfer profilinin belirlenmesinde İHA'ların kullanım potansiyelini değerlendirmek ve temel meteorolojik sensörlerin bir İHA platformuna entegre edilmesiyle elde edilebilecek ölçüm kapasitesini incelemektir. Bu kapsamda radiosonde ve İHA tabanlı çözümler literatür üzerinden karşılaştırılmış, mevcut teknolojilerin sunduğu olanaklar ve sınırlamalar ortaya konmuş ve Türkiye'de uygulanabilir bir İHA tabanlı düşey profil sistemi için temel tasarım yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmanın genel hedefi, atmosferik gözlemlerde zaman-mekân esnekliğini artıran, tekrar kullanılabilir ve yerli olarak geliştirilebilecek bir İHA tabanlı ölçüm altyapısının oluşturulmasına katkı sağlamaktır.

*Anahtar kelimeler: Düşey atmosfer profili, insansız hava aracı (İHA), radiosonde, meteorolojik sensör entegrasyonu*

Teknolojinin hızlı gelişimi, veri toplama süreçlerinin otomasyonu, iş yükünün azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması gibi birçok alanda önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu gelişmeler arasında insansız hava araçları (İHA), son yıllarda atmosferik araştırmalarda giderek daha fazla kullanılan bir platform hâline gelmiştir. Başlangıçta askeri keşif ve gözlem amaçlı olarak geliştirilen bu sistemler, yüksek irtifalarda uzun süreli uçuş kabiliyetleri sayesinde zamanla çevresel izleme, atmosferik profil çıkarma ve mikro ölçekli meteorolojik süreçlerin incelenmesi için tercih edilen bilimsel araçlara dönüşmüştür. Sensör teknolojilerindeki gelişmeler ve otonom uçuş kabiliyetlerinin artması, İHA'ların meteorolojideki kullanım alanını genişletmiş ve onları geleneksel ölçüm yöntemlerinin önemli bir tamamlayıcısı hâline getirmiştir. İHA'ların atmosferik araştırmalarda kullanılmasına yönelik ilk çalışmalar 20. yüzyılın sonlarında başlamış olsa da özellikle 2000'li yıllarla birlikte sensör minyaturizasyon, GPS tabanlı navigasyon ve otonom kontrol algoritmalarındaki ilerlemeler bu platformların meteorolojik ölçümlerde etkin biçimde kullanılmasını mümkün kılmıştır. Başlangıçta Arktik bölgelerde ve sınır tabakası türbülans çalışmalarında kullanılan küçük UAS sistemleri, klasik yöntemlerin ölçüm yapamadığı 0-300 m aralığındaki kritik mikro-ölçek süreçlerin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır. Son yıllarda ise hem araştırma kurumları hem de meteoroloji ajansları tarafından çeşitli atmosferik süreçlerin izlenmesi, kısa vadeli hava tahmini doğruluğunun artırılması ve kentsel atmosfer yapısının analiz edilmesi amacıyla UAS tabanlı gözlemler rutin olarak gerçekleştirilmektedir. Bu gelişmeler, İHA platformlarının deneysel bir araç olmaktan çıkarak operasyonel meteorolojinin tamamlayıcı bir bileşeni hâline geldiğini göstermektedir. Atmosferin düşey yapısının doğru biçimde ölçülmesi; kısa vadeli hava tahmini, sınır tabakası süreçlerinin modellenmesi, sis oluşumu ve konvektif fırtınaların tetiklenmesi gibi meteorolojik olayların izlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Türkiye'de bu amaçla hâlen radiosonde balonları kullanılmakta; Samsun, İstanbul, Ankara, İzmir, Isparta, Diyarbakır, Adana, Erzurum ve Kayseri illerinde günde iki kez düzenli radiosonde fırlatılmaktadır. Ancak radiosonde yönteminin çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Balonlar rüzgârla sürüklenerek yüzlerce kilometre uzağa taşınabildiğinden, atıldıkları konuma ait dikey hava sütununu temsil etme özelliklerini büyük ölçüde kaybedebilmektedir. Ölçüm sistemi tek kullanımlık olduğundan, balon yere düştüğünde sensörler çoğu zaman geri kazanılamamakta; bu durum hem ekonomik kayıp hem de çevresel bir sorun oluşturmaktadır. Nitekim gerekli ekipman, gaz ve operasyon maliyetleri dikkate alındığında, bir radiosonde fırlatımının ortalama maliyetinin yaklaşık 500 € olduğu belirtilmiştir (Laukys et al., 2023). Ayrıca radiosondelerin veri iletimi, balonun uçuşu sırasında yere gerçek zamanlı aktarım esasına dayanmakta olup, balonun düşmesi durumunda veri kaybı olasılığı bulunmaktadır. Tüm bu nedenler, daha ekonomik, tekrarlanabilir, konumunu koruyabilen ve yüksek çözünürlüklü profiller sağlayabilen alternatif gözlem platformlarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda meteorolojik sensörlerin İHA platformlarına entegre edilmesi önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. 1980'lerden itibaren meteorolojik amaçlarla kullanılmaya başlanan İHA'lar, özellikle sınır tabakasında sıcaklık, nem, basınç ve rüzgâr gibi temel meteorolojik değişkenleri yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükle ölçebilme kapasitesine ulaşmıştır. Geleneksel radiosonde sistemlerinin aksine İHA'lar, uçuş boyunca veriyi yalnızca yere iletmekle kalmayıp araç üzerinde de kaydedebildiğinden, olası teknik kayıplar veya düşme durumlarında dahi ölçümlerin geri kazanılabilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca radiosondenin sürüklenme etkisinin aksine, İHA platformları konumunu koruyarak aynı düşey doğrultuda ölçüm yapabilmekte ve bu durum özellikle mikro-ölçekli atmosferik yapıların doğru temsil edilmesini sağlamaktadır. Atmosferik ölçümlerde kullanılan İHA platformları genel olarak çok rotorlu, sabit kanatlı ve hibrit VTOL sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Çok rotorlu İHA'lar, hassas konum kontrolü ve havada askıda kalabilme kabiliyetleri sayesinde sınır tabakasının ilk birkaç yüz metresindeki düşey profillemeye çalışmalarında yüksek çözünürlük sağlamaktadır. Düşük yatay hızları sayesinde mikro-ölçekli termal gradyanlar, yüzey kaynaklı türbülans ve ani nem değişimleri gibi hızlı atmosferik süreçler detaylı biçimde gözlemlenebilmektedir. Sabit kanatlı İHA'lar ise daha yüksek irtifalara çıkabilme, uzun süreli uçuş ve düşük enerji tüketimi avantajlarıyla geniş alan gözlemleri ve troposferin orta-üst seviyelerine yönelik ölçümlerde kullanılmaktadır. Hibrit VTOL sistemler, bu iki yaklaşımın avantajlarını birleştirerek hem düşey profillemeye hem de geniş ölçekli yatay uçuş görevlerini tek bir platformda gerçekleştirebilmekte ve saha operasyonlarında yüksek esneklik sunmaktadır. Bu platformların en kapsamlı örneklerinden biri, Meteomatics tarafından geliştirilen MeteoDrone sistemidir. MeteoDrone'lar 0-6 km irtifa aralığında sıcaklık, bağıl nem, basınç ve rüzgâr ölçümlerini 4 Hz örnekleme frekansı ile kaydedebilmekte; uçuş sonrası veriler RAOB formatına dönüştürülerek Skew-T Log-P diyagramları ve hodograph üzerinde analiz edilebilmektedir. Elde edilen yüksek çözünürlüklü düşey profil verilerinin WRF gibi sayısal hava tahmin modellerine başarıyla asimile edilmesi, sis oluşumu, düşük seviye bulutlanma ve konvektif fırtınaların gelişimi gibi kısa vadeli atmosferik süreçlerin daha doğru temsil edilmesine katkı sağlamıştır (Meteomatics, 2020).

Bu sonuçlar, modern İHA sistemlerinin operasyonel meteorolojide radiosonde yöntemine güçlü bir tamamlayıcı olabileceğini göstermektedir. Daha yüksek irtifalara yönelik çalışmalar kapsamında geliştirilen LUCA sabit kanatlı İHA platformu ise, tamamen elektrikli küçük bir İHA'nın yalnızca motor gücüyle yaklaşık 10 km irtifaya tırmanarak radiosonde ölçümleriyle karşılaştırılabilir doğrulukta termodinamik profiller üretip üretemeyeceğini değerlendirmeyi amaçlamıştır (Reuder et al., 2023). Lindenbergl ve Neumayer istasyonlarından elde edilen üç yıllık radiosonde verilerinin analiz edilmesi, LUCA platformunun uçuş zarfının üst troposferde karşılaşılan düşük sıcaklıklar, azalan hava yoğunluğu ve güçlü rüzgâr yükleri dikkate alınarak optimize edilmesini sağlamıştır. Yaklaşık 10 m s<sup>-1</sup> tırmanış hızıyla 17 dakikada 10 km irtifaya ulaşabilen LUCA'nın sıcaklık profillerinde radiosonde ölçümleriyle yüksek uyum gözlenmiş; karışım oranı sapmalarının ise özellikle üst seviyelerde nem sensörünün düşük sıcaklıklarda uzayan yanıt süresinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu bulgular, sabit kanatlı küçük UAS platformlarının üst troposfer koşullarında dahi güvenilir termodinamik ölçümler sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Geleneksel yöntemlerden teknoloji tabanlı araçlara geçiş sürecinde, özellikle rüzgâr ölçümleri söz konusu olduğunda çeşitli zorluklar ortaya çıkmaktadır. İHA'lar yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlük sunsa da platforma entegre edilen anemometreler ağırlık, maliyet ve rüzgâr kesmesi gibi etkenler nedeniyle ölçüm hatalarına yol açabilmektedir. Bu bağlamda, biyolojik olarak ilham alınmış baykuş kanadı profiline sahip triboelektrik kablosuz anemometre (BOW-TENG), hafif yapısı ve yüksek hassasiyetiyle bu sınırlamaları gidermeye yönelik yeni bir sensör teknolojisi olarak öne çıkmaktadır (Liu vd., 2024). Deneysel sonuçlar, BOW-TENG sensörünün 1,6-10,7 m s<sup>-1</sup> aralığındaki rüzgâr hızlarını yüksek güvenilirlik ve tutarlılıkla ölçebildiğini; 21.893 Hz m<sup>-1</sup> s duyarlılığına ve 0.9995 uyum katsayısına (R<sup>2</sup>) sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca sensörün yalnızca 30 g ağırlığında olması, İHA sistemlerine entegrasyon açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. İHA tabanlı rüzgâr ölçümlerinde platform hareketi, pervane etkileri ve uçuş geometrisinden kaynaklanan sistematik sapmaların azaltılması için doğrulama ve kalibrasyon adımları büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla rüzgâr tünelleri, lidar veya radar gözlemleriyle karşılaştırma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Rüzgâr tünelleri, sensör performansının gerçekçi uçuş konumlarında değerlendirilmesine olanak tanımakta; özellikle eğim açısı ve pervane kaynaklı akış bozulmalarının etkilerinin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır (Thielicke et al., 2021). Neumann ve Bartholmai (2015), rüzgâr tüneli deneylerinin, özel anemometrelere ihtiyaç duyulmadan İHA'nın yerleşik sensörleri kullanılarak rüzgâr hızının düşük hatayla tahmin edilebilmesini sağlayan temel kalibrasyon modellerinin geliştirilmesine katkı sağladığını belirtmiştir. Buna ek olarak, rüzgâr ölçümüne yönelik alternatif yaklaşımlar arasında quadrotor platformlarının uçuş kontrol tepkilerinden yararlanılarak rüzgâr vektörünün tahmin edilmesi yer almaktadır. Bu yöntemde IMU verileri, motor güç çıktıları ve gövde eğim açıları aerodinamik bir denge modeli içinde değerlendirilmekte; harici bir anemometreye ihtiyaç duyulmadan rüzgâr hızının ve yönünün belirlenmesi mümkün olmaktadır (Ailon et al., 2015). Çeşitli çalışmalarda, bu yaklaşım kullanılarak rüzgâr hızındaki hata değerinin yaklaşık 0,3 m s<sup>-1</sup>, rüzgâr yönü hatasının ise 5° seviyesine kadar düşürülebildiği gösterilmiştir (Wang et al., 2018; Inoue & Sato, 2022). Ultrasonik ve termal anemometrelerin entegrasyonu gibi yöntemler de düşük irtifa rüzgâr ölçümleri için değerlendirilmiş; ancak maliyet, enerji tüketimi ve platform geometrisinden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle sensör seçiminin uygulama amacına göre dikkatle yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Simon et al., 2022). Tüm bu literatür ışığında, İHA tabanlı atmosferik profillemenin maliyet, tekrarlanabilirlik ve veri bütünlüğü açısından geleneksel radiosonde yöntemine önemli avantajlar sunduğu görülmektedir. Bu proje kapsamında amaçlanan; meteorolojik sensörlerin bir İHA platformuna entegre edilmesi, ileriki aşamalarda Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) belirlediği ölçüm toleranslarına uygun sensörlerin değerlendirilmesi, uçuşlardan elde edilen ham verilerin işlenmesi ve oluşturulan düşey atmosfer profillerinin mevcut yöntemlerle karşılaştırılarak Türkiye'de İHA tabanlı düşey gözlemlerin uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu yaklaşım, radiosonde sistemlerinin aksine verinin hem gerçek zamanlı olarak iletilmesini hem de uçuş boyunca araç üzerinde güvenli şekilde kaydedilmesini sağlayarak ölçümlerin sürdürülebilirliğini ve doğruluk güvencesini artırmayı hedeflemektedir.

[www.meteorolojimuh.org.tr](http://www.meteorolojimuh.org.tr)

# COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUMU İÇİN UYGUNLUK HARİTASI OLUŞTURULMASI: SAMSUN İLİ ÖRNEĞİ



FURKAN KESKİN

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim  
Değişikliği Bakanlığı, İklim  
Değişikliği Başkanlığı



BİHTER DURNA

Samsun Üniversitesi, Özdemir  
Bayraktar Havacılık ve Uzay  
Bilimleri Fakültesi, İklim Bilimi  
ve Meteoroloji Mühendisliği  
Bölümü

## ÖZET

Günümüz teknolojisinin ve insanların yaşam standartlarının yükselmesinde enerji kritik bir rol oynamaktadır. Enerji, yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları, kullanıldıkça tükenen ve çevreye zarar veren karbon yapılı kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise doğanın döngüsünde yer alarak çevreye minimal zarar verir ve tükenmezler.

Bu çalışmada, güneş enerjisinden yararlanmak için gerekli olan güneş enerji santrallerinin (GES) kurulumunda önemli kriterler belirlenmiş ve bu kriterler doğrultusunda Samsun ili için GES kuruluma uygunluk haritası oluşturulmuştur. Uygunluk haritası, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak ArcGIS for Desktop programında Ağırlıklı Çakıştırma Analizi (Weighted Overlay Analysis) ile gerçekleştirilmiştir. GES kurulumu için belirlenen kriterler arasında global güneş ışıması, güneşlenme süresi, baki, eğim, arazi kullanımı, enerji taşınım hatlarına, yollara ve trafo merkezlerine olan uzaklık yer almıştır. Ayrıca, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen gökyüzünün bulutlu gün sayısı ve kar örtülü gün sayısı da analizde dikkate alınmıştır.

Kriterlerin ağırlık değerleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile hesaplanmıştır. AHP yöntemi ile yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda, global güneş ışıması en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak belirlenirken, ulaşım olan uzaklık en düşük ağırlığa sahip olmuştur. Bu ağırlık değerleri ile gerçekleştirilen Ağırlıklı Çakıştırma Analizi sonucunda, Samsun ili için GES kuruluma uygunluk haritası ortaya çıkmış ve haritada kurulum için en uygun alanların oldukça az olduğu görülmüştür. Bu çalışma, güneş enerjisi santrallerinin kurulumunda doğru kriterlerin belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemlerinin etkin kullanımıyla alan analizi yapmanın önemini vurgulamaktadır.

*Anahtar kelime: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Güneş Enerjisi Santrali (GES), Ağırlıklı Çakıştırma Analizi, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)*

## ABSTRACT

Energy plays a critical role in the advancement of today's technology and the elevation of living standards. Energy is divided into two main categories: renewable and non-renewable sources. Non-renewable energy sources are carbon-based resources that deplete as they are used and cause harm to the environment. In contrast, renewable energy sources integrate into nature's cycle, causing minimal harm and are inexhaustible.

This study has identified important criteria for the installation of solar power plants (SPPs) necessary for utilizing solar energy and has created a suitability map for SPP installation in Samsun province based on these criteria. The suitability map was developed using Geographic Information Systems (GIS) through Weighted Overlay Analysis in ArcGIS for Desktop. The criteria determined for SPP installation include global solar radiation, sunshine duration, aspect, slope, land use, and distances to energy transmission lines, roads, and transformer stations. Additionally, the number of cloudy days and the number of snow-covered days measured by the State Meteorological Services were also considered in the analysis. The weight values of the criteria were calculated using the Analytic Hierarchy Process (AHP). As a result of the pairwise comparisons made using the AHP method, global solar radiation was identified as the criterion with the highest weight, while the distance to transportation had the lowest weight. The Weighted Overlay Analysis carried out with these weight values resulted in a suitability map for SPP installation in Samsun province, revealing that there are very few areas suitable for installation. This study emphasizes the importance of determining the correct criteria for the installation of solar power plants and conducting spatial analysis through the effective use of geographic information systems.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Solar Power Plant (SPP), Weighted Overlay Analysis, Analytic Hierarchy Process (AHP)

## GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, tükenmeyen ve zamanla azalmayan enerji biçimidir (Koç ve ark., 2015). Ülkemiz, diğer ülkelerde olduğu gibi enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu yenilenemez enerji kaynakları olan fosil yakıtlardan karşılamaktadır. 2024 yılında elektrik enerjisi tüketiminde bir önceki yıla oranla %5,5'lik artış göstermiştir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 2024 yılı enerji üretim dağılımına göre, elektrik üretiminin %34,7'si kömürden, %18,9'u doğalgazdan, %21,1'i hidrolik enerjiden, %10,4'ü rüzgardan, %8,7'si güneşten, %3,1'i jeotermal enerjiden ve %3,1'i diğer kaynaklardan elde edilmiştir (ETKB, 2025). Ülkemiz 2021 yılında 2053 net sıfır emisyon hedefini açıklayarak emisyonların azaltımı kapsamında bir adım atmıştır. Bu kapsamda hazırlanan İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı'nda (2024-2030), enerji sektörünün 1. stratejisi olan "Elektrik üretiminde karbon yoğunluğunun azaltılması", bu sürecin gerekliliği ve önemini açıkça ortaya koymaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı, 2024). Bu nedenle, fosil yakıtların çevreye verdiği zararları en aza indirmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum düzeyde faydalanmak hayati önem taşımaktadır (Akpınar, 2015).

