

## **Türkiye'nin Nükleer Santral Alanlarında Potansiyel Radyolojik Kirliliğin Dağılımını Etkileyecek Atmosfer Kararlılık Şartlarının Pasquill-Gifford Yöntemi ile Belirlenmesi**

Onur Canbulat<sup>1</sup>

### **Öz**

Radyolojik kirliliğin atmosferdeki dağılımını belirleyen en önemli faktörlerden biri atmosferin kararlılık özellikleridir. Bu araştırmanın amacı, Türkiye'nin nükleer santral alanlarında dağılımı etkileyecek olan kararlılık şartlarının belirlenmesidir. Çalışmada uydu kaynaklarından elde edilen veriler kullanılarak, Pasquill-Gifford sınıflandırmasına göre sahalara ait kararlılık özellikleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Akkuyu çevresinde gündüz süresinde yıl içerisinde B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) ve C (Az kararsız) sınıfı hakimdir. Kararsız atmosfer koşulları türbülansif dağılım açısından avantaj oluşturmaktadır. İnceburun sahasında gündüz koşullarında; kış mevsiminde D (Nötr), sonbaharda C (Az kararsız), ilkbahar ve yaz mevsimlerinde B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) şartları yaygındır. Kış mevsimi dağılımı sınırlandıran kararlılık özelliklerine sahip olsa da diğer zaman dilimlerinde şartlar nispeten elverişlidir. İğneada çevresinde ise gündüz koşullarında daha çok D (Nötr) sınıfı görülür. Sahada radyonüklidlerin atmosferdeki dikey dağılımının ve karışımın sınırlı olması muhtemeldir. Daha çok rüzgarlar aracılığıyla laminer bir taşınım oluşabilir. Nükleer santral alanlarına ait yapılan bu tip çalışmaların farklı veri kaynakları ve metodolojilerle desteklenmesi, alınacak önlemlerin ve gerçekleştirilecek atılımların daha bilimsel bir zeminde ilerlemesini sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Akkuyu, Atmosfer Kararlılığı, İğneada, İnceburun, Nükleer Kirlilik

## **Determination of Atmospheric Stability Conditions Affecting the Distribution of Potential Radiological Contamination at Nuclear Power Plant Sites of Türkiye Using the Pasquill-Gifford Method**

### **Abstract**

One of the most critical factors determining the dispersion of radiological pollution in the atmosphere is atmospheric stability conditions. This study aims to determine the stability conditions that influence dispersion at nuclear power plant sites in Türkiye. Based on satellite-derived data, the stability characteristics of these sites were calculated using the Pasquill-Gifford classification. The findings indicate that in the vicinity of Akkuyu, stability classes B-C (moderately to slightly unstable) and C (slightly unstable) predominate during daytime throughout the year. Unstable atmospheric conditions are advantageous for turbulent dispersion. At the İnceburun site, class D (neutral) conditions prevail during daytime in winter, while class C (slightly unstable) dominates in autumn, and classes B-C (moderately to slightly unstable) in spring and summer. Although winter conditions are relatively stable and may hinder dispersion, the other

<sup>1</sup> Dr., Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı, Karabük  
e-posta/e-mail: onurcanbulat25@gmail.com ORCID No: 0000-0002-9269-4219

seasons present more favorable conditions. In the İğneada region, class D (neutral) is more frequently observed during the daytime. In this area, vertical mixing and dispersion of radionuclides in the atmosphere are likely to be limited, with transport primarily governed by laminar, wind-driven advection. Enhancing such studies at nuclear power plant sites through diverse data sources and methodologies will help ensure that precautionary measures and future developments are grounded on a more robust scientific basis.