Güneş enerjisi, çevreye olan zararı oldukça düşük bir enerji türüdür (Ugli, 2019). Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz vb.) ise yapıları gereği elektrik üretimi için yakılmak zorundadır. Bu yakma işlemi sonucunda atmosfere yayılan karbondioksit, dünyadaki canlı yaşamı için antropojenik küresel ısınma gibi tehlikeler oluşturur (Çetintaş ve ark., 2017).

Güneş enerjisi panellerinin ideal konumlarının belirlenmesi konusunda birçok çalışma mevcuttur. Kum ve ark. (2019), Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli açısından yüksek öneme sahip Gaziantep ili için belirlenen kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yardımıyla ağırlık değerlerini hesaplayarak ağırlıklı çakıştırma analizi ile bu kriterlere bağlı güneş enerjisi panellerinin kurulumu için ideal konum haritasını elde etmişlerdir. Atak ve ark. (2019) ise Eskişehir'in Sivrihisar ilçesi için CBS yardımıyla ağırlıklı çakıştırma analizi gerçekleştirerek, bu bölge için güneş enerji santrallerinin kurulumunda ideal konumları belirlemişlerdir. Yalçın ve ark. (2020), Burdur ilinde güneş enerji santrali kurulumu için uygun alanların belirlenmesi konusunda CBS ve AHP kullanarak ilgili bölge için ideal konum haritaları oluşturmuşlardır. Amrani ve ark. (2024), su elektrolizi için gerekli elektriği PV ve CSP (concentrated solar power-yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi) teknolojileriyle üretmeyi

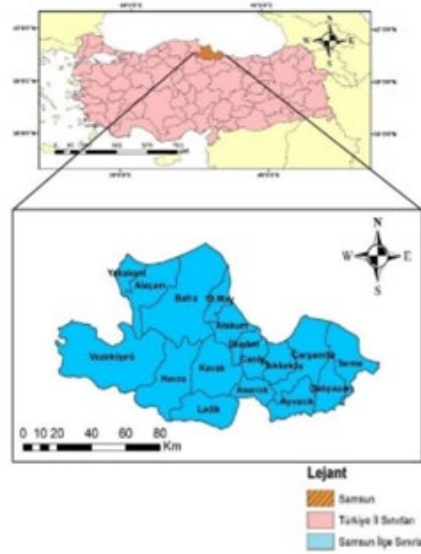
hedefleyen büyük ölçekli yeşil hidrojen tesisleri açısından Fas'ın potansiyelini AHP ve CBS tabanlı çok ölçütlü uygunluk analizi ile haritalandırarak uygunluk analizi gerçekleştirmişlerdir. Islam ve ark. (2024), Cezayir'de güneş enerjisi panellerinin kurulumuna elverişli alanları belirlemek üzere CBS tabanlı çok ölçütlü yer seçimi yaklaşımıyla uygun/uygunsuz bölgeleri sınıflandırmışlardır. Richards ve ark. (2025) AHP, bulanık mantık ve CBS entegrasyonu ile teknik/ekonomik/çevresel/sosyal ölçütleri senaryolar bazında birleştirip PV Kurulumuna uygun alanları ve beklenen enerji/sera gazı azaltım etkilerini birlikte değerlendirmiştir.

Bu çalışmada, Samsun ilinin güneş enerjisinden yararlanabilecek ideal konumlarının bulunması hedeflenmiştir. Oluşturulan ideal konum haritasının, gelecekte yapılacak olan enerji üretim tesislerine ön ayak olması amaçlanmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyelinin kullanılarak ve dışa bağımlılığın azaltılarak; enerji sektörünün büyük payının olduğu emisyonların düşürülmesi için güneş enerjisi santrallerinin kurulumuna uygunluğunun belirlenmesi, bir CBS uygulaması olan ArcGIS for Desktop ve AHP yardımıyla yapılacaktır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Çalışma Alanı

Yapılan bu çalışma için belirlenen bölge, Orta Karadeniz Bölgesinde yer alan Samsun ilidir. 9.579 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahip olan Samsun, Türkiye'deki 30 büyükşehirden birisidir. Coğrafi olarak 40°82'-41°73' Kuzey enlemleri, 34°54'-37°10' Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

Samsun'un topoğrafik yapısına bakıldığında, şehrin güneyini sıra dağların kapsadığı, dağlık bölge ile sahil arasında yaylalar bulunduğu, alt kesimde ise kıyı ovalarının yer aldığı görülmektedir (Candemir & Özdemir, 2010). Samsun ili, Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Cfa grubunda yer almaktadır. Bu grup, yazların sıcak ve yıl boyunca yağışların görüldüğü iklim tipini tanımlamaktadır. Ancak Karadeniz Bölgesi'nde dağların konumu nedeniyle iç bölgeler ile sahil kısımları arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar doğrultusunda, sahil şeridinde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak geçerken; dağlık bölgelerde kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise serin olmaktadır (Turan ve ark., 2018).

## Kullanılan Veriler

Güneş enerjisi santrali kurulumunda göz önüne alınan kriterler şunlardır: global güneş ışınımı, toplam güneşlenme süresi, kar örtülü gün sayısı, gökyüzünün bulutla kaplı olduğu gün sayısı, bakı, eğim, arazi kullanımı, yollara uzaklık, enerji hatlarına uzaklık ve trafo merkezlerine uzaklık olarak sıralanabilir. Bu kriterler arasında yer alan meteorolojik değişkenlerin temin edildiği istasyon bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Meteorolojik değişkenlerin alındığı istasyon bilgileri

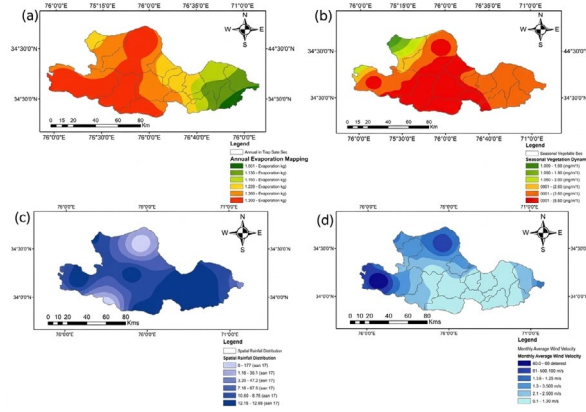
Sıra No	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem <sup>(0)</sup>	Boylam <sup>(0)</sup>
1	Bafra/TAGEM	18133	41.6017	35.9189
2	Ladik/Akdağ	19037	40.8753	35.9075
3	Havza/Yeşilalan	18709	41.2472	35.8075
4	Asarcık	18535	41.0234	36.2228
5	Canik/Kaşyayla	18537	41.2216	36.3186
6	Tekkeköy/TAGEM	18132	41.2303	36.4986
7	Samsun/Bölge	17030	41.3441	36.2563
8	Çarşamba/Çakmak	19035	41.1103	36.6347
9	Vezirköprü/Gölköy	19038	41.1793	35.1561
10	Sinop	17026	42.0299	35.1545
11	Boyabat	17620	41.463	34.7853
12	Durağan/Tekir Y.	19041	41.3464	35.2981
13	Dikmen	18547	41.6636	35.2725
14	Gerze	18549	41.8119	35.1736
15	Ünye	17624	41.143	37.293
16	Akkuş	18131	40.7906	37.0181
17	Osmancık	17652	40.9787	34.8011
18	Amasya	17085	40.6668	35.8353
19	Merzifon	17083	40.8793	35.4585

Global güneş ışınımı (Global Horizontal Irradiance), yatay yüzeye düşen güneş ışınım değeri olarak tanımlanmaktadır ve güneş enerjisi potansiyeli hesaplanırken kullanılan başlıca meteorolojik değişkenlerden biridir. Ocak 2013 ile Aralık 2020 tarihleri arasında ölçülen aylık toplam güneş ışınımı verileri kullanılarak yıllık ortalamalar hesaplanmıştır. Ayrıca, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi (Ocak 2013 - Aralık 2021), yıllık ortalama kar örtülü gün sayısı (Ocak 1992 - Aralık 2021) ve yıllık ortalama bulutla kaplı gün sayısı (Ocak 1992 - Aralık 2021) da hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli, Sentinel-1 uydusundan temin edilmiştir. Bu modelle ArcGIS for Desktop yazılımı kullanılarak bakı ve eğim haritası oluşturulmuştur. Arazi kullanımı verisi ise, ESRI'nin oluşturduğu 2020 arazi kullanım haritası üzerinden elde edilmiş; ana yollar, devlet karayolları, otoyollar, enerji nakil hatları ve trafo merkezleri bilgileri OpenStreetMap kullanılarak temin edilmiştir.

## Verilerin Görselleştirilmesi

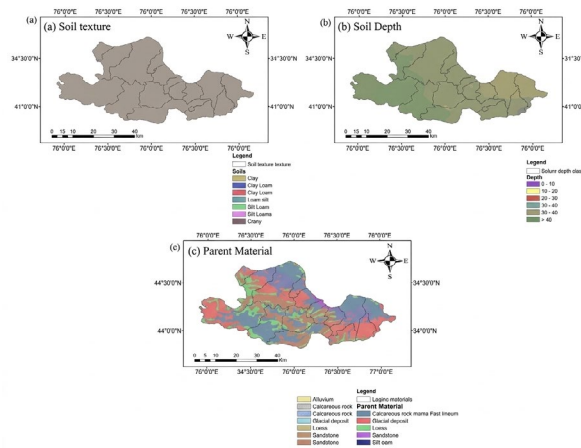
Temin edilen veriler, bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programı olan ArcGIS for Desktop kullanılarak görselleştirilmiştir. Bu görselleştirme işleminde öncelikle elde edilen ham verilerin doğruluğu kontrol edilerek yıllık ortalama değerler hesaplanmıştır. Kullanılan bu veriler noktasal olduğundan, çalışma amacı alansal olduğu için bu verilere alansal enterpolasyon uygulanarak tüm çalışma alanını kapsar hale getirilmiştir.

Şekil 2, ilgili verilerin görselleştirilmiş biçimini göstermektedir. Güney bölgeleri yüksek güneş ışınımı değerlerine sahipken Ordu ve Sinop taraflarına doğru ışınım değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir. En düşük 1231 kWh/m<sup>2</sup>’lik değere sahip istasyon Ünye/Ordu iken, 1379 kWh/m<sup>2</sup> ile Vezirköprü/Samsun istasyonu daha yüksek bir değere sahiptir (Şekil 2a). Merzifon/Amasya, 2255 saat/yıl ile en yüksek yıllık güneşlenme süresine sahipken, Sinop istasyonu 1823 saat/yıl ile en düşük yıllık güneşlenme süresini göstermektedir (Şekil 2b). Kar örtülü gün sayısı, sahil kısımlarında düşük değerlere sahipken, Samsun’un güney kesimlerinde (karasal bölgelerde) daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 2c). 134 gün ile Vezirköprü istasyonu en yüksek kar örtülü gün sayısına sahipken, daha güneydoğuda yer alan karasal özellikleri yüksek bölgeler 0-17 gün arasında değerlere sahiptir (Şekil 2d).



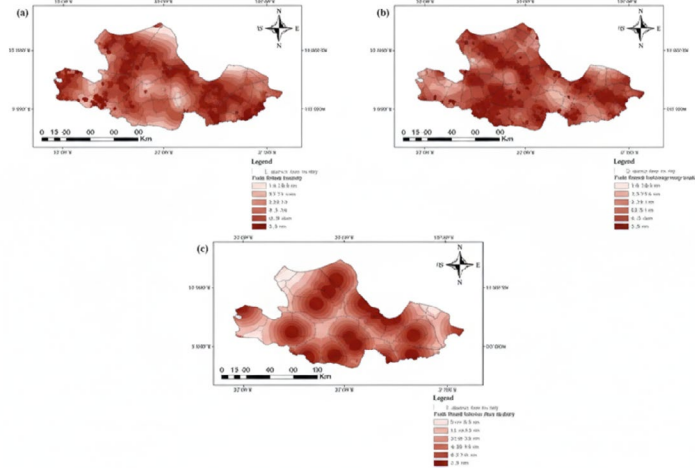
Şekil 2. (a) Global güneş ışınımı, (b) Güneşlenme süresi, (c) Kar örtülü günler, (d) Bulutla kaplı günler

Oluşturulan bakı haritasında, Samsun’un topografik yapısının engebeli olması nedeniyle çok küçük mesafelerde birden fazla bakı yön değişiminin meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3a). Benzer şekilde, Samsun ilinin engebeli yapısı nedeniyle eğim değerlerinin de çok kısa mesafelerde değişiklik gösterdiği tespit edilmektedir (Şekil 3b). Arazi kullanım haritası ArcGIS for Desktop üzerinde oluşturulmuş bir haritadır. 2020 yılına ait bu harita, araziye yedi kategoriye ayırmaktadır: Su kaynakları, ağaçlık alanlar, sulak alanlar, tarım alanları, yerleşim alanları, boş arazi ve mera alanları. Su kaynakları, sulak alanlar ve tarım alanları tek bir renk altında belirtilmektedir (Şekil 3c).



Şekil 3. (a) Bakı, (b) Eğim, (c) Arazi kullanımı

Analiz sonucunda, neredeyse tüm il içerisinde taşınım yapılabilen yolların bulunduğu görülmektedir. Koyu renkler ile 0-1,9 km uzaklık, açık renkler ile 12,3-18,8 km uzaklık belirtilmektedir (Şekilde 4a). Benzer şekilde, enerji nakil hatları da tüm il genelinde dağılmış durumdadır. Oluşan haritada, koyu renkler 0-1,9 km uzaklığı, açık renkler ise 13,6-18,6 km uzaklığı temsil etmektedir (Şekil 4b). Elde edilen haritada, trafo merkezleri noktasal oldukları için diğer uzaklık haritalarına göre ölçek değerler daha yüksek belirlenmiştir. Burada koyu renkler 0-6,2 km uzaklığı, açık renkler ise 25,4-35,2 km uzaklığı belirtmektedir (Şekil 4c).



Şekil 4. (a) Karayollarına uzaklık, (b) Enerji Nakil hatlarına uzaklık, (c) Trafo merkezlerine uzaklık

## Oluşturulan Haritaların Yeniden Ölçeklendirilmesi

Yukarıda elde edilen enterpolasyon verileri, ardından 6 farklı ölçeğe ayrılmıştır; bu ölçeklerde 6 en yüksek, 1 ise en düşük önem seviyesini temsil etmektedir. Global ışınım verisi, güneşlenme süresi yeniden ölçeklere ayrıldığında, yüksek değerler en yüksek ölçek olan 6'ya sahipken, düşük değerler daha düşük ölçeklerle ölçeklendirilmektedir. Kar örtülü gün sayısı verisi ölçeklere ayrıldığında, yüksek değerlere sahip verilerin fotovoltaik panellerin üzerini karla kaplayarak enerji üretimini olumsuz etkilemesi nedeniyle, düşük değerler yüksek ölçeklerle ilişkilendirilmektedir. Bulutla kaplı gün sayısı verisi ölçeklendirildiğinde, yüksek değerlere sahip veriler gökyüzünün bulutla kaplı olduğu anlamına geldiğinden ve enerji üretimini düşürdüğünden, bu veriler düşük ölçeklendirilmiş, düşük değerler ise yüksek ölçeklerle ölçeklendirilmiştir. Bakı haritası ölçeklendirilirken, çalışma alanının coğrafi konumu göz önünde bulundurularak güneş enerjisinden yararlanmada güney yönlü bakıların daha fazla etkisi olduğu için güney yönlü bakı değerleri yüksek ölçeklendirilmiş, kuzey yönlü bakı değerleri ise düşük ölçeklendirilmiştir. Eğim verisi ölçeklendirilirken, yüksek eğim değerine sahip topografyada kurulum ve enerji üretiminin olumsuz etkileneceği düşünülerek, düşük eğim değerine sahip yerler yüksek ölçekle, yüksek eğim değerine sahip yerler ise düşük ölçekle ilişkilendirilmektedir. Arazi kullanımı verisinde ölçeklendirme diğerlerine göre biraz daha farklıdır. Burada 7 farklı kategorinin ölçeklendirme değeri yapılmaktadır. Bu işlem yapılırken boş arazi en yüksek ölçek değerine sahip olurken su kaynakları, sulak alanlar ve tarım alanlarına GES kurulumu yapılamayacağından en düşük ölçek değeriyle ilişkilendirilmektedir. Yollara olan uzaklık verisinde, ulaşım ağına yakınlık ekonomik açıdan bir avantaj sağladığı için, yakın olan veriler yüksek ölçek değerine sahip olurken, uzak olan değerler düşük ölçek değerleriyle ilişkilendirilmektedir. Enerji nakil hatlarına olan uzaklık verisi de, yollara olan uzaklık verisinde olduğu gibi, ne kadar yakınsa o kadar yüksek ölçek değerine sahip olmaktadır. Trafo merkezlerine olan uzaklık verisi ise, yollar ve enerji nakil hatlarına olan uzaklık verisinde uygulanan aynı ölçeklendirme ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Verilerin tekrar ölçeklendirilmiş değerleri

Kategori	Değerler	Ölçek Değerleri
Global Güneş Işınımı	1231-1278 KWh/m <sup>2</sup>	1
	1278-1298 KWh/m <sup>2</sup>	2
	1298-1316 KWh/m <sup>2</sup>	3
	1316-1336 KWh/m <sup>2</sup>	4
	1336-1355 KWh/m <sup>2</sup>	5
	1355-1379 KWh/m <sup>2</sup>	6
Toplam Güneşlenme Süresi	1823-1923 Saat/Yıl	1
	1923-1985 Saat/Yıl	2
	1985-2031 Saat/Yıl	3
	2031-2085 Saat/Yıl	4
	2085-2147 Saat/Yıl	5
	2147-2255 Saat/Yıl	6
Kar Örtülü Gün Sayısı	0-1,44 Gün/Yıl	6
	1,44-3,07 Gün/Yıl	5
	3,07-5,17 Gün/Yıl	4
	5,17-7,85 Gün/Yıl	3
	7,85-11,12 Gün/Yıl	2
	11,12-16,68 Gün/Yıl	1
Gökyüzünün Bulutla Kapallığı	0-17 Gün/Yıl	6
	17-37 Gün/Yıl	5
	37-59 Gün/Yıl	4
	59-81 Gün/Yıl	3
	81-105 Gün/Yıl	2
	105-134 Gün/Yıl	1
Bakı Yönü	Güney	6
	Güneydoğu	5
	Güneybatı	4
	Düz yüzey	3
	Kuzeydoğu	2
	Kuzeybatı	1
Eğim Değerleri	0°-18°	6
	18°-30°	5
	30°-41°	4
	41°-52°	3
	52°-62°	2
	62°-82°	1

Kategori	Değerler	Ölçek Değerleri
Arazi Kullanımı Tipi	Su Kaynağı, Sulak Alan, Tarım Alanı	0
	Ağaçlık Alan	1
	Yerleşim Yeri	2
	Mera	3
	Boş Arazi	4
	1355-1379 KWh/m <sup>2</sup>	6
Yollara Olan Uzaklık (Ulaşım)	0-19 km	6
	19-46 km	5
	46-7 km	4
	7-95 km	3
	95-123 km	2
	123-188 km	1
Enerji Nakil Hattına Olan Uzaklık	0-19 km	6
	19-48 km	5
	48-74 km	4
	74-103 km	3
	103-136 km	2
	136-186 km	1
Trafo Merkezlerine Olan Uzaklık	0-62 km	6
	62-106 km	5
	106-148 km	4
	148-193 km	3
	193-254 km	2
	254-352 km	1

## KRİTERLERİN AĞIRLIK HESABI

### Ağırlıklı Çakıştırma Analizi

Ağırlıklı çakıştırma analizi, çok kriterli karar verme yöntemleri arasında ideal konum belirlenmesi ve kuruluma uygunluk haritalarının oluşturulması konusunda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin temelinde, aynı konuma sahip farklı kriter verilerinin yer aldığı katmanların önem değerlerine göre ideal konumun belirlenmesi yatmaktadır. Oluşturulan katmanların ağırlık değerlerinin hesaplanması işlemi, AHP ile gerçekleştirilmektedir.

### Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik hiyerarşi süreci, çok kriterli karar verme yöntemleri arasında oldukça fazla kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde izlenen süreç, öncelikle amacın belirlenmesiyle başlar. Daha sonra bu amaç doğrultusunda kullanılacak kriterler ve alt kriterlere karar verilir. Bu kriterler ve alt kriterler, ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak karşılıklı önem derecelerine göre değerlendirilir ve böylece kriterlerin ağırlık hesaplaması yapılır.

### Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlıklarının belirlenmesi

Belirlenen bu 11 kriterin ağırlıkları, literatürde bulunan araştırmalar, tecrübeler ve uzman görüşleri göz önünde bulundurularak ikili karşılaştırma matrisi üzerinde belirlenmiştir (Tablo 3). Kriter ağırlık hesaplamalarında, oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde kriterlerin birbirine göre önem değerleri 1 ile 9 arasında değişecek şekilde, 1 en düşük ve 9 en yüksek önemi temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Bu hesaplamalar sırasında literatür çalışmaları da dikkate alınmıştır. Oluşan ilk tabloda sütun değerlerinin toplamı hesaplanmıştır. Ardından, yeni bir tablo oluşturularak ilk tablodaki değerler tek tek sütun toplamlarına bölünerek yeni tabloya eklenmiştir. Bu yeni tablonun satır değerlerinin ortalaması alınarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen kriter ağırlık değerlerinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, bu ağırlıklar ilk tabloda verilen değerlerle çarpılmış ve oluşan tablodaki satır değerlerinin toplamı hesaplanmıştır. Bulunan toplam değerler, kriter ağırlıkları ile bölünerek toplam/kriter ağırlığını belirten 10 adet değer oluşturmuştur. Oluşan bu değerlerin ortalaması, Analitik Hiyerarşi Süreci'nde tutarlılık indeksinin hesaplanmasında rol oynayan lambda ( $\lambda$ ) değerini verir. Ardından, bulunan  $\lambda$  değeri kullanılarak tutarlılık indeksi hesaplanmıştır (Denklem 1).

$$CI=(\lambda - n)/(n - 1) \quad (1)$$

CI= Tutarlılık İndeksi

$\lambda$ = Lambda

n= Matrisin Boyutu (Kriter Sayısı)

Bulunan tutarlılık indeksinin, hazır hesaplanmış rastgele tutarlılık indeksi tablosundan kriter sayısına uygun değer ile bölünmesi sonucunda, elde edilen değer 0.1'den ne kadar küçük olduğu, oluşturulan matrisin tutarlılığının o kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Hesaplanan kriter ağırlıklarının tutarlılık indeksinin rastgele tutarlılık indeksine bölümü sonucunda 0.00014 değerine ulaşılmıştır. Bu değer, yapılan kriter ağırlık hesaplama işleminin yüksek tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir.

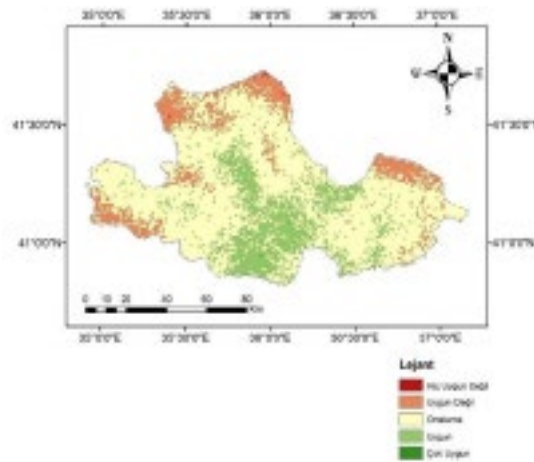
Tablo 3. İkili karşılaştırma matrisi ile kriterlerin ağırlık hesaplamaları

	Gün. Rad.	Gün. Sür.	Bakı	Eğim	Bul. Kap. Gün.	Kar Örtülü Gün	Enerji Hatlarına Uzaklık	Yollara Olan Uzaklık	Arazi Kullanımı	Trafo Merkezleri	Kriter Ağırlıkları
Güneş Radyasyonu	1	1.125	1.3	3	1.5	1.8	4.5	9	2.25	4.5	0.191
Güneşlenme Süresi	0.889	1	1.3	2.67	1.332	1.6	4	8	2	4	0.172
Bakı	0.778	0.75	1	2.33	1.167	1.4	3.5	7	1.75	3.5	0.146
Eğim	0.333	0.375	0.4	1	0.5	0.6	1.5	3	0.75	1.5	0.063
Bulutla Kaph Gün	0.667	0.75	0.9	2	1	1.2	3	6	1.5	3	0.127
Kar Örtülü Gün	0.556	0.625	0.7	1.67	0.832	1	2.5	5	1.25	2.5	0.106
Enerji Hatlarına Uzaklık	0.231	0.25	0.3	0.67	0.332	0.4	1	2	0.5	1	0.042
Yollara Olan Uzaklık	0.110	0.125	0.1	0.33	0.167	0.4	0.5	1	0.25	1	0.021
Arazi Kullanımı	0.443	0.5	0.6	1.33	0.667	0.8	2	4	1	2	0.085
Trafo Merkezleri	0.221	0.25	0.3	0.67	0.333	0.4	1	2	0.5	1	0.042

### Kuruluma Uygunluk Haritasının Oluşturulması

Kuruluma uygunluk haritası, yukarıda oluşturulan harita katmanları ve analitik hiyerarşi süreci ile belirlenen ağırlık değerleri ArcGIS for Desktop üzerinde bir araya getirilerek oluşturulmuştur.

Oluşturulan uygunluk haritasına göre, Samsun ilinin Kavak, Ladik ve Tekkeköy çevreleri Güneş Enerjisi Santrali (GES) kurulumu için uygun durumda iken, sahil kesimlerinin genelde uygun olmadığı görülmektedir. İl genelinde GES kurulumu için uygun ve çok uygun konumların azınlıkta olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumun nedeni, Kavak, Ladik ve Tekkeköy çevresinde kullanılan veriler doğrultusunda Global Güneş Işınımı, Güneşlenme Süresi ve Bulutla Kaplı Gökyüzü değerlerinin ideal olması ve bu bölgelerdeki arazi kullanımının sınırlayıcı etkisinin düşük olmasıdır. Öte yandan, sahil kesimlerinin genellikle yerleşim yeri ve tarım arazisi olarak kullanılması nedeniyle ve coğrafi konumu gereği güneş ışınımı ile güneşlenme süresi gibi değişkenlerin daha güneydeki bölgelere göre düşük olması nedeniyle GES kurulumu için uygunluğun düşük olduğu tespit edilmiştir. İl genelindeki bu ortalama durum, Samsun'un sahip olduğu arazi koşulları ve yüzölçümünün büyük bir kısmını kaplayan ormanlardan kaynaklanmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Uygunluk haritası

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Güneş enerjisinin temiz ve ekonomik bir enerji kaynağı olmasından dolayı kullanımının artırılması ve kurulacak güneş enerji santralleri (GES) için yardımcı bir kaynak oluşturmak amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. GES kurulumu için belirlenen kriterler arasında global güneş ışınımı, güneşlenme süresi, bakı, eğim, arazi kullanımı, yollara uzaklık, enerji hatlarına uzaklık ve trafo merkezlerine uzaklık verilerine ilave olarak kar örtülü gün sayısı ve gökyüzünün bulutla kaplı olduğu gün sayısı değişkenleri de bu çerçevede kullanılarak ArcGIS for Desktop programı yardımıyla GES kurulumu için ideal konum haritası oluşturulmuştur.

Coğrafi olarak 36°-42° Kuzey enlemlerinde bulunan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, çoğu Avrupa ülkesinden daha yüksektir. Ancak, üretilen elektrik enerjisinin yalnızca küçük bir kısmı güneş enerjisinden elde edilmektedir. Bu eksiği, yapılan çalışmalar ile giderme amacıyla ülkemizde yer alan en düşük güneş enerjisi potansiyeline sahip Karadeniz Bölgesinde yer alan Samsun ili için yapılan bu çalışmada, çalışma alanına ait global güneş ışınımı ve güneşlenme süresi başta olmak üzere güneş enerji santrali kurulumu için ideal konum haritası oluşturulmuştur. Elde edilen haritada, Samsun ilinin yapılan önem ölçüğü doğrultusunda kurulumu çok uygun alanlarının az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun sadece güneş enerjisi potansiyeli ile açıklanması doğru olmamaktadır. Samsun'un topografyası dağlık bir yapıya sahipken, düz sahil kesimlerinde tarım arazileri bulunmaktadır. Bu topografik yapı ve arazi kullanımı, güneş enerji santrali kurulumu için önemli kısıtlamalar oluşturmaktadır.

Güneş enerjisinin temiz bir kaynak olmasının yanı sıra mekânsal olarak fazla miktarda alana ihtiyaç duyduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

## KAYNAKÇA

- Akpınar, E. (2005). *Nehir Tipi Santrallerin Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimindeki Yeri*. Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7 (2), 1-25.
- Atak, A., Çabuk, S. N., Bakış, R., & Çabuk, A. (2019). *Determination of suitable sites for solar power plants by using weighted overlay analysis: Sivrihisar Case*. IJREER, 9(3), 1203-1213.
- Aksungur, K. M., Kurban, M., & Filik, Ü. B. (2013). *Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi*. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 3-6.
- Candemir, F., & Özdemir, N. (2010). *Samsun İli Arazi Varlığı ve Toprak Sorunları*. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 25(3), 223-229.
- Çetintaş, H., Bicil, İ. M., & Türköz, K. (2017). *Türkiye'de Enerji Üretiminde Fosil Yakıt Kullanımı ve CO2 Emisyonu İlişkisi: Bir Senaryo Analizi* (No. 2017-002, pp. 1-12). EconWorld Working Paper Series.
- Koç, E. & Kaya, K. (2015). *Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu*. Mühendis ve Makina, 56 (668), 36-47.
- Kum, G., Sönmez, M. E., & Karabaş, M. (2019). *Gaziantep ilinde güneş enerjisi potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) ile belirlenmesi*. Coğrafya Dergisi, (39), 61-72.
- Turan, M., Dengiz, O., & Turan, İ. D. (2018). *Samsun ilinin Newhall modeline göre Toprak sıcaklık ve nem rejimlerinin belirlenmesi*. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 5(2), 131-142.
- Ugli, T. J. T. (2019). *The importance of alternative solar energy sources and the advantages and disadvantages of using solar panels in this process*. International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS), 3(4).
- Yalçın, C., & Yüce, M. (2019). *Burdur'da güneş enerjisi santrali (ges) yatırımına uygun alanların cbs yöntemiyle tespiti*. Geomatik, 5(1), 36-46.
- Salah-eddine Amrani, Ahmed Alami Merrouni, samir Touili, Hanane Ait Lahoussine Ouali, Hassane Dekhissi, *An AHP-GIS combination for site suitability analysis of hydrogen production units from CSP & PV solar power plants in Morocco*, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 56, 2024, Pages 369-382, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.12.165>.
- Md. Rabiul Islam, Md. Tareq Aziz, Mohammed Alauddin, Zarjes Kader, Md. Rakibul Islam, *Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach*, Renewable Energy, Volume 220, 2024, 119595, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119595>.
- Richards, D., Yabar, H., Mizunoya, T. et al. *Sustainable solar energy deployment: a multi-criteria decision-making approach for site suitability and greenhouse gas emission reduction*. Environ Sci Pollut Res 32, 2007–2035 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35669-6>
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İklim Değişikliği Başkanlığı. (2024). *İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030)*. [https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Azalt%C4%B1m%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan%C4%B1%20\(2024-2030\).pdf](https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Azalt%C4%B1m%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan%C4%B1%20(2024-2030).pdf)

# ASMA KÖPRÜLERDE RÜZGÂRIN TRAFİK AKIŞINA ETKİSİ VE KRİTİK DEĞERLERDE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER



PROF. DR. MİKDAT KADIOĞLU



PROF. DR. NURDAN MEMİŞOĞLU APAYDIN



AHMET KÖSE



SALİM ÖZMEN



MURAT TUNÇ

## Özet

Asma köprüler gibi yüksek yerlerde ve boğaz gibi bir topoğrafyada, kanalize olmuş rüzgârlar yer seviyesinden çok daha kuvvetli esmekte ve araç trafiğine olumsuz etki etmektedir. Asma köprüler meteorolojik şartlara çok duyarlı yapılar olup meteorolojik gözlem ve önlemler hayati önem taşır. 1940'ta ABD'nin Washington eyaletinde yapılmış olan, Boğaziçi Köprüsü'nün benzeri Tacoma Asma Köprüsü hizmete alındıktan 4 ay sonra kuvvetli rüzgârın etkisiyle yıkılmıştır. Anemometrelerden alınan rüzgâr gözlemleri sayesinde Tacoma Köprüsü zamanında trafiğe kapatılarak büyük bir facia önlenmişti. Bu ve benzeri olumsuzlukları önlemek üzere gelişmiş ülkelerdeki asma köprülerde trafik akışı rüzgâr şiddetine göre düzenlenir. Bu çalışmanın amacı 15 Temmuz Şehitler Köprüsü (Boğaziçi), Fatih Sultan Mehmet ve ileriki dönemlerde ülkemizde yapılacak asma köprüler üzerindeki trafik akışının hangi rüzgâr hızlarına göre düzenlenmesi gerektiği ve dünyadaki örneklerle kıyaslanmasıdır.

*Anahtar kelimeler: Rüzgâr, Asma Köprü, Trafik, Hız, Limit*

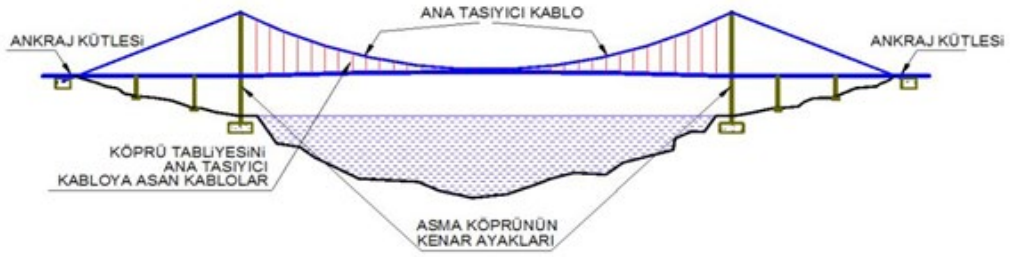
## 1. Giriş

Asma köprülerin ilk kullanılışı tarih öncesi devirlere kadar uzanır. İlk çağ insanı asma ağacı ve bambu gibi bazı bitkilerin bükülebilir elemanlarından yaptığı kablolarla nehir, dere, vadi gibi benzeri engellerden geçebilmeyi başarmıştır.

İlk asma köprü zincir ve ip halatlar kullanılarak Çinliler tarafından inşaa edilmiştir. Çin'de Min nehri köprüsü ile Peru'da San Luis Rey köprüsü eski çağlara ait ilginç asma köprü örnekleridir. Günümüzde kullanılan asma köprülerin sadece 100 yıllık bir geçmişleri vardır.

Asma köprülerin gelişimindeki en büyük etken, kuşkusuz çelik kablolardır. El ile yapılan telleri 14.yüzyılda Avrupa'da makinede çekilen teller izlemiştir. Bugünlükere benzeyen ilk çelik kablo ise 1834 yılında Albert isimli bir Alman tarafından geliştirilmiştir. Çelik kabloların geliştirilmesi ve taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılmaya başlamasıyla, asma köprülerde büyük gelişmeler olmuştur.

Asma köprülerin çalışma prensibi Şekil 1'de basitçe açıklanmaya çalışılmıştır. Asma köprülerde iki taşıyıcı kenar ayak, iki ana taşıyıcı kablo ve ana taşıyıcı kabloların bağlandığı ankraj kütleleri bulunmaktadır. Araçların geçtiği tabliye dediğimiz yol, askı çubukları adı verilen ve genelde düşey konumda olan kablolar yardımıyla iki ana taşıyıcı kabloya asılmıştır. [1] Asma köprülerin çalışma prensibi tabliyeden gelen yüklerin askı halatlar yardımıyla ana taşıyıcı kabloya aktarılması esasına dayanmaktadır.



Şekil 1. Asma Köprülerin Çalışma Prensibi

Asma köprü inşaat mühendisliği yapılarının en yaygın kullanılan tiplerinden biridir. Daha önceki çalışmalardan asma köprünün dışsal aerodinamik kuvvetler etkisi altında belirli salınımlar gösterdiği bilinir. Güçlü bir rüzgâr etkisi altında, özellikle dar ve çok esnek asma köprüler tehlikeli salınımlara maruz kalabilirler. Washington eyaletindeki Tacoma Narrows Köprüsü, 7 Kasım 1940 tarihinde saatte 42 mil (yaklaşık 68 km/saat) hızla esen rüzgârın neden olduğu türbülans yüzünden köprünün çöküşü, bu duruma verilebilecek çok çarpıcı örneklerden birisidir. Ülkemizde ise rüzgârın asma köprü üzerindeki etkisine örnek olarak, 22 Ocak 2003'teki kar fırtınasında Boğaziçi köprüsünün askı halatının kopması gösterilebilir. Şiddetli esen rüzgâr (122 km/h hızla) askı halatının sürekli titreşimine sebep olmuş, dolayısı ile çelik askı halatının bağlantı noktası olan plakanın kopmasına sebep olmuştur.

Asma köprülerin matematiksel modellemesi ile ilgili ilk çalışmalar 1950 yılında F. Bleich, C. B. McCullough, R. Rosecrans and G. S. Vincent tarafından gerçekleştirildi. O tarihten beri asma köprülerin dinamiği ile ilgili yoğun çalışmalar E. G. Willes(1960), B. Pittel ve V. Jakobovic(1969), R. H. Scanlan(1978), A. M. Abdel-Ghaffer(1982) tarafından yapıldı. Asma köprüler üzerine yapılan çalışmalar 1987 yılında Lazer ve McKenna tarafından geliştirilen yeni modeller ile hız kazanmıştır. Yeni modeller lineer olmayan kısmi diferensiyel denklem sistemi ile ifade edilmişlerdir. Bu çalışmalar arasında en göze çarpanı asma köprülerin büyük genlikli periyodik salınım ve lineer olmayan salınım modelidir.