**Keywords:** Akkuyu, Atmospheric Stability, İğneada, İnceburun, Nuclear Contamination

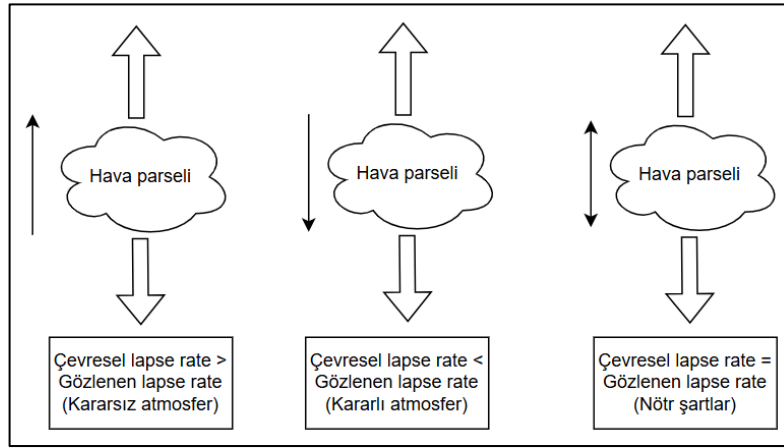
## 1. GİRİŞ

Meteorolojik olaylar ve atmosferik sirkülasyon iklim elemanlarında meydana gelen değişimler sonucunda gerçekleşmektedir (Mukherjee ve Mishra, 2021). Başta radyolojik kirlilik olmak üzere yaşanan her türlü hava kirliliğinde bir kaynaktan açığa çıkan partiküllerin dağılımı, meteorolojik parametrelere bağlı olarak gelişen atmosfer kararlılık şartlarına göre şekillenir (Gómez-Moreno vd., 2011; Wu vd., 2024). Atmosferik kararlılık ise hava parselinin dikey yönde hareket edebilme kabiliyetini ifade eder (Huertas vd., 2021). Atmosferde gerçekleşecek olayların doğru tahmini çeşitli nedenlere bağlı olarak zordur. Atmosferin kaotik niteliği, bileşimindeki gazların kimyasal özellikleri, iklim elemanlarında kısa süre içerisinde meydana gelen değişimler, farklı yükselti seviyelerinin tekdüze olmayan yapısı bu sebeplerden bazılardır (Dvorak vd., 2012). Ayrıca yer yüzeyini oluşturan zeminin özellikleri, toprak ve kayaç yapısı, su-buz örtüsü, meteorolojik parametrelerde dikey yönde meydana gelen değişimler atmosferik sirkülasyona ve kararlılık şartlarına etki eden diğer faktörlerdir. Kirleticilerin atmosferdeki zamansal ve mekânsal dağılım deseni tüm bileşenlerin etkisiyle şekillenmektedir (D. A. Vallero, 2024).

Kararlılık şartlarının gelişimi ve dağılımı, termal-dinamik etkilere bağlı olarak gerçekleşir. Termal etki hava akışına türbülansif bir özellik kazandırır (Bardal vd., 2018). Yeryüzünden başlayan ısınma, hava akışını dikey olarak yönlendirir ve kirletici partiküller atmosferin üst seviyelerine taşınır (Huertas vd., 2021). Dinamik etkide ise taşıyıcı gücü rüzgarlar oluşturur. Bulutsu, rüzgarın hareket yönüne ve kuvvetine bağlı olarak kaynak noktasından başka alanlara taşınır (Lai vd., 2023). Basınç, nem ve bulutluluk gibi iklim elemanları da dağılım üzerinde etkilidir. Ancak sıcaklık daha kuvvetli bir faktördür. Çünkü diğer meteorolojik parametreleri şekillendirmektedir (Nakyai vd., 2025).

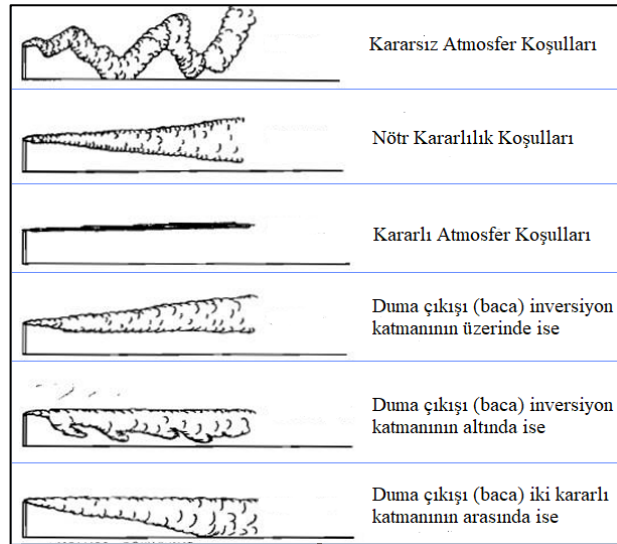
Atmosfer kararlılığı üç ana kategoride (Kararlı, kararsız, nötr) ifade edilir. Kararlılık şartlarını hava parselinin yükseldikçe soğuma hızı (Gözlenen lapse rate) ve onu çevreleyen havanın yükseldikçe soğuma hızı (Çevresel lapse rate) arasındaki fark belirlemektedir (Rohli ve Li, 2021). Eğer hava parseli yükseldikçe onu çevreleyen havadan daha yavaş soğuyorsa, çevresine göre daha sıcak ve az yoğun olacağı için yükselme eğilimi devam edecektir. Bu durumda kararsız atmosfer şartları oluşur (McDougall ve Feistel, 2003). Hava türbülansif harekete açıktır ve kirletici dağılımı kolaylaşır (Şekil 1).

Hava parselinin yükseldikçe soğuma hızı onu çevreleyen havadan fazlaysa, çevresine göre daha soğuk ve yoğun olacağı için yükselme hareketi sınırlıdır. Kararlı atmosfer koşulları meydana gelir. Kirleticiler yer yüzeyine yakın bir atmosfer sınırına hapsolür ve dağılım gerçekleşmez (Andrews, 2010; Reda vd., 2018). Kış mevsimlerinde gözlemlenen sıcaklık inversiyonları kararlı atmosfer şartlarının en uygun örnekleridir. Nötr kararlılık durumunda ise çevresel soğuma hızı ve hava parseline ait soğuma hızına eşittir. Bu durumda hava yukarı ya da aşağı yönlü hareket eğiliminde değildir. Kirletici dağılımı açısından elverişsiz şartlar oluşur (Fattah vd., 2014). Gün içerisindeki döngüde kararsız atmosfer koşulları daha çok gündüz süresinde hakimdir. Kararlı şartlar gecede, nötr şartlar ise tan ve grup vakitlerinde gözlemlenir. Yıl içerisinde kış mevsimi daha çok kararlılığın, diğer mevsimler ise ısınma şartlarına bağlı olarak kararsızlığın arttığı zaman dilimleridir (Edokpa ve Nwagbara, 2017).