Rüzgâr yükü köprülerin yapısal tasarımında her zaman çok önemli olmuştur. Fakat rüzgâr yükünün güvenilirlik ve doğruluk tanımı için rüzgârın özelliklerini ifade etmede belirsizlikler bulunmaktadır. Yapılan rüzgâr analizi çalışmalarında, rüzgârın yatay olarak her yönde esebileceği ve yüksekliğe bağlı olarak da değişim gösterebileceği ifade edilmektedir. Ölçülen bu büyüklüklerin değerlendirilmesi, analizi ve ileriye yönelik tahminlerinin ya dabelli zaman aralıkları içerisindeki büyüklüklerinin belirlenmesi için deterministik ve stokastik yaklaşımlardan faydalanılmaktadır. Deterministik yaklaşımda olaylar matematiksel ifadeler yardımı ile kesin olarak belirlenmektedir. Sıcaklık ve rüzgâr gibi doğa olaylarında ise pek çok değişken etkili olduğundan, bu

büyüküklerin kesin olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde stokastik etkenler yardımıyla mühendislik yapılarına etkiyen büyüküklerin modellenmesi mümkün olacaktır. Asma köprü tasarımlarında rüzgâr en kritik yük olarak ele alınır. Dolayısı ile güvenilir bir hesap için inşası yapılacak asma köprüde rüzgar tüneli testi yapılması şarttır. Ülkemizdeki Fatih Sultan Mehmet (FSM) ve Boğaziçi köprüleri için yapım aşamasından önce gerçek boyutlarından belli bir ölçekte indirgenerek rüzgar tüneli testleri yapılmıştır.

Rüzgarın yatay olarak her yönde esebileceği ve yüksekliğe bağlı olarak da değişim gösterebileceği gerçeğinden yola çıkarak rüzgarlı bir havada asma kablolu köprüye etki eden dış kuvvetler sabit hızlı olmayıp rasgele olmaktadır. [2]

Avrupa ve Asya kıtalarını birleştiren 15 Temmuz Şehitler (Boğaziçi) ve Fatih Sultan Mehmet köprüleri dünyanın büyük açıklıklı köprüleri arasında yer almaktadırlar. Fatih Sultan Mehmet köprüsü 1090 m, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü 1074 m açıklıklıdır. Boğaziçi Köprüsü'nün ayaklarının boyu 165 m, denizden yüksekliği ise 64 m dir. FSM köprüsünün ayaklarının boyu 107.10 m, denizden yüksekliği ise 64 m dir. Dünyanın en uzun açıklıklığına sahip köprüler sıralamasında ülkemizden dört asma köprü yer almaktadır.



Şekil 2. Boğaziçi Köprüsü



Şekil 3. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü

Tablo 1’de dünyanın en uzun açıklığına sahip asma köprüleri, ismi, açıklığı, bulunduğu şehir ve ülke ile hizmete açılma yılları itibariyle özetlenmiştir. [7]

No.	Köprü Adı	Açıklık (m)	Şehir	Ülke	Yıl
1	1915 Çanakkale Köprüsü	2023	Çanakkale	Türkiye	2022
2	Akashi Kaikyo Köprüsü	1991	Kobe	Japonya	1998
3	Yangsigang Yangtze River	1700	Wuhan	Çin	2019
4	Nansha Köprüsü	1688	Guangzhou-Dongguan	Çin	2019
5	Xihoumen Köprüsü	1650	Zhoushan	Çin	2009
6	Great Belt Köprüsü	1624	Nyborg-Korsør	Danimarka	1998
7	Osmangazi Köprüsü	1550	Yalova-Kocaeli	Türkiye	2016
8	Runyang South	1490	Zhenjiang	Çin	2005
9	Humber	1410	Kingston-upon-Hull	İngiltere	1981
10	Jiangyin	1385	Jiangsu	Çin	1999
11	Tsing Ma	1377	Hong Kong	Çin	1997
12	Verrazano-Narrows	1298	New York, NY	ABD	1964
13	Golden Gate	1280	San Francisco, CA	USA	1937
14	Höga Kusten	1210	Kramfors	İsveç	1997
15	Mackinac	1158	Mackinaw City, MI	ABD	1957
16	Minami Bisan-seto	1100	Kojima-Sakaide	Japonya	1988
17	Fatih Sultan Mehmet	1090	Istanbul	Türkiye	1988
18	Boğaziçi	1074	Istanbul	Türkiye	1973
19	George Washington	1067	New York, NY	ABD	1931
20	Kurushima-3	1030	Onomichi-Imabari	Japonya	1999

## 2. Asma Köprülerde Rüzgâr Limitleri

Asma köprüler gibi yüksek yerlerde ve boğaz gibi bir topoğrafyada kanalize olmuş rüzgârlar yer seviyesinden çok daha kuvvetli esebilmekte ve araçlar üzerinde olumsuz bir şekilde etkili olabilmektedir. Bunun için birçok gelişmiş ülkelerde asma köprülerde trafik akış hızı rüzgâr şiddetine göre düzenlenir. Örneğin, Boğaziçi Köprüsü ile benzer yapısal özellikleri olan İngiltere’deki Severn Köprüsünün işletilmesinde ve diğer bazı asma köprülerin işletilmesinde aşağıda verilen kriterlere dikkat edilmektedir:

İngiltere’deki Severn Köprüsünün işletilmesinde şu kriterlere dikkat edilmektedir: [3]

### Rüzgar hızı:

### Alınan Önlem:

15 m/s (53 km/s)	Rüzgarın estiği yöne göre, köprüde hız kısıtlamasına gidilir
17.5 m/s (63 km/s)	Trafik akışı her yönde tek şerit olarak düzenlenir
20 m/s (72 km/s)	Köprü yüksek araç trafiğine kapatılır
25 m/s (99 km/s)	Köprüdeki rüzgar hızı 27.5 m/s’yi aşma ihtimali varsa köprü trafiğe kapatılır.
35 m/s (126 km üzeri)	Rüzgârın veya rüzgâr hamlesinin bu değeri gözleendiği an köprü anında ve tümüyle trafiğe kapatılır.

Uyarı Levhası:

- 1- Rüzgâr hızı 50 km/saati aşınca “Kuvvetli Rüzgâr” uyarısı yanar. Viyadük ve köprülere gelmeden bu uyarılar uyarı levhasına girilir.
- 2- Hız limiti: Rüzgâr hızı 64 km/saati geçince yüksek kasalı araçlara 35 km /saat hız limiti getirilir. Uyarı levhalarında uyarılar aktif hale getirilir.

İskoçya’daki Forth Road Köprüsünün işletilmesinde şu kriterlere dikkat edilmektedir: [4]

### Rüzgar hızı:

### Alınan Önlem:

16 m/s (56 km/sa)	Köprü üzerinde 64 km/sa hız limiti uygulanır.
20 m/s (72 km/sa)	Köprü iki katlı otobüs trafiğine kapatılır.
23 m/s (80 km/sa)	Köprü Tır, Damperli kamyon, kamyonet, karavan, motosiklet ile polislin tehlikeli gördüğü araçlar için trafiğe kapatılır.
30 m/s (104 km/sa)	Köprü küçük araçlar hariç tüm araç trafiğine kapatılır. Köprü üzerinde 48 km/sa hız limiti uygulanır.
35 m/s (128 km üzeri)	Rüzgârın veya rüzgâr hamlesinin bu değeri gözleendiği an köprü anında ve tümüyle trafiğe kapatılır.

Uyarı Levhası:

- 1- Köprüye yasaklı araç gelirse polis aracı geri çevirecek.
- 2- Yasaklı araçlara alternatif güzergahı kullanmaları önerilecek yada tehlike geçinceye kadar bekletilecek.
- 3- Uyarı levhaları aktif hale getirilecek.

İskoçya'daki Tay Road Köprüsünün işletilmesinde şu kriterlere dikkat edilmektedir: [5]

**Rüzgar hızı:**

20 m/s (72 km/sa)

27 m/s (99 km/sa)

35 m/s (128km/sa)

**Alınan Önlem:**

Köprü çift katlı otobüs trafiğine kapatılır.

Köprü küçük araç ve tek katlı otobüs dışında araç trafiğine kapatılır. Ayrıca yaya yolu da yaya trafiği ve bisiklet trafiğine kapatılır.

Köprü her türlü araç trafiğine kapatılır.

Uyarı Levhası:

1- Köprüye yasaklı araç gelirse polis aracı geri çevirecek.

2- Yasaklı araçlara alternatif güzergahı kullanmaları önerilecek yada tehlike geçinceye kadar bekletilecek.

3- Uyarı levhaları aktif hale getirilecek.

Amerika'daki Golden Gate Köprüsünün işletilmesinde şu kriterlere dikkat edilmektedir: [6]

**Rüzgar hızı:**

15 m/s (53 km/s)

17.5 m/s (63 km/s)

20 m/s (72 km/s)

25 m/s (99 km/s)

35 m/s (126 km üzeri)

**Alınan Önlem:**

Rüzgarın estiği yöne göre, köprüde hız kısıtlamasına gidilir

Trafik akışı her yönde tek şerit olarak düzenlenir

Köprü yüksek araç trafiğine kapatılır

Köprüdeki rüzgar hızı 27.5 m/s'yi aşma ihtimali varsa köprü trafiğe kapatılır.

Rüzgârın veya rüzgâr hamlesinin bu değeri gözleendiği an köprü anında ve tümüyle trafiğe kapatılır.

- Yapılışından günümüze sadece 3 kez kapandı.
- 1951 yılında anlık rüzgâr hızı saatte 111 km'ye ulaşınca 3 saatliğine kapatıldı.
- Mühendisler köprünün zarar gördüğünü tespit ettiler Bunun üzerine 1954 yılında köprü %35 oranında güçlendirildi.
- 1982 yılında anlık rüzgâr hızı saatte 118 km'ye ulaşınca 2 saatliğine kapatıldı.
- 1983 yılında anlık rüzgâr hızı saatte 121 km'ye ulaşınca 3 saat 27 dakika kapatıldı.

İstanbul ve Marmara Bölgesinde görülen rüzgâr istatistikleri ve köprü yapısal özellikleri dikkate alındığında, Boğaz üzerinde aynı koridorda ve yaklaşık 10 km. aralıkla yer alan her iki asma köprü için aşağıdaki değerler tavsiye edilmektedir.

Boğaziçi ve F.S.Mehmet Köprüleri için tavsiye edilen kriterler:

#### Rüzgâr hızı:

15 m/s (53 km/s)

17.5 m/s (63 km/s)

20 m/s (72 km/s)

25 m/s (99 km/s)

35 m/s (126 km üzeri)

#### Alınan Önlem:

Rüzgârın estiği yöne göre, köprüde hız kısıtlamasına gidilir

Yüksek kasalı araçlara hız limiti getirilir.

Köprü yüksek araç trafiğine kapatılır (Tır, Çift katlı otobüs, kamyon)

Köprüdeki rüzgâr hızı 27.5 m/s'yi aşma ihtimali varsa köprü arabalar hariç trafiğe kapatılır. Arabalara 35 km/saat hız sınırı getirilir, köprüde her iki yönlü şerit kısıtlaması uygulanır.

Rüzgârın veya rüzgâr hamlesinin bu değeri gözlemlendiği an köprü anında ve tümüyle trafiğe kapatılır.

#### Uyarı Levhası:

1- Rüzgâr hızı 53 km/saati aşınca "Kuvvetli Rüzgâr" uyarısı yanar. Viyadük ve köprülere gelmeden bu uyarılar uyarı levhasına girilir. Hız limiti: Rüzgâr hızı 63 km/saati geçince yüksek kasalı araçlara 35 km /saat hız limiti getirilir. Uyarı levhalarında uyarılar aktif hale getirilir.

2- Rüzgâr hızı 72 km/saati aşınca "Fırtına" uyarısı yanar. Köprülere gelmeden yüksek kasalı araçların bekleme noktasına park etmeleri sağlanır. Köprüden geçen diğer araçlar için 50 km/saat hız limiti getirilir.

3- Rüzgâr hızı 99 km/saati aştığı anda arabalar hariç tüm araçların köprüye girişi yasaklanır ve uyarı levhaları devreye girer. Köprüden geçen arabalara 35 km /saat hız limiti getirilir.

4- Rüzgâr hızı 126 km/saati aştığı anda köprü tamamen trafiğe kapatılır. Köprü bakım mühendisleri köprüyü hızlıca ön incelemeden geçirir, bu arada rüzgârın hızının 72 km/saatin altına düşmesinin ardından köprü yeniden araç trafiğine açılır.

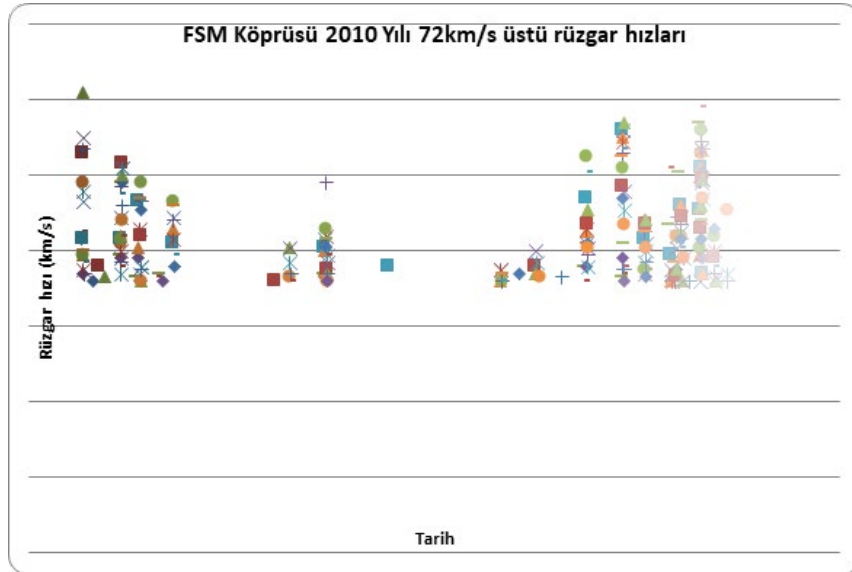
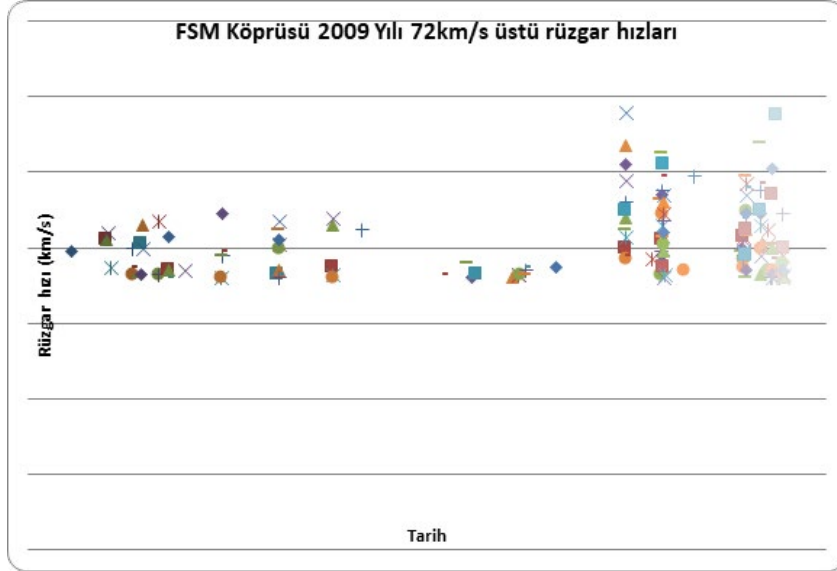
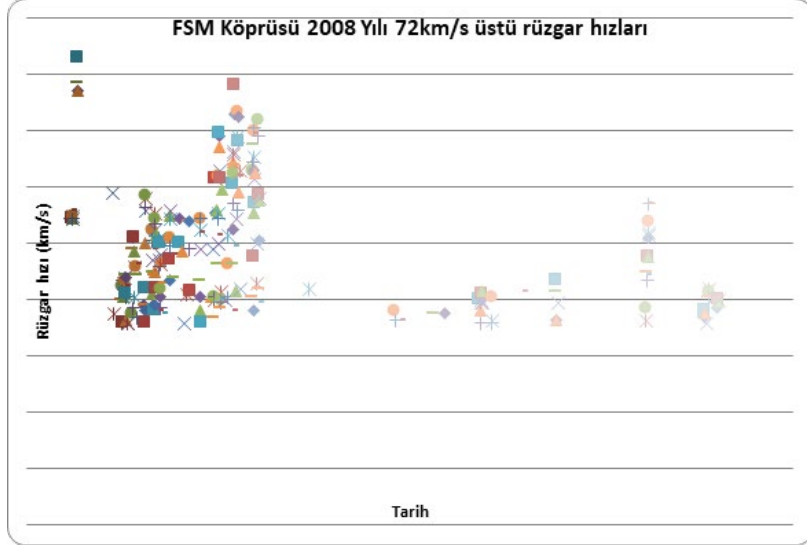
• 23 Ocak 2004 günü Boğaziçi köprüsünün 272 halatından birinin plakası çatladı, köprüde yaklaşık 1 saat süreyle trafik akışı sağlanmadı.