Şekil 1. Atmosfer kararlılık şartlarının oluşumu

Kararlılık şartları bacadan çıkan kirleticilerin dağılım desenini de belirlemektedir (Mayhoub vd., 2004). Kararsız koşullarda daha türbülansif ve döngüsel dağılım şekilleri oluşur. Kararlı-nötr koşullar, sınırlandırılmış ve tabakalı bir dağılım meydana getirir (Şekil 2).



Şekil 2. Kararlılık şartlarının kirleticilerin dağılım şekli üzerindeki etkisi (Camuffo, 1998; Seigneur, 2019)

Atmosfer kararlılığı hem meteorolojik olayların gelişiminde hem de kirleticilerin dağılımında etkilidir. Bu nedenle araştırma kapsamına bağlı olarak kararlılık tespitinde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Meteorolojik olaylarda farklı basınç seviyelerine ve yüksek atmosfere ait (1500 m, 3000 m, 5500 m) veriler kullanılmaktadır. Jefferson, Rackliff, Adedokun, K indeks, Showalter hava olaylarının tahmininde kullanılan başlıca kararlılık indeksleridir (Haklander ve van Delden, 2014; Jayakrishnan ve Babu, 2014; Matthew vd., 2021; Ye vd., 2024). Yüksek atmosfer verilerine dayanan bu hesaplama teknikleri, ortalama 60 m yüksekliğe sahip bir nükleer santral bacasından çıkan radyonüklidlerin dağılımının tespitinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle daha düşük yükselti seviyelerindeki (10 m, 50 m, 60 m, 100 m) meteorolojik dataları kullanan kararlılık hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bulk Richardson Number, Monin-Obukhov Uzunluğu, Richardson Number, Turner, Vogt, Pasquill-Gifford yer yüzeyine yakın verilere dayalı ve kirleticilerin dağılımının öngörülmesinde kullanılan kararlılık sınıflandırmalarıdır (Pasquill, 1961; Sedefian ve Bennett, 1980; Till ve Meyer, 1983; W. M. Lee, 1985; Camuffo, 1998; Mohan ve Siddiqui, 1998; Hu ve Yoshie, 2020).

Kirleticilerin atmosferik dağılımının tahmininde kullanılan yöntemlerden biri olan Pasquill-Gifford sınıflandırması birçok meteorolojik parametreyi dikkate alır. Bu özelliğine bağlı olarak nükleer kirlilik araştırmalarında sıkça tercih edilmektedir (Maro vd., 2002; S.-C. Lee vd., 2014; Chambers vd., 2016; Bulhosa vd., 2020; Muhammad vd., 2025). He vd., (2024) Çin'in Daya körfezinde yer alan nükleer santralde meydana gelebilecek potansiyel salımın simülasyonunda, Pasquill-Gifford yöntemi ve bu yöntemeye dayanan Gauss dağılım modelini kullanmışlardır. Chambers vd., (2016) Romanya'da bir nükleer araştırma tesisindeki potansiyel radyolojik salımı, Pasquill-Gifford ve Richardson Number kararlılık metotlarına göre ele almışlardır. Bulhosa vd., (2020) radyolojik bir olayda ortaya çıkabilecek kanser riskini, Pasquill-Gifford kararlılık şartlarına göre değerlendirmişlerdir. Yöntem literatürdeki yaygınlığı ve sahip olduğu kapsayıcı nitelikler sebebiyle bu çalışmaya ait analizlerinde de kullanılmıştır.

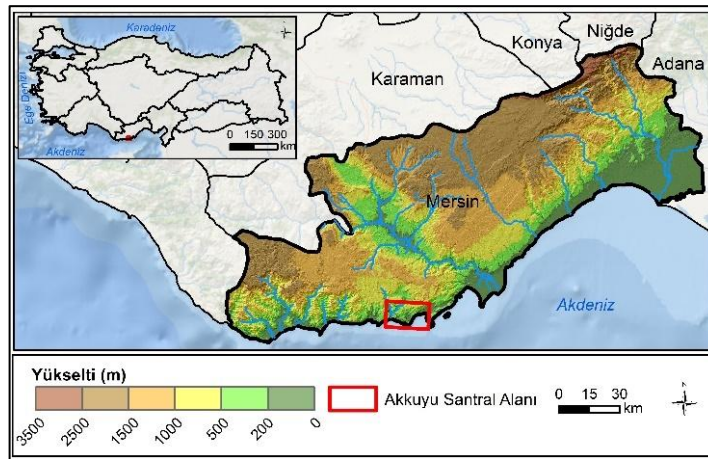
Bu araştırmanın amacı, Türkiye'nin nükleer santral alanlarında oluşabilecek potansiyel radyolojik kirliliğin dağılımını etkileyecek kararlılık şartlarını Pasquill-Gifford yöntemine göre belirlemektir. Literatürde üç nükleer santral alanındaki atmosfer kararlılığının ele alındığı herhangi bir çalışmanın bulunmayışı, araştırmanın özgün yanını ve literatüre katkısını oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular atmosferik dağılımın mevsimsel ve yıl içerisindeki desenleri hakkında öngörü sağlayacaktır.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırmanın yöntem bölümü santral alanlarının coğrafi özellikleri ve uygulanan metodolojiyi kapsayan iki alt başlıktan oluşmaktadır.

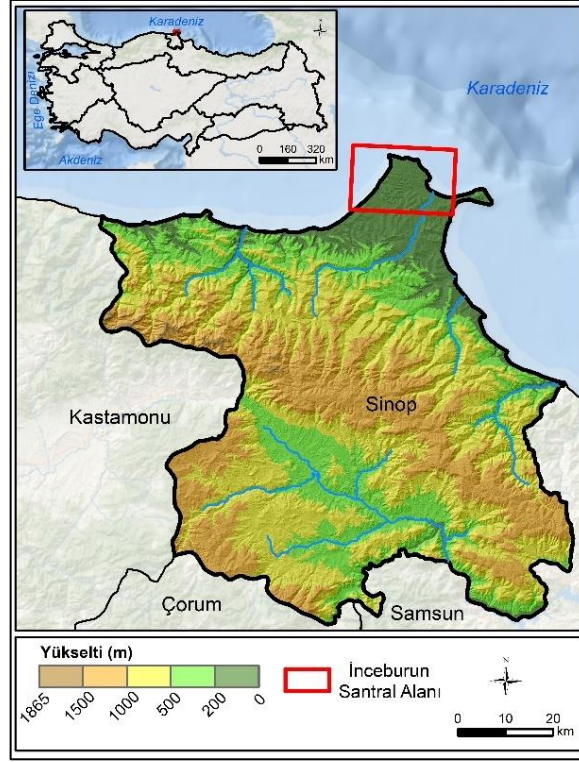
### 2.1. Nükleer Santral Alanları

Türkiye'de biri inşaat halinde, ikisi ise fizibilite aşamasında üç nükleer güç santrali projesi mevcuttur. Yapımı devam etmekte olan Akkuyu nükleer santral alanı Mersin ili, Gülnar ilçesi, Akkuyu sahasında yer alır (Şekil 3). Yeşilovacık, Büyükeceli ve Yanışlı santral çevresindeki en yakın yerleşimlerdir. Arazide ortalama yükselti 10 m'dir. Eğim ise % 20-30 arasında değişir (Anaş, 2017).



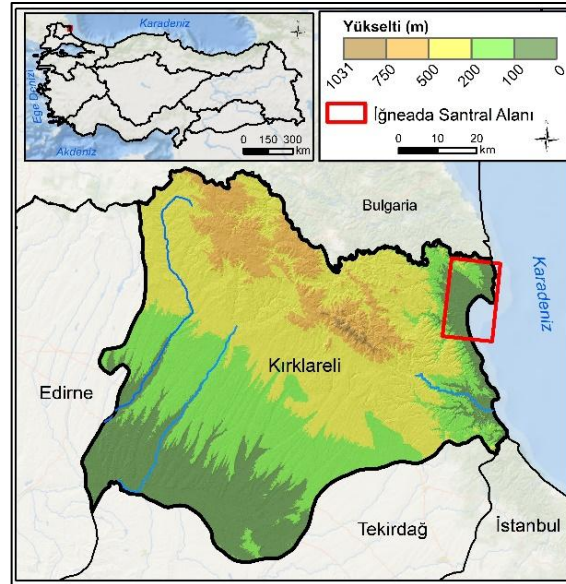
Şekil 3. Akkuyu nükleer santral alanı

İnceburun nükleer santral sahası, Sinop il merkezine yaklaşık 21 km uzaklıktaki yarımada üzerinde bulunur (Şekil 4). Santral inşasının düşünüldüğü alan, denizden birkaç metre yüksekliktedir. Yükselti güneydeki arazilere doğru kademeli olarak artar (Akkan, 1975).



Şekil 4. İnceburun nükleer santral alanı

İğneada nükleer santral alanı ise Kırklareli ili, Demirköy ilçesinde yer alır. Sahadaki engebe ve yükselti şartları denizden uzaklaştıkça artar. Batıda kuzeybatı-güneydoğu istikametinde uzanan Yıldız Dağları bulunur (Şekil 5).



Şekil 5. İğneada nükleer santral alanı

## 2.2. Veri İşleme Süreci ve Metodoloji

Araştırmada potansiyel radyolojik kirliliğin dağılımına etki edecek atmosfer kararlılık şartları Pasquill-Gifford sınıflandırmasına göre hesaplanmaktadır. Yöntem yer yüzeyine yakın seviyedeki meteorolojik ölçümleri dikkate alır. 10 m yükseltideki rüzgar hızı (m/s), güneş radyasyonu

(W/m<sup>2</sup>) ve gece bulutluluğu (Okta veya yüzde) kararlılık tespitinde kullanılan parametrelerdir (Pasquill, 1961; Essa vd., 2006). Hesaplama sonucunda A: Çok kararsız, B: Orta derecede kararsız, C: Az kararsız, D: Nötr, E: Orta derecede kararlı, F: Çok kararlı atmosfer şartlarını ifade etmektedir (Tablo 1).