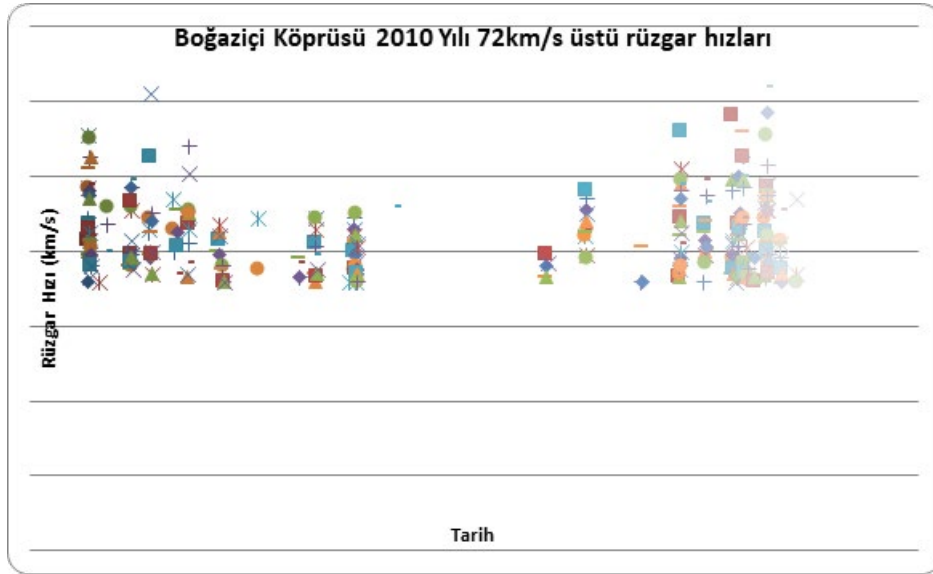
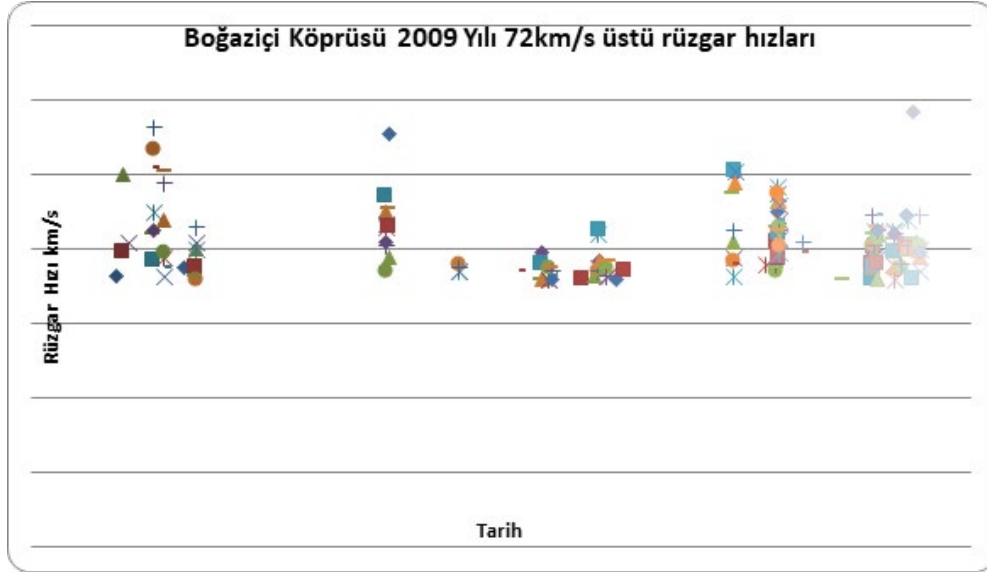
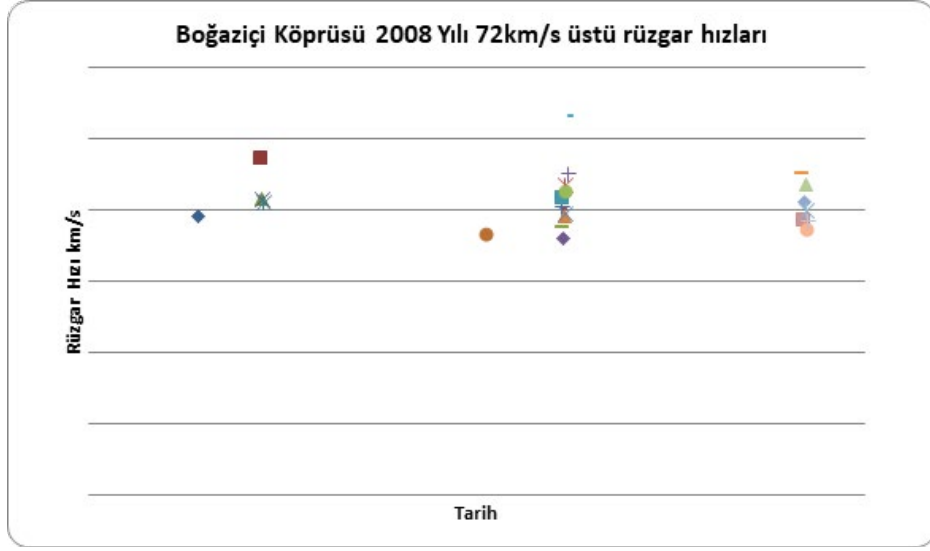
• 28 Ekim 2010 günü akşam saatlerinde tır dorsesi 100 km hızla esen rüzgârın etkisiyle uçarak FSM Köprüsünün korkuluklarına uçtu. Trafik yaklaşık 2 saat süreyle aksadı.

### 3. Analiz

Şekil 4'de görüldüğü gibi rüzgâr hız kriterleri anlık ölçülen hız değerlerine göre uygulanmaktadır. Son 3 yılın rüzgâr hızlarına bakıldığında FSM' de 126 km/saatin üzerinde esen rüzgâr sayısı: 28, Boğaziçi köprüsünde ise 0'dır. FSM' de 100 km/ saatin üzerinde (100 ile 125 km/saat arası) esen rüzgâr sayısı 152, Boğaziçi köprüsünde ise 34 kez'dir.

Gerek FSM, gerekse Boğaziçi köprülerinde rüzgâr hızları anlık olarak ölçülmektedir. Ancak mevcut yazılımları gereği 24 saat sonrasında bir önceki günün verileri saatlik maksimum değerler şeklinde kaydedilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada elde etmeyi planladığımız kritik rüzgâr seviyesine ulaşıldığında köprü geçiş kriterleri devreye girdiğinde köprü geçiş yasağı ya da sınırlaması ne kadar süreyle uygulanmalıdır? Sorusunun cevabı net olarak alınamamıştır. Bu nedenle eldeki saatlik verilere bakılarak uygulamanın en az 1 saat süreyle olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak bundan sonraki veriler yazılımda yapılacak değişimle ileriki çalışmalarda köprüünün ne kadar süreyle kapatılacağı sorusunun cevabı net olarak ortaya çıkacaktır.





Şekil 4. FSM ve Boğaziçi Köprüsü'nün 2007-2010 yıllarına ait rüzgâr hızı analizleri.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Rüzgâr; göremediğimiz, ancak varlığını her an bize hissettiren meteorolojik bir olaydır. Normal bir yolda rüzgârın hızı bir arabayı hareket ettirmek için genelde yetersiz kalırken köprü ve viyadüklerde artan rüzgâr hızı sürücü tarafından hissedilebilir. Rüzgâr akışının en şiddetli olduğu köprünün tepesinde karmaşık girdaplar, arabanın yan yüzeylerine köprü parmaklıkları ve destekleri gibi engelleri aşarak gelir ve çarpar. Şiddetli rüzgârlarda bu girdaplar dönen hava türbülansa dönüşerek arabanın bir yandan bir yana hareket etmesini sağlayacak şekilde ona çarpabilir. Eğer köprü üzerinde bir duvar varsa, rüzgârın duvarın etrafından dolaşıp arabaya rüzgârı geldiği yönün tersinden de çarpabilir. Bu nedenle, rüzgâr hızına göre asma köprülerdeki trafik akışı kontrol edilip yönetilir [4-8].

İstanbul 16 milyon nüfuslu, günde 12 milyon yolculuğun yapıldığı Avrupa kıtasını Asya'ya FSM ve Boğaziçi köprüleriyle bağlayan dev bir metropoldür. Küçük hasarlı tek bir şeritte yaşanan kazalar ile yağışlı havalarda bile trafiğin yoğunlaştığı şehirde fırtınalı saatlerde köprüde uygulanacak rüzgâr hız kriterleri tepkilere neden olabilir. Ancak Ocak 2004' de kar fırtınası nedeniyle 3 yüksek kasalı aracın değişik yerlerde devrilmesiyle oluşan trafikte on binlerce insan 12 saat süreyle yollarda mahsur kalmışlardır. Köprüde rüzgâr nedeniyle devrilecek yüksek kasalı bir aracın İstanbul trafiğini ve ulaşımını olumsuz yönde etkileyeceği açıkça görülmektedir. Ayrıca rüzgâr nedeniyle köprüde oluşabilecek yapısal hasarların takip edilebilmesi içinde rüzgâr hız kriterlerinin uygulanması önem arz etmektedir.

Bu nedenle, bu çalışmada FSM ve Boğaziçi Köprüsü'nün 2007-2010 yıllarına ait rüzgâr hızı analiz edilerek rüzgârın asma köprüler üzerindeki olası etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlere göre her iki asma köprüde de tehlikeli rüzgâr hızı sınırının defalarca aşılmış olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Dünyadaki diğer asma köprüler gibi bu köprülerimizdeki rüzgâr izlenip belli sınır değerlerde önlemler alınmalıdır.

Bunun için de;

- 1- FSM ve Boğaziçi köprülerinin her birinde en az 2 farklı anemometre ile rüzgâr hız ve yönü ölçülmektedir. Rüzgâr hız kriterleri uygulanırken bunların ortalamasının alınması daha isabetli olur.
- 2- Köprü ve viyadüklerde rüzgâr hız ve yönleri hakkında bilgi veren rüzgâr çorapları yer almaktadır. Rüzgâr hızı 50 km/saatin üzerine çıktığında çoraplar yola paralel hali almaktadır. Bu durumda köprü ve viyadükten geçen sürücülerin hızlarını azaltması ve kontrollü bir şekilde geçmesi gerekmektedir. Ancak sürücülerin çoğu rüzgâr çoraplarının ne olduğunu dahi bilmemektedir. Bu nedenle konun mevcut ehliyet kurslarına konulması önem arz etmektedir.

#### Kaynaklar:

- [1] J. Glover, A. C. Lazer, and P. J. McKenna, Existence and stability of large-scale nonlinear oscillations in suspension bridges, Z. Angew. Math. Phys. 40 (1989) 171-200.
- [2] Asma Sistemler, Prof.Dr. Hasan Karataş, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayınları, 1979.
- [3] Musk, L.F., 1991: 'Climate as a factor in the planning and design of new roads and motorways,' in Highway Meteorology, ed. A.H. Perry and L.J. Symons, London: E&FN Spon, pp. 1-25.
- Trafikte Hava Şartları ile Mücadele'de Meteoroloji Bilimi ve Teknolojisinin nasıl kullanılacağına dair Türkçe Kaynak: Öztürk, N. ve M. Kadioğlu, 1996: Kötü Hava Şartlarının İstanbul Trafikini Etkileme Potansiyeli, I. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İTÜ-İETT Genel Müd., İstanbul 6-7 Mayıs 1996, s. 257-264. Kadioğlu, M. ve N. Öztürk, 1996: Trafikte Kötü Hava Şartları ile Mücadele Yöntemleri, I. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İTÜ-İETT Genel Müd., 6-7 Mayıs 1996, İstanbul, s. 487-494.
- [4] <http://www.forthroadbridge.org>
- [5] <http://www.tayroadbridge.co.uk/>
- [6] <http://www.goldengatebridge.org/>
- [7] Asma Köprüler, Prof. Dr. Hasan Karataş ve ark., T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.

# OBRUKLAR, KONYA OVASINDA HİDROLOJİK İFLASIN GÖSTERGESİ Mİ?

## GİRİŞ



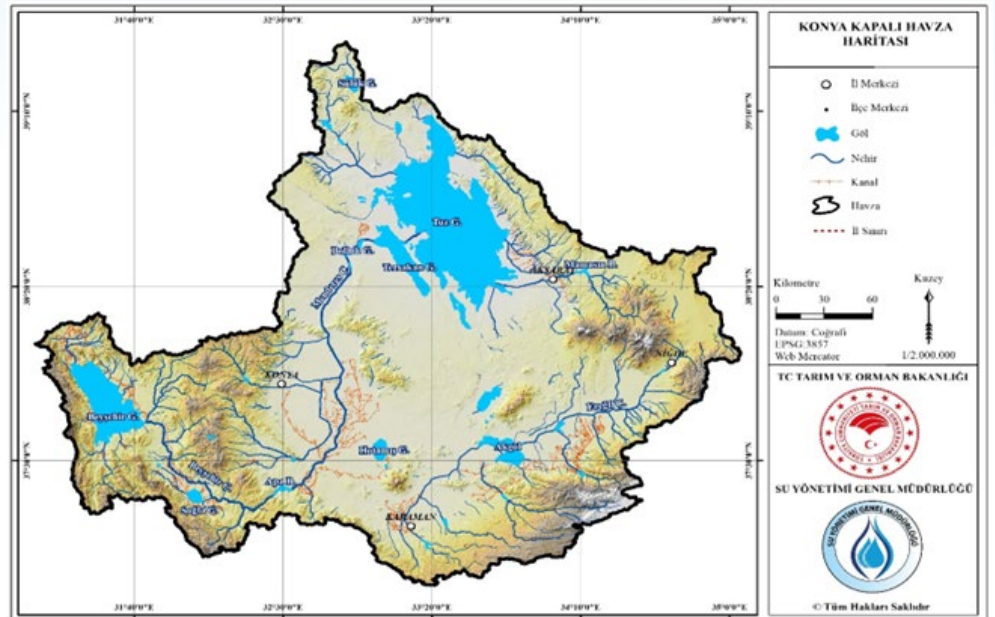
NAMİK CEYHAN

Meteoroloji Mühendisi

Konya Kapalı Havzası Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi'nde 36°51' ve 39°29' kuzey enlemleri ile 31°36' ve 34°52' doğu boylamları arasında yer alır. Yüzölçümü 49.805,34 km<sup>2</sup> olup Türkiye'nin yaklaşık %7'sini teşkil eder. Havzayı kuzeyde Sakarya ve Kızılırmak, doğuda Kızılırmak ve Seyhan, güneyde Doğu Akdeniz, batıda Antalya ve Akarçay Havzaları çevrelemektedir.<sup>1</sup>

Konya Ovası, Türkiye'nin toplam tarım alanının %11.2'sini oluşturan ve tarımsal üretimin %10'unu karşılayan en önemli tarım merkezidir. Konya Kapalı Havzasında su ile ilgili yaşanan önemli sorunlar şu şekilde sıralanmaktadır.

- 1- Yeraltı sularının aşırı kullanımı sonucu obruk oluşumu;
- 2- Yerüstü sularına endüstriyel deşarjlar ve arıtılmamış kentsel deşarjlar;
- 3- Hidromorfolojik deęişiklikler;
- 4- Kuraklık riski



Konya Kapalı Havzası, ortalama yağış miktarı açısından Türkiye'nin en fakir bölgesi olup yıllık ortalama yağış miktarı 338 mm (kg/m<sup>2</sup>) civarındadır. Son 50 yıllık ortalama yağış haritasına göre Konya - Karapınar bölgesi yağış miktarı 250 mm (kg/m<sup>2</sup>) olup, ülkemizin en az yağış alan bölgesidir.

Konya Kapalı Havzası, Türkiye kullanılabilir su varlığının %4'üne sahip iken, tarım alanlarının %12'sine, sulanan tarım alanlarının ise %17'sine sahiptir. Hektar başına düşen su miktarı Türkiye ortalamasının üçte birinden, yıllık yağış miktarı da Türkiye ortalamasının yarısından daha azdır. Mevcut sulanan alanlarında kullanılan suyun yaklaşık % 60'ı yeraltı suyundan karşılanmaktadır. Bu yoğun kullanım sebebi ile havzadaki yeraltı su seviyesi her yıl ortalama olarak 2-3 metre civarında düşmektedir.<sup>2</sup>

Havzadaki gelişmeler, Konya Teknik Üniversitesi Obruk Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından takip edilmektedir. Uzmanlar, yeraltı sularındaki düşüşlerin devam etmesi halinde, belirli bir derinlikten sonra su çekiminin ekonomik olmaktan çıkacağını, bu durumun mevcut sulanan alanların büyük bir kısmının ileride sulanamama riskini doğuracağına işaret etmektedir.

**Konya Kapalı Havzasındaki toplam kullanılabilir su kaynağı; 4,3 milyar m<sup>3</sup>/yıl, su tüketimi ise 6,5 milyar m<sup>3</sup>/yıl civarındadır. Suyun yaklaşık %80'i tarımsal sulama için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, havzanın yıllık 2 milyar m<sup>3</sup> cari açık verdiği görülmektedir.**

Arazilerde sulama yapılan kayıtlı kuyu sayısı 40 bin civarındayken, bu rakamların 3 katı kadar ise kayıt dışı sulama kuyusu bulunuyor. Kayıt dışı kullanılan kuyuların takibi yapılamaması ve sulama suyunun sürdürülebilir yönetilememesi yüzünden yer altı su kaynaklarında 50 metreye kadar çekilme meydana geldi. Ovanın Kuzey bölgesinde ise 400 metreye kadar açılan kuyulardan su çıkmadığı kayıtlara geçti.

## BM KÜRESEL SU İFLASI RAPORU

Birleşmiş Milletler (BM) Su, Çevre ve Sağlık Enstitüsü'nün (UNU-INWEH) Küresel Su İflası: **Kriz Sonrası Dönemde Hidrolojik Olanaklarımızın Ötesinde Yaşamak** " başlıklı çalışma raporu 20 Ocak 2026'da yayımlandı.<sup>3</sup>

Raporda, insanlığın suyu yenilenme hızının çok üzerinde tükettiği, bu nedenle artık geçici bir su krizinden değil, kalıcı bir küresel su iflasından söz edilmesi gerektiği vurgulanıyor. Rapor su krizinin artık geri döndürülemez bir eşiği aştığını da ortaya koyuyor.

Kronik yeraltı suyu tükenmesi, aşırı su kullanımı, arazi ve toprak bozulması, ormansızlaşma ve kirliliğin yanı sıra küresel ısınmanın da etkisiyle, "su kıtlığı" ve "su krizi" gibi bilindik terimlerin, birçok yerde günümüz gerçekliğini yansıtmadığını savunuyor; geri dönüşü olmayan doğal su kaynakları kayıpları ve tarihi temel seviyelere geri dönme yetersizliği ile karakterize edilen bir kriz sonrası duruma işaret ediyor.

**Bilim insanları, yaşanan tablonun geçici bir kuraklık ya da döngüsel bir iklim olayı olmadığını; yer altı ve yüzey sularının yapısal olarak çöküşe sürüklendiği yeni bir döneme girildiğini vurguluyor BM'nin yayınladığı bu raporla, küresel su iflası çağının başlangıcını ilan ederek, dünya liderlerini "yeni bir gerçekliğe dürüst, bilime dayalı uyum sağlamaya" davet ediyor.**

## "SU İFLASI" BENZETMESİ

BM raporunda su iflası kavramı, ekonomik bir metaforla açıklanıyor. Yağmur ve kar yoluyla doğa suyu bir gelir gibi sunarken, insanlık bu gelirin çok üzerinde harcama yapıyor. Yer üstü ve yer altı su kaynakları, kendini yenileme hızından daha hızlı tüketiliyor. İklim değişikliği, artan sıcaklıklar ve uzun süreli kuraklıklarla bu açığı daha da derinleştiriyor.<sup>4</sup>

**Su iflası, su stresi ve su krizin ötesine geçmiş bir durumu ifade ediyor. Bu durum, insan-su sisteminin kalıcı bir kriz sonrası ortaya çıkan aşırı kullanım ve bozulmanın doğal depolamayı ve doğal çözümleri çok zayıflatan bir kriz sonrası başarısızlık durumu ki, burada basit restorasyon artık mümkün değildir.**

Aşırı kullanım, suya ve suyla ilgili doğal sermayeye büyük zarar vermektedir. Yeraltı su kaynakları, nehirler, göller, sulak alanlar, topraklar, buzullar ve tatlı su biyoçeşitliliği, tarihsel ekosistem işlevlerinin bir kısmını kaybederek ve su üretim döngüsünü bozarak su kaynaklarını daha sınırlı hale getirecek noktaya kadar bozulmuştur.