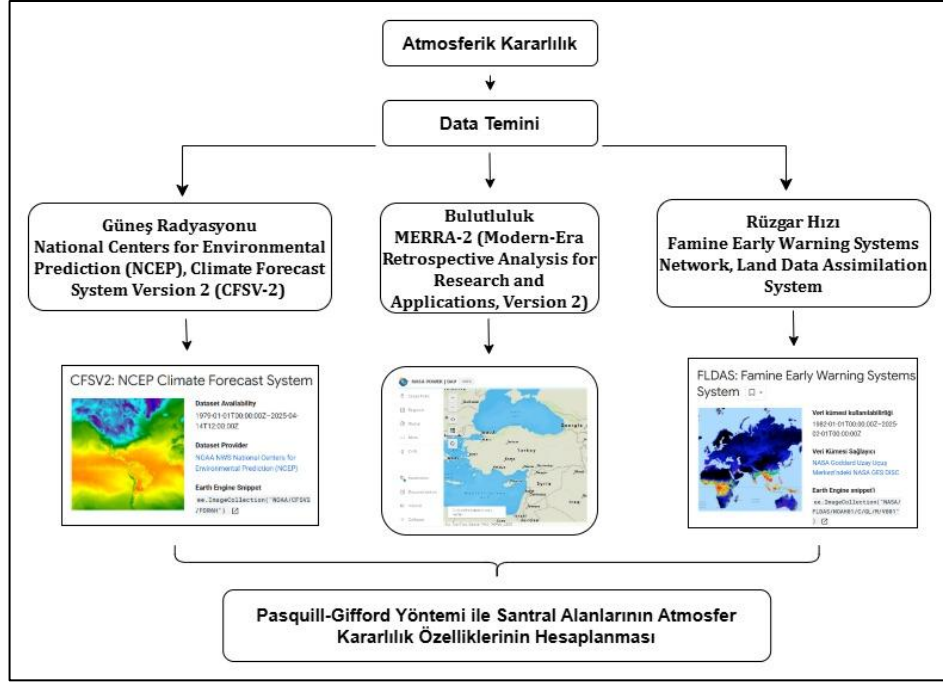
Tablo 1. Atmosfer kararlılık sınıflandırması (Pasquill-Gifford)

Rüzgâr Hızı (m/s)	Gündüz			Gece	
	Güneş Radyasyonu (W/m <sup>2</sup> )			Bulutluluk (8 Okta)	
	Güçlü >600	Orta 300-600	Zayıf <300	>4/8	<4/8
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Hesaplama kullanılan güneş radyasyonu ve rüzgar hızı verileri Google Earth Engine (GEE) bulut işletim sistemi data setlerinden elde edilmiştir. GEE, akademik çalışmalarda sıkça kullanılan bir mekânsal analiz platformudur. İşletim sistemi içerisinde uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen birçok veri kaynağı mevcuttur (Kumar ve Mutanga, 2018; Pérez-Cutillas vd., 2023). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Centers for Environmental Prediction (NCEP), Climate Forecast System Version 2 (CFSV-2) güneş radyasyonu verileri için yararlanılan data kaynağıdır (URL 1; Saha vd., 2014). Evrensel zaman dilimine göre günde dört defa (00:00, 06:00, 12:00, 18:00) kayıt alınmaktadır. Verilerin mekânsal çözünürlüğü 22264 metredir. Rüzgar hızı verileri Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (FLDAS) datarlarından elde edilmiştir. Aylık kayıtlardan oluşur. Verilerin mekânsal çözünürlüğü 11132 metredir (URL 2; McNally vd., 2017).

Gece koşullarında atmosfer kararlılığını belirlemek için kullanılan parametrelerden biri olan bulutluluk dataları, NASA (National Aeronautics and Space Administration) Prediction Of Worldwide Energy Resources'den alınmıştır (URL 3). Datasetlerdeki bütün veriler, temelde MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2) kaynağına dayanmaktadır. MERRA-2, 0.5° x 0.625° enlem ve boylam çözünürlüğüne sahip data katoloğudur (Gelaro vd., 2017). Veriler türüne göre günlük, aylık ve yıllık ortalama olarak alınabilmektedir (Şekil 6). Veri setlerinin zamansal çözünürlüğü ve Pasquill-Gifford yönteminin gece koşullarına ait kararlılık şartlarının tespitindeki eksiklikleri, araştırma metodolojisinin sınırlılıklarını oluşturur. Ayrıca çalışma radyoaktif izotopların dağılım modellemesini kapsamamaktadır.

Analizlerde 2024 yılı dataları kullanılmıştır. Güç santralleri çevresinde atmosfer kararlılık hesaplaması yapılacak alan belirlenirken, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun standartları (Emergency Planning Zones-yaklaşık 16 mil) dikkate alınmıştır (URL 4). Santral alanlarına ait kararlılık sınıflandırmaları yıllık, mevsimlik ve aylık ortalama olarak hesaplanmaktadır. Haritalamalarda Arc Map 10.4 programından yararlanılmıştır.