Eski “normal” artık geri kazanılamaz. Hasarın boyutu öylesine büyük ki, sistem gerçekçi bir şekilde anlamlı politika veya planlama ile restore edilemez; yani, eski hidrolojik ve ekolojik koşullara tam olarak geri dönüş artık büyük yatırımlar ve elverişli iklim koşullarıyla bile güvenilir bir hedef değil.

Raporda, küresel su kullanımının yaklaşık yüzde 70’inin tarımsal sulamada gerçekleştiği, bu suyun ise yüzde 40’ının kendini yenileyemeyen derin yer altı havzalarından çekildiği belirtildi. **Bu hızla devam edilmesi halinde, yalnızca su güvenliğinin değil küresel gıda sistemlerinin de çökme riskiyle karşı karşıya olduğu ifade edilmektedir.**



Yer altı sularının aşırı çekilmesi, yalnızca susuzluğa değil, jeolojik yıkıma da yol açıyor. BM raporu, dünya kara yüzeyinin yaklaşık yüzde 5’inde, su çekilmesine bağlı toprak çökmesi yaşandığını ortaya koydu.

**BM, Türkiye’deki kontrolsüz sulama politikalarının, Konya Ovası’nı “hidrolojik iflasın eşiğine” sürüklediği; mevcut tarım modelinin bu koşullarda sürdürülemez olduğunu vurgulanmaktadır.** Yer altı sularının aşırı kullanımı, ormansızlaşma, arazi bozulumu ve kirliliğin birçok bölgede tatlı su kaynaklarında geri dönüşsüz kayıplara yol

açtığı; iklim krizinin bu süreci daha da hızlandığı, kuraklığın etkilerinin daha da arttığı ifade edilmektedir.<sup>5</sup>

**Raporda açıkça “Yer küre fiziksel olarak çöküyor” diye ifade ediliyor ve Konya ovasında yaşanan obruklar küresel su iflasının somut örnekleri olarak gösteriliyor.**

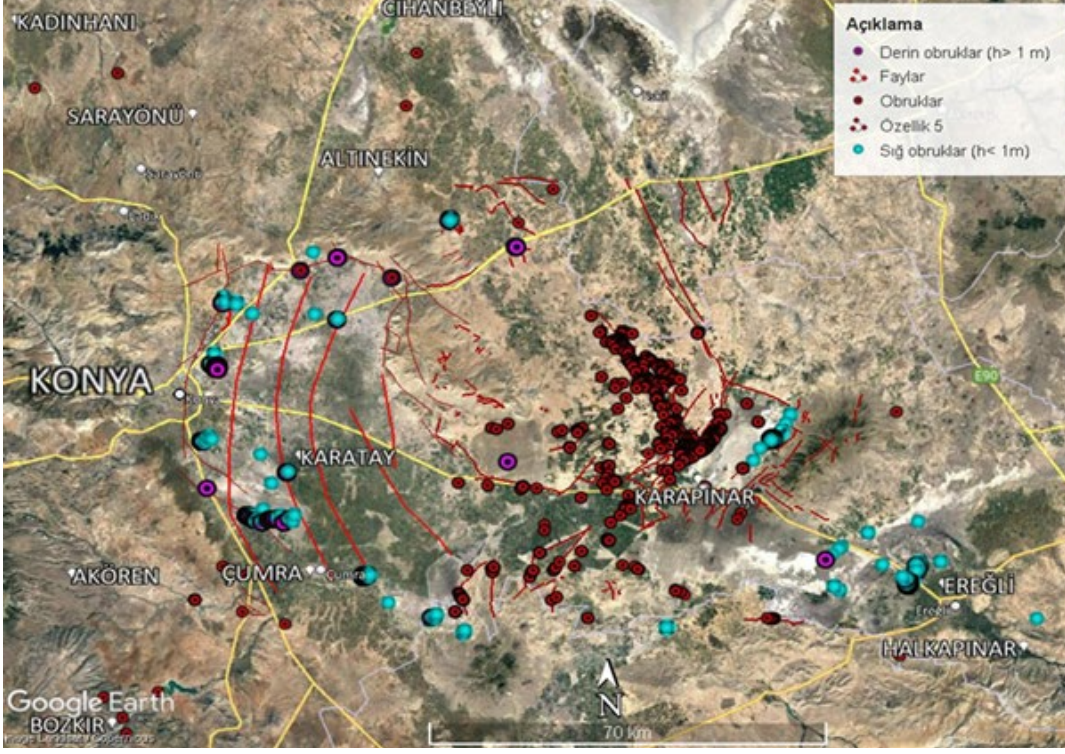
Türkiye’ye ilişkin bölümde, Konya Ovası özel bir başlık altında ele alınarak “ Kontrolsüz yeraltı suyu kullanımı (aşırı kullanım), iklim değişikliği ve kuraklık nedeniyle Konya Ovası’nda ortaya çıkan obrukların su iflasının görünür örneklerinden olduğuna dikkat çekiliyor. Rapora göre bölgede yer altı su seviyesi her yıl ortalama 1-2 metre düşüyor. Bu çekilme sonucunda oluşan obruk sayısı 700’ü aşmış durumda ve bazı obruklar 30 metreye kadar derinliğe ulaşıyor.

Gerçekten, Obruklar Konya Ovasındaki hidrolojik iflasın habercisi mi?

## **OBRUK VE OLUŞUM NEDENLERİ**

Türkçe kökenli bir kelime olan obruk yer altında zamanla çözünen kireç taşlarının boşluk oluşturması ve zeminin çökmesiyle meydana geliyor. Bir başka deyişle Obruklar yer altındaki kayaların litolojik özellikleri ve bu kayaların etkileşim halinde bulunduğu suyun niteliklerine bağlı olarak gelişen karstik boşluklardır.

Konya Kapalı Havzası'nda (KKH) karstlaşma süreçleri ile binlerce yıldır oluşumu devam eden çökme dolinleri ilk oluştuğu Obruk Platosu'ndaki Kızören çöküntüsüne atfen yöresel olarak "obruk" olarak adlanmış olup daha sonra havzada meydana gelen bu tür karstik çöküntülerin tamamı obruk olarak tanımlanmış ve bilimsel literatürde de obruk tanımı kabul görmüştür.



Konya Kapalı Havzasında obrukların dağılımı (Arık vd., 2021'den).

Ülkemizde son yıllarda artan obruk sayıları ve bu artışın ağırlıklı olarak Konya ilimizde görülmesi nedeniyle, İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Başkanlığı Konya İl Müdürlüğü tarafından yürütülen ve Konya Teknik Üniversitesi Obruk Uygulama ve Araştırma Merkezi uzmanları tarafından desteklenen "**Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi**" projesi 2020-2022 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu projede, sorunların çözümü için obruk oluşumlarının yerlerinin ve yayılım alanlarının tespit edilmesi ve uzaktan algılama yöntemleriyle ölçümler yapılarak topoğrafya üzerinde obruk oluşabilecek alanların tespitine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Ayrıca, bu çalışmalar sonucunda proje çıktısı olarak üretilen ve 2023 yılında yayımlanan "**Obruk Temel Kılavuz Kitapçığı**" ve "**Obruklar Teknik Kılavuz Kitabı**" bu alandaki en önemli kaynak eser hüviyetini taşımaktadır.<sup>6</sup>

Obruk oluşumları için onlarca faktör bulunmaktadır. Bunlardan jeolojik koşulların yanı sıra yüzey ve yeraltı sularının seviyesi, suların pH, EC, sıcaklık ve hidrokimyasal özellikleri gibi hidrojeolojik koşullar, iklim, yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi meteorolojik koşullar, yükselti, yüzey şekilleri bitki örtüsü gibi coğrafik ve jeomorfolojik koşulların önemli rolü vardır.<sup>7</sup>



a. Meyil Obruğu



b. Reşadiye Yaylası



c. Sırnık Yaylası



d. Kayalı Mahallesi

*Karapınar (Konya) çevresinde oluşan bazı obruklar*

## SONUÇ:

Konya Ovası'nda, belgeli ve kayıt dışı (kaçak) kuyular dâhil olmak üzere toplam yeraltı su kuyusu sayısının 90 bin ile 150 bin arasında olduğu tahmin edilmektedir. Kayıtlı kuyuların yaklaşık 3 katı kadar kayıt dışı kuyu olduğu ve havzada her yıl 2 milyar metreküp su açığı olduğu dikkate alındığında, obruk oluşumlarının artmasına ve yeraltı su seviyesini kritik düzeylere inmesine şaşdırmamak gerekir.

Yer altı sularının aşırı kullanımı, ormansızlaşma, arazi bozulumu ve kirliliğin birçok bölgede tatlı su kaynaklarında geri dönüşsüz kayıplara yol açtığı; Yüksek verim potansiyeline rağmen, iklim değişikliği ve aşırı su tüketimi ova için ciddi riskler oluşturduğu herkes tarafından kabullenmekte ve çözüm için çareler aranmaktadır.

Tam bu dönemde Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan Küresel İflas Raporunda Konya Ovasının örnek gösterilmesi tesadüf değildir. Gerçekten de Türkiye'deki kontrolsüz sulama politikaları, Konya Ovası'nı "hidrolojik iflasın eşğine" sürüklemektedir. Yaşanan su iflasına çözüm olmak üzere yirmi yıl önce başlatılan Konya Ovası Sulama Projesi (KOP) kapsamında Göksu ırmağından ovaya su taşımak üzere inşa edilen Mavi Tünel halen daha tam kapasite devreye girmediği halde yöre çiftçisinin başka dış havzalardan ovaya su getirilmesi talepleri de yakın zamanda uygulanabilir değildir.

**Bu nedenle acil durum odaklı politikalardan vazgeçilerek uzun vadeli sürdürülebilir su yönetimi stratejilerine geçilmelidir. Kısa vadede ise:**

- Sürdürülebilir Su Yönetimi için kurumlar arası yetki karmaşasına son verilmeli ve su konusu tek elde toplanmalı,
  - Kayıt dışı (kaçak) yeraltı kuyuları ruhsatlandırılıp kayıt altına alınması, kaçak kuyu açılmasına müsaade edilmemeli,
  - Tarımsal Kalkınma Programlarında iklim değişikliğine uyum ön plana alınmalı,
  - Alternatif su depolama sistemleri (yağmur suyu hasadı gibi) devreye girmeli,
  - Tarımda ürün deseninin değiştirilmesi ve verimli sulama yöntemlerine geçilmeli,
  - Yapay zekâ ve uzaktan algılama ile su takibinin güçlendirilmeli,
  - Kirliliğin azaltılması, yer altı suları ve sulak alanların korunmasını gibi çözümler ele alınmalıdır.
- Suyumuzu dikkatli kullanalım sonra hasret kalmayalım.

#### KAYNAKLAR

- 1- <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=135>
- 2- Arık, F., Delikan, A., Göçmez, G., Kansun, G., Döyen, A., Coşkun, B., Dülger, A., 2021, "Ereğli, Halkapınar, Emirgazi, Karatay, Çumra, Selçuklu ve Meram (Konya) Çevresinde Obruk Alanlarının Tespit Edilmesi" Projesi Kapsamında Jeolojik Çalışmalar Projesi (No: 2020K14-138637-1), T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Konya İl Afet Ve Acil Durum Müdürlüğü
- 3- [https://unu-edu.translate.google.com/inweh/news/world-enters-era-of-global-water-bankruptcy?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=tr&\\_x\\_tr\\_hl=tr&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://unu-edu.translate.google.com/inweh/news/world-enters-era-of-global-water-bankruptcy?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc)
- 4- <https://supolitikalaridernegi.org/bm-raporu-dunya-su-krizi-degil-su-iflasi-yasiyor/>
- 5- <https://www.birgun.net/haber/bm-raporu-uyariyor-dunya-kuresel-su-iflasi-surecine-girdi-turkiye-den-bir-il-de-listede-685939>
- 6- [https://www.afad.gov.tr/kitaplar/Obruk\\_Temel\\_Kilavuz](https://www.afad.gov.tr/kitaplar/Obruk_Temel_Kilavuz)
- 7- <https://www.ktun.edu.tr/tr/Birim/Index/?brm=LI4ZaR6VzKx3bmsGxi2H4w=>



**METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

**[www.meteorolojimuh.org.tr](http://www.meteorolojimuh.org.tr)**

# İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KADINLAR ÜZERİNDEKİ ÇOK BOYUTLU ETKİLER: KIRILGANLIKTAN GÜÇLENMEYE UZANAN BİR ANALİZ



AYFER SERAP SÖĞÜT

Meteoroloji Mühendisi  
Yayın Kurulu Üyesi



AYŞEGÜL AKINCI YÜKSEL

Meteoroloji Mühendisi  
Yayın Kurulu Üyesi

## ÖZET

İklim değişikliği yalnızca atmosferik ve çevresel bir sorun değil; toplumsal eşitsizlikleri yeniden üreten ve derinleştiren yapısal bir kriz alanıdır. Toplumsal cinsiyet eşitsizliği, bu krizin etkilerinin kimler üzerinde, nasıl ve ne ölçüde hissedileceğini belirleyen temel dinamiklerden biridir (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli [Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC], 2022). Kadınlar ve kız çocukları, iklim değişikliğinin sağlık, geçim, güvenlik, göç ve psikososyal boyutlarındaki etkilerini orantısız biçimde deneyimlemektedir. Bu çalışma, iklim değişikliği ile toplumsal cinsiyet arasındaki ilişkiyi çok boyutlu bir çerçevede ele almakta; kadınların kırılganlıklarının yapısal nedenlerini tartışırken aynı zamanda iklim uyumu, afet risk azaltımı ve erken uyarı süreçlerindeki dönüştürücü rollerini görünür kılmayı amaçlamaktadır.



Şekil 1. İklim krizi ve toplumsal cinsiyet eşitsizliği (IPCC 2022)

## 1. GİRİŞ: İKLİM KRİZİ VE TOPLUMSAL CİNSİYET

İklim değışikliği, insan faaliyetleri sonucunda hızlanan ve küresel ölçekte etkiler yaratan çok katmanlı bir krizdir. Ancak bu krizin etkileri toplumlar içinde eşit dağılmamaktadır. Toplumsal cinsiyet, sınıf, yaş ve coğrafya gibi yapısal eşitsizlikler, iklim risklerinin kimler tarafından daha ağır deneyimleneceğini belirlemektedir. Kadınlar, özellikle düşük gelirli ülkelerde ve kırılğan topluluklarda, iklimle ilişkili afetlere ve çevresel bozulmaya karşı daha savunmasız konumdadır (United Nations Entity for Gender Equality and the Empowerment of Women [UN Women], 2023).

Birleşmiş Milletler raporları, iklim kaynaklı afetlerden etkilenen ve bu afetlerde yaşamını yitiren bireyler arasında kadınların ve kız çocuklarının orantısız biçimde temsil edildiğini ortaya koymaktadır. Bu durum biyolojik farklılıklardan ziyade; kadınların sosyo ekonomik konumu, bakım emeğindeki rolleri, bilgi ve kaynaklara erişimde yaşanan eşitsizlikler ile karar alma süreçlerinden dışlanmalarıyla ilişkilidir (World Bank, 2021). Dolayısıyla iklim değışikliğinin kadınlar üzerindeki etkileri, çevresel olduğu kadar sosyal, ekonomik ve politik bir sorun alanı olarak ele alınmalıdır.

## 2. KADINLARIN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI KIRILGANLIĐININ YAPISAL NEDENLERİ

### 2.1. Toplumsal cinsiyete dayalı iş bölümü ve görünmeyen emek

Kadınlar dünya genelinde su temini, gıda üretimi, hane içi bakım ve küçük ölçekli tarım gibi iklimden doğrudan etkilenen alanlarda yoğun sorumluluk üstlenmektedir. Bu emek biçimleri çoğunlukla ücretsiz, görünmez ve sosyal güvence dışıdır (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). Kuraklık, aşırı sıcaklar ve ani yağışlar gibi iklim olayları bu sorumlulukları daha da ağırlaştırmakta; kadınların fiziksel ve zihinsel yükünü artırmaktadır.

Alan	Kadın Katılımı	İklim Riski
	Yüksek	Yüksek
Küçük Ölçekli Tarım	Yüksek	Yüksek
	Yüksek	Çok yüksek
Bakım Emeği	Çok yüksek	Dolayii Yüksek

Şekil 2. Toplumsal cinsiyete dayalı emek dağılımı (FAO 2022, ILO)

Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labour Organization - ILO) verileri, gelişmekte olan ülkelerde kadınların önemli bir bölümünün tarım ve doğal kaynaklara bağımlı sektörlerde istihdam edildiğini göstermektedir. Bu sektörler, iklim değışikliğine karşı en kırılğan alanlar arasında yer almaktadır. Buna karşın kadınlar, toprak mülkiyeti, krediye erişim ve tarımsal destek mekanizmalarından sınırlı ölçüde yararlanabilmektedir (FAO, 2022).

Su kaynaklarının azalması, kadınlar açısından yalnızca zaman kaybı değil aynı zamanda güvenlik riski anlamına gelmektedir. Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (United Nations Children's Fund – UNICEF) verilerine göre, dünya genelinde kadınlar ve kız çocukları her gün yüz milyonlarca saatlerini su temini için harcamaktadır. İklim değişikliği bu süreyi uzatmakta ve kadınları şiddet ve taciz riskine daha açık hale getirmektedir (CARE International, 2022).



Şekil 3. Su temini için yol kat etmek zorunda kalan kadınlar (temsili)

## 2.2. Eğitim, bilgi ve kaynaklara erişimde eşitsizlik

Kadınların iklim değişikliğine uyum kapasitesi, eğitim düzeyi ve bilgiye erişimle doğrudan ilişkilidir. Ancak pek çok ülkede kız çocukları, ekonomik krizler ve afetler sonrasında eğitimden erken kopmakta; bu durum uzun vadede kadınların iklim riskleri karşısında daha kırılgan hale gelmesine yol açmaktadır (United Nations Development Programme [UNDP], 2021).

Eğitim eksikliği, erken uyarı sistemlerini anlama, afetlere hazırlık ve alternatif geçim stratejileri geliştirme süreçlerinde kadınları dezavantajlı konuma getirmektedir. Bu durum, iklim değişikliğinin etkilerinin kuşaklar arası biçimde yeniden üretilmesine neden olmaktadır.

## 3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KADIN SAĞLIĞI

### 3.1. Fiziksel sağlık üzerindeki etkiler

Aşırı sıcak hava dalgaları, hava kirliliği ve bulaşıcı hastalıkların yayılımı kadın sağlığını doğrudan etkilemektedir. Hormonal yapı, metabolik farklılıklar ve hamilelik gibi biyolojik durumlar, kadınların sıcak stresine karşı hassasiyetini artırmaktadır. Araştırmalar, aşırı sıcakların erken doğum ve düşük doğum ağırlığı riskini yükselttiğini göstermektedir (World Health Organization [WHO], 2023).