Şekil 6. Kararlılık hesaplamasında kullanılan data kaynakları ve iş akışı

### 3. BULGULAR

Araştırma bulguları her nükleer santral alanı için farklı atmosferik özelliklere ve kararlılık şartlarına sahiptir. Akkuyu çevresinde yıllık ortalama rüzgar hızı 4.3 m/s, güneş radyasyonu 315 W/m<sup>2</sup>, bulutluluk ise %41.7'dir (Tablo 2). Bu değerler orta kuvvette güneş radyasyonu ve rüzgar hızı ile 4 oktadan daha düşük bulutluluk anlamına gelir. İnceburun'da yıllık ortalama rüzgar hızı 4.9 m/s, güneş radyasyonu 254 W/m<sup>2</sup> ve bulutluluk %58.9'dur. İğneada santral alanı çevresinde ise yıllık ortalama rüzgar hızı 5.4 m/s, güneş radyasyonu 260 W/m<sup>2</sup>, bulutluluk %52.8'dir. Benzer iklim şartlarına bağlı olarak İnceburun ve İğneada sahalarında değerler birbirine yakındır. Ancak İğneada İnceburun'a göre daha rüzgarlı, bulutluluğu daha az ve güneş radyasyonu daha fazla bir alandır. Yine de her iki sahada yıllık ortalama değerler, zayıf güneş radyasyonu ve 4 oktadan daha yüksek bulutluluğu ifade etmektedir.

Atmosfer kararlılık hesaplamalarına göre Akkuyu nükleer santral alanı yıllık ortalama olarak gündüz koşullarında B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız), gece ise E (Orta derecede kararlı) sınıflandırması içerisinde yer alır (Tablo 3). Mevsimlik hesaplamalarda sonbahar gündüz C (Az kararsız), gece E (Orta derecede kararlı); kış gündüz C (Az kararsız), gece D (Nötr); ilkbahar gündüz B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız), gece E (Orta derecede kararlı); yaz gündüz B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız), gece E (Orta derecede kararlı) sınıfındadır. Güneş radyasyonunun daha kuvvetli olduğu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde kararsız atmosfer şartları oluşmaktadır. Gece koşullarında ise yıl içerisinde orta derecede kararlı durum hakimdir.

İnceburun nükleer santral sahası yıllık gündüz C (Az kararsız), gece D (Nötr) kararlılık şartlarına sahiptir (Tablo 4). Mevsimlik olarak sonbahar gündüz C (Az kararsız), gece D (Nötr); kış gündüz ve gece D (Nötr); ilkbahar gündüz B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız), gece D (Nötr); yaz gündüz B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız), gece E (Orta derecede kararlı) kategorisindedir. Yıl içerisinde gündüz süresinde az kararsız ve nötr atmosfer şartları yaygındır. Düşük güneş radyasyonu bu durumun temel sebebidir. Gecede ise nötr şartlar hakimdir.

Türkiye'nin Nükleer Santral Alanlarında Potansiyel Radyolojik Kirliliğin Dağılımını Etkileyecek Atmosfer Kararlılık Şartlarının Pasquill-Gifford Yöntemi ile Belirlenmesi

Tablo 2. Kararlılık sınıflandırmasında kullanılan meteorolojik parametrelerin nükleer santral alanlarına ait değerleri

Santral	Parametreler	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık Ort.
Akkuyu	Rüzgar Hızı (m/s)	4.8	3.9	4.7	3.7	4.2	3.9	4.5	4.5	4.1	4.0	4.8	4.4	4.3
	Güneş Rad. (W/m <sup>2</sup> )	143	226	323	370	442	466	451	412	343	272	194	134	315
	Bulutluluk (%)	63.8	60.7	54.3	49.9	40.7	25.4	18.8	19.0	23.4	39.1	48.2	57.4	41.7
İnceburun	Rüzgar Hızı (m/s)	5.8	5.5	4.9	5	4.5	4.2	4.9	4.1	4.1	4.9	5.3	5.6	4.9
	Güneş Rad. (W/m <sup>2</sup> )	96	161	222	320	381	455	389	381	287	168	103	82	254
	Bulutluluk (%)	79.4	77.8	72.4	63.7	57.7	41.4	29.3	31.0	46.4	61.5	69.8	76.3	58.9
İğneada	Rüzgar Hızı (m/s)	7.2	6.3	4.3	5.4	4.9	4.8	5.3	4.7	4.4	5.1	5.9	6.8	5.4
	Güneş Rad. (W/m <sup>2</sup> )	125	154	214	301	366	460	435	367	279	212	113	95	260
	Bulutluluk (%)	68.3	68	63.9	56.9	53.1	43.6	28.1	26.4	42.0	53.3	61.4	68.2	52.8

Tablo 3. Akkuyu nükleer santral alanı çevresinde atmosfer kararlılık şartlarının yıllık ve mevsimlik sınıflandırılması (Güneş R. = Güneş Radyasyonu, birim W/m<sup>2</sup>; Rüzgar H. =Rüzgar hızı, birim m/s; bulutluluk birimi %)

Mevsim	Parametre	Değer	Gündüz	Gece
Sonbahar	Bulutluluk	36.9		
	Güneş R.	269	C	E
	Rüzgar H.	4.3		
Kış	Bulutluluk	60.6		
	Güneş R.	168	C	D
	Rüzgar H.	4.4		
İlkbahar	Bulutluluk	48.3		
	Güneş R.	378	B-C	E
	Rüzgar H.	4		
Yaz	Bulutluluk	21.1		
	Güneş R.	443	B-C	E
	Rüzgar H.	4.3		
Yıllık Ort.	Bulutluluk	41.7		
	Güneş R.	315	B-C	E
	Rüzgar H.	4.3		

İğneada nükleer santral alanı yıllık değerlendirilmede, gündüz ve gece koşullarında D (Nötr) sınıfı içerisindedir (Tablo 5). Mevsimsel hesaplamalarda sonbahar-kış gündüz ve gece zaman dilimlerinde yıllık ortalamaya benzer şekilde D (Nötr); ilkbahar gündüz C (Az kararsız), gece D (Nötr); yaz gündüz B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız), gece E (Orta derecede kararlı) sınıfındadır. Sahada D (Nötr) kararlılık şartlarının egemen olduğu görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında rüzgar hızının genel olarak 5 m/s üzerinde olması etkilidir. Yüksek rüzgar hızı daha kararlı ve nötr şartlar meydana getirir.