**Şekil 4.** Tarlada aşırı sıcak havada çalışan kadınlar ile afet dönemlerinde sağlık hizmetlerine erişimi bekleyen kadınlar (temsili)

İklim değişikliğine bağlı su ve gıda güvensizliği, kadınlarda yetersiz beslenme, anemi ve bağışıklık sistemi sorunlarının artmasına yol açmaktadır. Özellikle afet dönemlerinde sağlık hizmetlerine erişimde yaşanan aksaklıklar, kadınların mevcut sağlık sorunlarını derinleştirmektedir (Basu & Samet, 2018).

### 3.2. Ruh sağlığı ve psikososyal etkiler

İklim kaynaklı afetler, kadınların ruh sağlığı üzerinde de belirgin etkiler yaratmaktadır. Afet sonrası bakım yükünün artması, ekonomik kayıplar ve güvenlik kaygıları; kadınlarda stres, anksiyete ve travma sonrası stres bozukluğu görülme sıklığını artırmaktadır. Yapılan çalışmalar, iklimle ilişkili afetler sonrasında kadınlarda ruhsal sağlık sorunlarının erkeklere kıyasla daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır (Bryant et al., 2023).



**Şekil 5.** Psikososyal etki modeli diyagramı (Bryant et al., 2023)

Ayrıca iklim kaygısı (eco anxiety), özellikle genç kadınlar arasında giderek yaygınlaşmaktadır. Bu durum, kadınların eğitim, istihdam ve toplumsal yaşama katılımını uzun vadede olumsuz etkileyebilmektedir (Clayton et al., 2017).

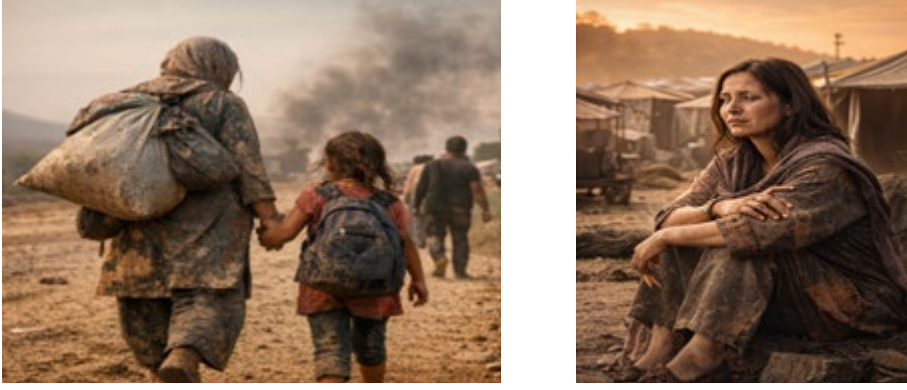
## 4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, GÖÇ VE CİNSİYET TEMELLİ ŞİDDET

İklim değişikliğine bağlı göç ve yerinden edilme süreçleri, toplumsal cinsiyet eşitsizliklerini derinleştiren önemli bir faktördür. Kuraklık, deniz seviyesinin yükselmesi ve tarımsal verim kaybı nedeniyle yerinden edilen kadınlar; göç süreçlerinde kayıt dışı çalışma, insan ticareti ve cinsel istismar gibi risklerle daha sık karşılaşmaktadır (United Nations High Commissioner for Refugees [UNHCR], 2021; International Organization for Migration [IOM], 2022).



Şekil 6. İklim göçü risk zinciri (UNHCR, 2021)

Afet sonrası geçici barınma alanlarında güvenliğin yetersiz olması, cinsiyet temelli şiddet vakalarının artmasına neden olmaktadır. Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu (United Nations Population Fund - UNFPA), iklim krizi ile toplumsal cinsiyete dayalı şiddet arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu vurgulamaktadır (UNFPA, 2022).



Şekil 7. İklim göçü, afet sonrası barınma alanları (temsili görsel)

## 5. KADINLAR, ERKEN UYARI SİSTEMLERİ VE İKLİM ÇÖZÜMLERİ

Kadınlar, iklim değişikliğinin etkilerine en fazla maruz kalan gruplar arasında yer alsa da, aynı zamanda iklim çözümlerinin de temel aktörleridir. Kadın liderliğindeki topluluk temelli uyum projeleri; sürdürülebilir tarım, su yönetimi ve afet risk azaltma alanlarında önemli başarılar ortaya koymaktadır (IPCC, 2022; FAO, 2023).

Toplumsal cinsiyete duyarlı erken uyarı sistemleri, kadınların afetlere hazırlık ve müdahale kapasitesini güçlendiren kritik araçlar arasında yer almaktadır. Erken uyarı mesajlarının kadınların bilgiye erişim biçimlerine ve sosyo kültürel koşullarına uygun şekilde tasarlanması, can kayıplarının ve ekonomik zararların azaltılmasında belirleyici olmaktadır (Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi [United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR], 2022).

Türkiye bağlamında, iklim kaynaklı afetlerin sıklığının ve şiddetinin artması; özellikle kırsal bölgelerde yaşayan ve tarımda yoğun biçimde yer alan kadınların kırılganlığını artırmaktadır. Bu durum, erken uyarı ve risk iletişimi süreçlerinde kadınların ihtiyaçlarını merkeze alan politikaların önemini ortaya koymaktadır.

## 6. SONUÇ

İklim değışikliği, kadınlar için yalnızca çevresel bir tehdit değil; aynı zamanda ekonomik, sosyal ve psikolojik bir kriz alanıdır. Toplumsal cinsiyet eşitliğini merkeze almayan iklim politikaları, mevcut kırılmalıkları yeniden üretmektedir. Kadınların bilgiye, kaynaklara ve karar alma süreçlerine eşit katılımının sağlanması; toplumların iklim direncini güçlendiren temel bir stratejidir. Kadınların güçlendirilmesi, daha adil ve sürdürülebilir bir iklim geleceğinin inşası açısından vazgeçilmezdir.

## KAYNAKÇA

- Basu, R., & Samet, J. M. (2018). Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of epidemiologic evidence. *Environmental Health Perspectives*, 110(9), 1021–1025.
- Bryant, R. A., Gibbs, L., Gallagher, H. C., Pattison, P., MacDougall, C., Harms, L., Block, K., Baker, E., Sinnott, V., Ireton, G., & Richardson, J. (2023). Long term mental health impacts of climate related disasters. *Journal of Affective Disorders*, 320, 25–34.
- CARE International. (2022). Gender inequality and the climate crisis: Evidence and implications. CARE International Global Secretariat.
- Clayton, S., Manning, C., Krygsman, K., & Speiser, M. (2017). Mental health and our changing climate: Impacts, implications, and guidance. American Psychological Association & ecoAmerica.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Gender, agriculture and climate change: The importance of women's empowerment. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Climate smart agriculture: Empowering women farmers for resilience. FAO.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability (Sixth Assessment Report, Working Group II). Cambridge University Press.
- International Organization for Migration. (2022). World migration report 2022: Climate change and human mobility. IOM.
- United Nations Entity for Gender Equality and the Empowerment of Women. (2023). Gender and climate change. UN Women.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2022). Gender responsive early warning systems. UNDRR.
- United Nations Population Fund. (2022). Climate change and gender based violence. UNFPA.
- United Nations High Commissioner for Refugees. (2021). Climate change and disaster displacement. UNHCR.
- World Health Organization. (2023). Climate change and women's health. WHO.
- World Bank. (2021). Gender dimensions of climate change. World Bank Group.



**METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

# METEOROLOJİ MÜHENDİSİ İÇİN ÖNEMLİ BİR İSTİHDAM ALANI: DENİZ METEOROLOJİSİ



DR. MURAT DURAK

Meteoroloji Mühendisi  
DÜRED Başkanı  
Enerji Komisyonu Üyesi

Deniz meteorolojisi, denizcilik, balıkçılık, turizm, açık deniz petrol sondajı ve madencilik faaliyetleri, petrol sızıntısı kontrolü, denizüstü rüzgar enerjisi (offshore wind) ve gelgit enerjisi üretimi, denizde arama kurtarma ve deniz operasyonları da dahil olmak üzere deniz ve kıyı faaliyetlerini desteklemek amacıyla hava durumu bilgilerinin anlaşılması ve üretilmesine yönelik bir bilim dalı olması bakımından da çok önemlidir. Veri toplam sürecinde ise; deniz ve kıyı ortamlarındaki hava, iklim ve ilgili okyanus koşullarına odaklanan, çeşitli denizcilik faaliyetlerini desteklemek amacıyla veri toplama ve analizini içeren bir meteoroloji alt alanı olarak tanımlanır.

Deniz meteorolojisi; deniz, atmosfer ve deniz sınırları içerisinde meydana gelen doğal olaylar ile derin denizler, sahil kesimi, sahilinden uzak sınırlar içinde kalan sulardaki insan faaliyetlerinin gereksinimi olan bilimsel ve işletme amaçlı meteorolojik bilgi talepleriyle ilgilenir. Deniz meteorolojisi, derin denizlerdeki uluslararası taşımacılığa, balıkçılık ve diğer deniz faaliyetlerinin yanında; kıyısız bölgelerde yer alan ve kıyıda kendi kendine oluşan çeşitli faaliyetlere hizmet sağlar. Bu hizmetlerin yerine getirilmesinde, raporların, tahminlerin, uyarıların hazırlanmasında değişik okyanus durumları ile deniz havası ve deniz ikliminin ana özellikleri hakkında meteoroloji mühendisliği eğitimi alınması gereklidir. Bunlara ilaveten dalgalar, fırtına dalgaları ile ilgili tahminlerin yapılması için meteorolojik verilerin toplanmasına ve analiz edilmesine ihtiyaç duyulur.

## MetOcean Ölçümleri

Son yıllarda deniz enerji meteorolojisi gelişim göstermektedir. Uluslararası literatürde MetOcean (**M**eteorology + **O**ceanography) olarak geçen deniz meteorolojik ölçümler sadece meteorolojinin değil aşağıdaki verilen kurum ve kuruluşlarında kullanımına sunulmaktadır;

- Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- WMO (World Meteorological Organization)
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
- Sahil Güvenlik Komutanlığı
- Diğer Askeri Birimler
- IMO (International Maritime Organization)
- Akademik Çalışmalar
- Sigorta Şirketleri
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- Denizüstü RES veya Enerji Firmaları
- Mühendislik Firmaları
- Ekipman Firmaları
- Yatırımcılar ve Kreditörler



Şekil. MetOcean ölçüm sistemleri.

Dünyada denizüstü (offshore) rüzgar elektrik santralleri yapılmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda konu ile ilgili olarak çalışmalar başlamıştır. Ülkemizde karaüstü rüzgar ölçümleri yapılmakta olup denizüstü rüzgar ölçümleri Marmara Denizinde yapılmaktadır.

Meteoroloji mühendisi deniz enerji projelerinde aşağıdaki konularda çalışabilir;

- Denizüstü RES (DRES) Proje Sahası Belirlenmesi
- DRES ÇED Süreci
- Sahanın Mikrometeorolojisi
- Gel-Git Modellemesi
- Fırtına Dalgaları Modellemesi
- Akıntı Modellemesi
- Denizüstü RT Mikrokonuşlandırma (Micrositing)

Gözlemlerin alınması, dağıtımı ve arşivlenmesi deniz meteoroloji programının uygulamasını sağlayacak temel unsur olarak kabul edilir. Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrilmiş olması denizciliğin önemini en açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Ülke güvenliğini sağlayan Deniz Kuvvetlerinin meteorolojik desteği yanında, her gün büyüyen ve modern sistemlerle donatılan deniz ticaret filosu ile balıkçılık, deniz ve yat turizmi, deniz kirliliği, deniz enerji meteorolojisi, kıyıda ve kıyıdan uzakta yapılan su altı maden ve petrol araştırmaları deniz meteorolojisi tahmin ve verilerine ihtiyaç duyar. Bu nedenle deniz meteorolojisine gerek uygulamada gerekse bilimsel açıdan bakıldığında ilginç sonuçlar verebilecek bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Meteoroloji mühendisliği, deniz meteorolojisi konusunda oluşabilecek yeni istihdam alanları konusunda hazırlanmalıdır.



**METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**

# MARMARA BÖLGESİNDE KIŞ AYLARINDA ORTAYA ÇIKAN SOĞUK HAVA DALGALARININ 1995 – 2025 YILLARI KAPSAMINDAKİ ANALİZİ



ALPEREN NEBİ BİLEN



DOÇ. DR. BAHTİYAR EFE

İstanbul Teknik Üniversitesi,  
İklim Bilimi ve Meteoroloji  
Mühendisliği Bölümü

## Özet

İklim değişikliği, küresel ve bölgesel ölçekte yalnızca ortalama sıcaklıklardaki artışlarla değil, aynı zamanda aşırı iklim olaylarının sıklığı, süresi ve şiddetindeki değişimlerle de etkisini göstermektedir. Literatürde çoğunlukla sıcak hava dalgaları ve aşırı sıcaklık olayları ön plana çıkmakla birlikte, orta enlemlerde kış mevsiminde gözlenen soğuk hava dalgaları; enerji arz güvenliği, ulaşım sistemleri, tarımsal üretim, ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde önemli riskler oluşturmaya devam etmektedir. Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Marmara Bölgesi, denizel ve karasal iklim özelliklerinin etkileşim alanında bulunması nedeniyle iklimsel açıdan bir geçiş bölgesi niteliği taşımakta ve bu durum aşırı soğuk olayların zamansal ve mekânsal değişkenliğini artırmaktadır.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde 1995–2025 yılları arasında kış mevsiminde (Aralık–Ocak–Şubat) meydana gelen soğuk hava dalgalarının zamansal davranışı analiz edilmiştir. Analizlerde alan ortalamalı günlük minimum sıcaklık (Tmin) verileri kullanılmış ve soğuk hava dalgaları, ilgili aya ait P10 eşik değerinin altında kalan Tmin değerlerinin en az üç gün ardışık olarak sürmesi koşuluyla tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, aylık klimatolojik farklılıkları dikkate alarak sabit eşik kullanımından kaynaklanabilecek yanlışlıkları azaltmayı amaçlamaktadır.

Elde edilen bulgular, soğuk hava dalgalarının çalışma dönemi boyunca her yıl düzenli bir şekilde görülmediğini, belirli yıllarda kümелendiğini ve aylara göre farklı karakteristikler sergilediğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, iklim değişikliği bağlamında ortalama sıcaklıklardaki artış eğilimine rağmen kış mevsimi aşırı soğuk olaylarının tamamen ortadan kalkmadığını, aksine daha epizodik ve öngörülemez bir yapıya büründüğünü göstermektedir.

*Anahtar Kelimeler: Soğuk Hava Dalgası, Marmara Bölgesi, Minimum Sıcaklık, Kış*

# ANALYSIS OF COLD AIR WAVES OCCURRING IN THE MARMARA REGION DURING WINTER MONTHS FROM 1995 TO 2025

## Abstract

Climate change manifests its impacts not only through increases in mean temperatures but also through changes in the frequency, duration, and intensity of extreme climate events at both global and regional scales. While the scientific literature predominantly focuses on heatwaves and extreme warm events, cold spells occurring during the winter season in mid-latitude regions continue to pose significant risks to energy supply security, transportation systems, agricultural production, ecosystems, and human health. The Marmara Region, located in northwestern Türkiye, represents a climatic transition zone influenced by both maritime and continental conditions, which enhances the temporal variability of extreme cold events.

In this study, the temporal characteristics of winter cold spells observed in the Marmara Region during the 1995–2025 period were analyzed. Area-averaged daily minimum temperature (T<sub>min</sub>) data for the winter months (December–January–February) were used. Cold spells were defined as periods in which T<sub>min</sub> values remained below the monthly P10 threshold for at least three consecutive days. This methodology accounts for monthly climatological differences and aims to reduce biases associated with the use of a single fixed threshold.

The results indicate that winter cold spells do not occur regularly every year but tend to cluster in specific periods and exhibit distinct characteristics depending on the month. Despite the increasing trend in mean temperatures associated with climate change, the findings demonstrate that extreme cold events have not disappeared; instead, they have become more episodic and less predictable. These outcomes highlight the importance of considering cold extremes in regional climate risk assessments.

*Keywords: Cold Wave, Marmara Region, Minimum Temperature, Winter*

## GİRİŞ

İklim sistemi, doğal değişkenliği ve dışsal zorlayıcılar altında sürekli bir dönüşüm içerisinde. Son yüzyılda gözlenen küresel ortalama sıcaklık artışı, iklim değişikliğinin en belirgin göstergelerinden biri olmakla birlikte, bu değişimin etkileri yalnızca ortalama değerler üzerinden değerlendirilmemelidir. Aşırı iklim olaylarının sıklığı, süresi ve şiddetindeki değişimler; iklim değişikliğinin toplumsal, ekonomik ve çevresel etkilerini doğrudan belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, sıcak hava dalgaları kadar soğuk hava dalgaları da özellikle orta enlemlerde iklim risklerinin anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir.

Soğuk hava dalgaları, kısa süreli olmalarına rağmen enerji talebinde ani artışlara, ulaşım ve altyapı sistemlerinde aksamalara, tarımsal üretimde kayıplara ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Küresel ölçekte ortalama sıcaklıklar artış eğilimi gösterse dahi, literatürde ekstrem soğuk olayların tamamen ortadan kalkmadığı, bazı bölgelerde daha düzensiz ve epizodik bir yapı kazandığı vurgulanmaktadır (Kodra vd., 2011). Bu durum, iklim değişikliğinin etkilerinin doğrusal olmadığını ve ekstrem olayların gelecekte de önemli bir risk unsuru olmaya devam edeceğini göstermektedir.

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alması, yoğun nüfus ve sanayi faaliyetlerine ev sahipliği yapması ve farklı iklim tiplerinin etkileşim alanında bulunması nedeniyle iklim değişikliğine karşı hassas bölgelerden biridir (Thompson ve Wallace, 2001). Bölge, Karadeniz üzerinden gelen soğuk hava kütleleri ile Balkanlar ve Avrasya kaynaklı sinoptik sistemlerin etkisine açık olup, kış mevsiminde belirgin soğuk hava dalgalarının yaşanabildiği bir alan niteliği taşımaktadır. Bu nedenle Marmara Bölgesi'nde kış mevsiminde gözlenen soğuk hava dalgalarının zamansal değişiminin incelenmesi hem bölgesel iklim dinamiklerinin anlaşılması hem de risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemlidir (IPCC, 2021).

Bu çalışmanın amacı, Marmara Bölgesi'nde 1995–2025 yılları arasında kış mevsiminin meydana gelen soğuk hava dalgalarının zamansal davranışını istatistiksel olarak incelemek ve bu olayların aylık bazda sergilediği farklılıkları ortaya koymaktır. Bu kapsamda, alan ortalamalı günlük minimum sıcaklık verileri kullanılarak aylık P10 eşik değerlerine dayalı bir soğuk hava dalgası tanımı uygulanmış ve elde edilen bulgular iklim değişikliği bağlamında değerlendirilmiştir.