Tablo 4. İnceburun nükleer santral alanı çevresinde atmosfer kararlılık şartlarının yıllık ve mevsimlik sınıflandırılması

Mevsim	Parametre	Değer	Gündüz	Gece
	Bulutluluk	59.3		
Sonbahar	Güneş R.	186	C	D
	Rüzgar H.	4.8		
	Bulutluluk	77.8		
Kış	Güneş R.	113	D	D
	Rüzgar H.	5.6		
	Bulutluluk	64.6		
İlkbahar	Güneş R.	308	B-C	D
	Rüzgar H.	4.8		
	Bulutluluk	33.9		
Yaz	Güneş R.	408	B-C	E
	Rüzgar H.	4.4		
	Bulutluluk	58.9		
Yıllık Ort.	Güneş R.	254	C	D
	Rüzgar H.	4.9		

Tablo 5. İğneada nükleer santral alanı çevresinde atmosfer kararlılık şartlarının yıllık ve mevsimlik sınıflandırılması

Mevsim	Parametre	Değer	Gündüz	Gece
	Bulutluluk	52.2		
Sonbahar	Güneş R.	201	D	D
	Rüzgar H.	5.2		
	Bulutluluk	68.2		
Kış	Güneş R.	125	D	D
	Rüzgar H.	6.8		
	Bulutluluk	58		
İlkbahar	Güneş R.	294	C	D
	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	32.7		
Yaz	Güneş R.	421	B-C	E
	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	52.8		
Yıllık Ort.	Güneş R.	260	D	D
	Rüzgar H.	5.4		

Türkiye'nin Nükleer Santral Alanlarında Potansiyel Radyolojik Kirliliğin Dağılımını Etkileyecek Atmosfer Kararlılık Şartlarının Pasquill-Gifford Yöntemi ile Belirlenmesi

Araştırmada atmosfer kararlılığının değerlendirildiği bir diğer zaman dilimi aylık ortalamalardır. Akkuyu'da gündüz süresinde güneş radyasyonunun artmaya başladığı mart ayından itibaren ekim ayına kadar daha kararsız atmosfer koşulları (B-C, orta derecede kararsız-az kararsız) oluşmaktadır (Tablo 6). Gecede ise kış aylarında D (Nötr), diğer aylarda ise E (Orta derecede kararlı) sınıfı yaygındır. C (Az kararsız) kararlılık sınıfı, kış aylarının gündüz zaman diliminde görülür.

Tablo 6. Akkuyu nükleer santral alanı çevresinde atmosfer kararlılık şartlarının aylık sınıflandırılması

Ay	Parametre	Değer	Gündüz	Gece
Ocak	Bulutluluk	63.8		
	Güneş R.	143	C	D
	Rüzgar H.	4.8		
Şubat	Bulutluluk	60.7		
	Güneş R.	226	C	D
	Rüzgar H.	3.9		
Mart	Bulutluluk	54.3		
	Güneş R.	323	B-C	D
	Rüzgar H.	4.7		
Nisan	Bulutluluk	49.9		
	Güneş R.	370	B-C	E
	Rüzgar H.	3.7		
Mayıs	Bulutluluk	40.7		
	Güneş R.	442	B-C	E
	Rüzgar H.	4.2		
Haziran	Bulutluluk	25.4		
	Güneş R.	466	B-C	E
	Rüzgar H.	3.9		
Temmuz	Bulutluluk	18.8		
	Güneş R.	451	B-C	E
	Rüzgar H.	4.5		
Ağustos	Bulutluluk	19		
	Güneş R.	412	B-C	E
	Rüzgar H.	4.5		
Eylül	Bulutluluk	23.4		
	Güneş R.	343	B-C	E
	Rüzgar H.	4.1		
Ekim	Bulutluluk	39.1		
	Güneş R.	272	C	E
	Rüzgar H.	4		

	Bulutluluk	48.2		
Kasım	Güneş R.	194	C	E
	Rüzgar H.	4.8		
	Bulutluluk	57.4		
Aralık	Güneş R.	134	C	D
	Rüzgar H.	4.4		

İnceburun santral sahasında gündüz süresinde, mayıs ayından başlayarak eylüle kadar B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) kararlılık sınıfı görülür (Tablo 7). Artan güneş radyasyonunun konvektif hareketi güçlendirmesi bu durumun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Kış aylarında D (Nötr), sonbahar aylarında ise C (az kararsız) sınıfı yaygındır. Gece koşullarında D (Nötr) ve E (Orta derecede kararlı) şartları hakimdir. Yaz aylarında etkili olan düşük rüzgar hızı ve bulutluluk daha kararlı koşulların oluşmasını sağlar.