## VERİ VE ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Marmara Bölgesi'ni kapsayan ve 1995–2025 yılları arasındaki kış mevsimine ait alan ortalamalı günlük minimum sıcaklık ( $T_{min}$ ) değerlerinden oluşmaktadır. Marmara Bölgesi; Karadeniz, Ege ve Akdeniz iklim sistemlerinin etkileşiminde yer alması, yoğun nüfus ve sanayi faaliyetlerine ev sahipliği yapması nedeniyle iklim riskleri açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bölgenin karmaşık topografyası ve denizel etkiler, sıcaklık değişkenliğini artırarak aşırı hava olaylarının daha belirgin hale gelmesine neden olmaktadır.

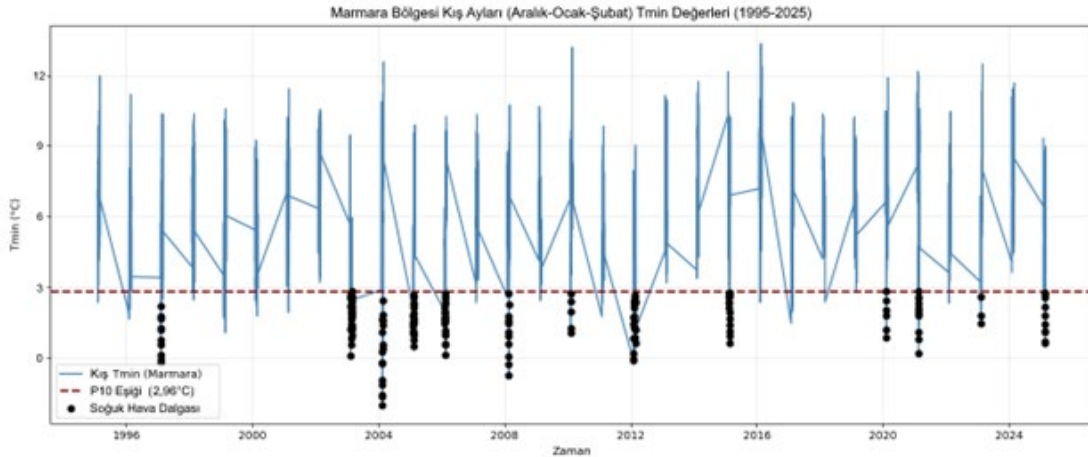


Şekil 1. Çalışma alanı olan Marmara Bölgesi'nin uydu görüntüsü.

Veri işleme ve analiz adımları Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiş, NetCDF formatındaki iklim veri setlerinden yararlanılmıştır. Kış mevsimi Aralık, Ocak ve Şubat aylarını kapsayacak şekilde tanımlanmış ve her ay için ayrı klimatolojik eşik değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan aylık P10 eşik değerleri Aralık için 3,79 °C, Ocak için 1,79 °C ve Şubat için 3,3 °C olarak belirlenmiştir. Bu eşikler, uzun dönem sıcaklık dağılımlarının alt yüzde 10'luk dilimini temsil etmekte ve ekstrem soğuk koşulların tanımlanmasında istatistiksel bir temel sunmaktadır.

## YÖNTEM

Bu çalışmada Marmara Bölgesi'nde kış mevsiminde meydana gelen soğuk hava dalgalarının belirlenmesi ve analiz edilmesi amacıyla istatistiksel eşik temelli bir yöntem uygulanmıştır. Analizler, alan ortalamalı günlük minimum sıcaklık ( $T_{min}$ ) verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma dönemi 1995–2025 yıllarını kapsamakta olup, kış mevsimi Aralık, Ocak ve Şubat ayları ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 2. Marmara Bölgesi 1995-2025 yılları arası kış mevsimi soğuk hava dalgası grafiği.

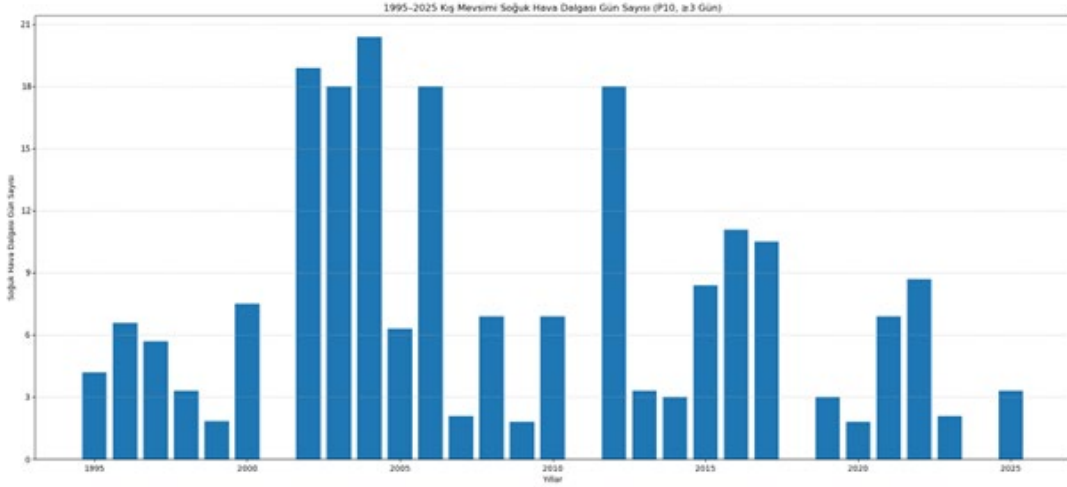
Soğuk hava dalgalarının tanımlanmasında, literatürde yaygın olarak kullanılan yüzdelerik eşik yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda, her ay için ayrı ayrı hesaplanan P10 eşik değerleri kullanılmıştır. P10 eşiği, ilgili ay için uzun dönem sıcaklık dağılımının alt yüzde 10'luk dilimini temsil etmekte olup, ekstrem soğuk koşulların istatistiksel olarak tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Kodra vd., 2011). Çalışmada belirlenen aylık P10 eşik değerleri Aralık için 3,79 °C, Ocak için 1,79 °C ve Şubat için 3,3 °C'dir.

Bir soğuk hava dalgası, günlük Tmin değerlerinin ilgili ayın P10 eşik değerinin altında en az üç gün ardışık olarak seyretmesi koşuluyla tespit edilmiştir. Süreklilik kriteri, kısa süreli tekil sıcaklık düşüşlerinin ekstrem olay olarak sınıflandırılmasını engellemekte ve iklimsel açıdan anlamlı soğuk hava dalgalarının belirlenmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, sabit tek eşik kullanımına kıyasla aylık klimatolojik farklılıkları dikkate alarak yöntemsel yanlılıkları azaltmaktadır (IPCC, 2021).

Veri işleme, analiz ve görselleştirme adımları Python programlama dili kullanılarak yürütülmüş; NetCDF formatındaki veri setleri üzerinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen soğuk hava dalgası olayları yıllık ve aylık bazda değerlendirilerek zamansal dağılımları ve karakteristik özellikleri incelenmiştir.

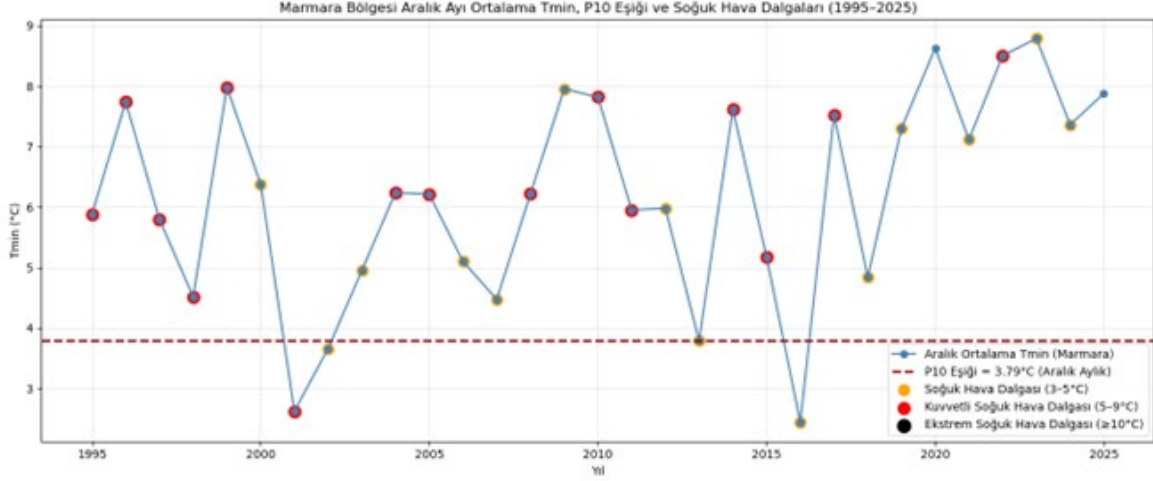
## BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Analiz sonuçları, Marmara Bölgesi'nde kış soğuk hava dalgalarının yıllar arasında homojen bir dağılım göstermediğini, belirli dönemlerde yoğunlaşarak epizodik bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Aylık bazda yapılan değerlendirmeler, her ayın kendine özgü bir soğuk hava dalgası karakterine sahip olduğunu göstermektedir.



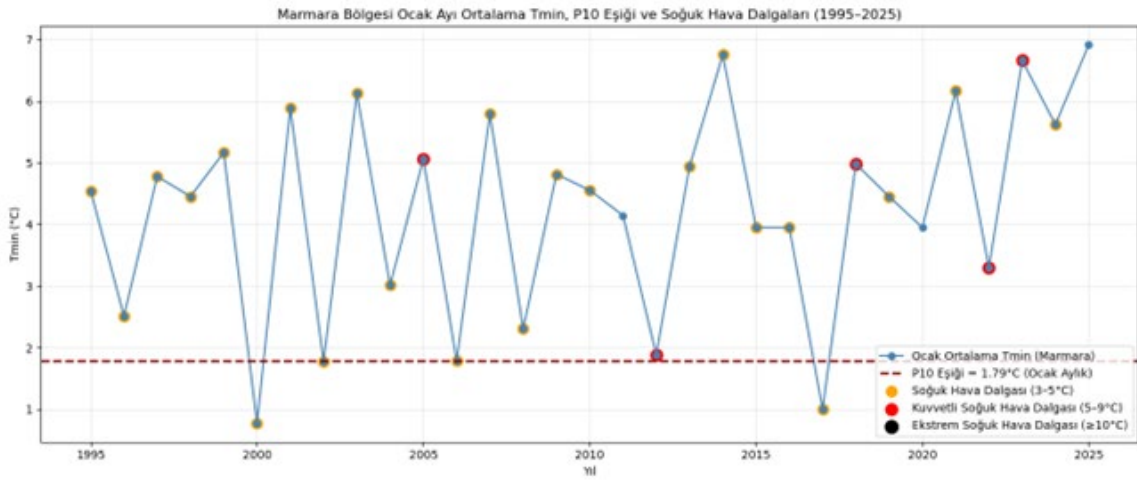
Şekil 3. Marmara Bölgesi 1995-2025 yılları arası kış mevsimi soğuk hava dalgası gün sayısı grafiği.

Aralık ayı analizlerinde, özellikle 2000'li yılların başı ve 2010'lu yılların ortasında belirgin soğuk hava dalgalarının öne çıktığı görülmektedir. Bu dönemlerde Tmin değerlerinin aylık P10 eşiklerinin oldukça altına düştüğü ve bazı olayların uzun süreli olduğu belirlenmiştir. Aralık ayındaki bu durum, erken kış koşullarının atmosferik dolaşım örüntülerine duyarlılığını yansıtmaktadır.



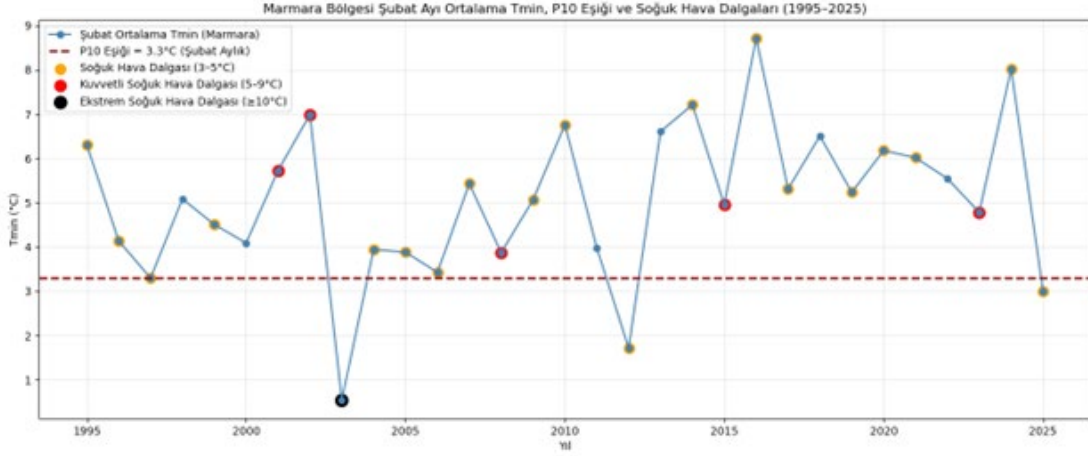
Şekil 4. Marmara Bölgesi 1995-2025 yılları arası Aralık ayı soğuk hava dalgaları grafiği.

Ocak ayı, kış mevsiminin klimatolojik olarak en soğuk ayı olmasına rağmen, analizler bu ayda genellikle kısa süreli fakat şiddetli soğuk epizodlarının baskın olduğunu göstermektedir. Üç gün ve üzeri süreklilik koşulunun her yıl sağlanmadığı, buna karşın ani sıcaklık düşüşlerinin daha sık gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu durum, Ocak ayındaki sıcaklık varyansının görece düşük olmasıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 5. Marmara Bölgesi 1995-2025 yılları arası Ocak ayı soğuk hava dalgaları grafiği.

Şubat ayı ise geç kış karakteri nedeniyle daha değişken bir yapı sergilemektedir. Hem aşırı soğuk hem de anomalik ılık yılların aynı veri serisi içinde yer alması, yıllar arası değişkenliği artırmaktadır. Bu durum, Şubat ayındaki soğuk hava dalgalarının tahmin edilebilirliğini azaltmakta ve iklim değişkenliğinin etkisini daha belirgin hale getirmektedir.



Şekil 6. Marmara Bölgesi 1995-2025 yılları arası Şubat ayı soğuk hava dalgaları grafiği.

## SONUÇLAR

Bu çalışma, Marmara Bölgesi'nde 1995-2025 yılları arasında kış mevsiminde meydana gelen soğuk hava dalgalarının zamansal değişimini inceleyerek, iklim değişikliği bağlamında ekstrem soğuk olayların bölgesel ölçekteki önemini ortaya koymuştur. Analiz sonuçları, ortalama sıcaklıklardaki artış eğilimine rağmen kış mevsimi soğuk hava dalgalarının tamamen ortadan kalkmadığını; bunun yerine daha düzensiz, epizodik ve belirli yıllarda yoğunlaşan bir yapı sergilediğini göstermektedir. Bu bulgu, iklim değişikliğinin etkilerinin yalnızca ortalama iklim göstergeleri üzerinden değerlendirilmesinin yeterli olmadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Aylık bazda yapılan değerlendirmeler, Aralık, Ocak ve Şubat aylarının her birinin farklı soğuk hava dalgası karakteristiklerine sahip olduğunu göstermiştir. Aralık ayında daha uzun süreli ve süreklilik gösteren soğuk hava dalgaları öne çıkarken, Ocak ayında genellikle kısa süreli ancak şiddetli soğuk epizotlarının baskın olduğu belirlenmiştir. Şubat ayı ise geç kış koşullarına bağlı olarak yüksek yıllar arası değişkenlik sergilemiş; hem aşırı soğuk hem de anomalik ılık dönemlerin aynı veri serisi içerisinde yer aldığı karmaşık bir yapı ortaya koymuştur. Bu durum, aylık klimatolojik farklılıkların ekstrem olay analizlerinde dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Elde edilen bulgular, Marmara Bölgesi'nde kış soğuk hava dalgalarının büyük ölçekli atmosferik dolaşım örüntüleri ve iklim salınımlarıyla ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Özellikle Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) gibi sinoptik ölçekli mekanizmaların, soğuk hava dalgalarının oluşumu, süresi ve şiddeti üzerinde belirleyici rol oynayabileceği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak çalışmalarda atmosferik indekslerin ve dolaşım tiplerinin soğuk hava dalgalarıyla birlikte ele alınması, bu olayların fiziksel mekanizmalarının daha ayrıntılı biçimde açıklanmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Marmara Bölgesi'nde kış mevsimi soğuk hava dalgaları; enerji talebi yönetimi, ulaşım ve altyapı sistemlerinin dayanıklılığı, tarımsal üretim ve halk sağlığı açısından önemli bir risk unsuru olmaya devam etmektedir. İklim değişikliğine uyum ve risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesinde, sıcak ekstrem olayların yanı sıra soğuk hava dalgalarının da bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, bölgesel ölçekte ekstrem soğuk olayların izlenmesine yönelik bilimsel altyapıyı güçlendirmekte ve gelecekte yapılacak kapsamlı iklim risk analizleri için önemli bir referans oluşturmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışmanın her aşamasında bilimsel yönlendirmeleri, yapıcı eleştirileri ve değerli katkılarıyla sürece rehberlik eden danışmanım Doç. Dr. Bahtiyar EFE'ye içtenlikle teşekkür ederim. Çalışmanın metodolojik çerçevesinin oluşturulması ve bulguların bilimsel açıdan değerlendirilmesinde sağladığı destek, bu araştırmanın akademik niteliğinin güçlenmesine önemli katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

- Cattiaux, J., & Yiou, P. (2013). Control of extreme wintertime temperatures in Europe by the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, 26(2), 603–617. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00687.1>
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kodra, E., Steinhäuser, K., & Ganguly, A. R. (2011). Persisting cold extremes under 21st century warming scenarios. *Geophysical Research Letters*, 38(8), L08705. <https://doi.org/10.1029/2011GL047103>
- Perkins, S. E., Alexander, L. V., & Nairn, J. R. (2012). Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters*, 39(20), L20714. <https://doi.org/10.1029/2012GL053361>
- Screen, J. A., & Simmonds, I. (2013). Exploring links between Arctic amplification and mid-latitude weather. *Geophysical Research Letters*, 40(5), 959–964. <https://doi.org/10.1002/grl.50174>
- Thompson, D. W. J., & Wallace, J. M. (2001). Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. *Science*, 293(5527), 85–89. <https://doi.org/10.1126/science.1058958>
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Klein Tank, A., Peterson, T. C., Trewin, B., & Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851–870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>



METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

[www.meteorolojimuh.org.tr](http://www.meteorolojimuh.org.tr)

Bütün sayılarımıza ulaşmak için tıklayınız.

[meteorolojimuh.org.tr/yayinlar/](http://meteorolojimuh.org.tr/yayinlar/)