Tablo 7. İnceburun nükleer santral alanı çevresinde atmosfer kararlılık şartlarının aylık sınıflandırılması

Ay	Parametre	Değer	Gündüz	Gece
	Bulutluluk	79.4		
Ocak	Güneş R.	96	D	D
	Rüzgar H.	5.8		
	Bulutluluk	77.8		
Şubat	Güneş R.	161	D	D
	Rüzgar H.	5.5		
	Bulutluluk	72.4		
Mart	Güneş R.	222	C	D
	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	63.7		
Nisan	Güneş R.	320	C-D	D
	Rüzgar H.	5		
	Bulutluluk	57.7		
Mayıs	Güneş R.	381	B-C	D
	Rüzgar H.	4.5		
	Bulutluluk	41.4		
Haziran	Güneş R.	455	B-C	E
	Rüzgar H.	4.2		
	Bulutluluk	29.3		
Temmuz	Güneş R.	389	B-C	E
	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	31		
Ağustos	Güneş R.	381	B-C	E
	Rüzgar H.	4.1		
	Bulutluluk	46.4		
Eylül	Güneş R.	287	C	E
	Rüzgar H.	4.1		
	Bulutluluk	61.5		
Ekim	Güneş R.	168	C	D

Türkiye'nin Nükleer Santral Alanlarında Potansiyel Radyolojik Kirliliğin Dağılımını Etkileyecek Atmosfer Kararlılık Şartlarının Pasquill-Gifford Yöntemi ile Belirlenmesi

	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	69.8		
Kasım	Güneş R.	103	D	D
	Rüzgar H.	5.3		
	Bulutluluk	76.3		
Aralık	Güneş R.	82	D	D
	Rüzgar H.	5.6		

İğneada santral alanında mayıs-ağustos döneminin gündüz süresinde B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) kararlılık sınıfı yaygındır (Tablo 8). Sonbahar ve kış aylarında D (Nötr) sınıfı görülür. Gece koşullarında ise yaz ayları dışında D (Nötr), yaz aylarında ise E (Orta derecede kararlı) sınıfı hakimdir. Yüksek rüzgar hızı, yıllık ve mevsimlik ortalamalara paralel şekilde aylık değerlendirmelerde de D (Nötr) kararlılık sınıfının daha sık görülmesine sebep olmaktadır.

Tablo 8. İğneada nükleer santral alanı çevresinde atmosfer kararlılık şartlarının aylık sınıflandırılması

Ay	Parametre	Değer	Gündüz	Gece
	Bulutluluk	68.3		
Ocak	Güneş R.	125	D	D
	Rüzgar H.	7.2		
	Bulutluluk	68		
Şubat	Güneş R.	154	D	D
	Rüzgar H.	6.3		
	Bulutluluk	63.9		
Mart	Güneş R.	214	C	D
	Rüzgar H.	4.3		
	Bulutluluk	56.9		
Nisan	Güneş R.	301	C-D	D
	Rüzgar H.	5.4		
	Bulutluluk	53.1		
Mayıs	Güneş R.	366	B-C	D
	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	43.6		
Haziran	Güneş R.	460	B-C	E
	Rüzgar H.	4.8		
	Bulutluluk	28.1		
Temmuz	Güneş R.	435	B-C	E
	Rüzgar H.	4.9		
	Bulutluluk	26.4		
Ağustos	Güneş R.	367	B-C	E
	Rüzgar H.	4.7		
	Bulutluluk	42		
Eylül	Güneş R.	279	C	E
	Rüzgar H.	4.4		
	Bulutluluk	53.3		
Ekim	Güneş R.	212	D	D

	Rüzgar H.	5.1		
	Bulutluluk	61.4		
Kasım	Güneş R.	113	D	D
	Rüzgar H.	5.9		
	Bulutluluk	68.2		
Aralık	Güneş R.	95	D	D
	Rüzgar H.	6.8		

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Radyolojik kirliliğin atmosferik dağılımı küresel boyutta çevre sorunlarına yol açmaktadır. Açığa çıkan radyonüklidlerin atmosferdeki davranışlarını yönlendiren en önemli etkenlerden biri, sahanın atmosfer kararlılık şartlarıdır. Bu araştırmada Türkiye'nin nükleer santral alanlarındaki atmosfer kararlılık şartları Pasquill-Gifford kararlılık kriterlerine göre yıllık, mevsimlik ve aylık ortalama olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan datalar uzaktan algılama kaynaklarına dayanmaktadır.

Akkuyu nükleer santral alanı çevresinde, yıl içerisinde gündüz koşullarında B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) kararlılık sınıfının hakim olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama, ilkbahar-yaz mevsimleri ve bu mevsimlere ait aylarda orta kuvvette hissedilen güneş radyasyonu konvektif hareketi destekler. Böylece atmosfer kararsızlığı artar. Bu şartlar altında radyonüklidlerin dağılımının daha önce Şekil 2'de ifade edilen türbülansif ve döngüsel bir desene benzemesi muhtemeldir. Bu dağılım şekli kirliliğin etkisinin daha az hissedildiği türdür. İkinci yaygın olan kararlılık sınıfı C'dir (Az kararsız). Sonbahar-kış mevsimleri ve bu mevsimlere ait aylarda görülür. Her iki kararlılık sınıfı da atmosfere karışacak radyonüklidlerin dağılımı açısından olumlu şartlar oluşturur. Geceyi oluşturan zaman diliminde ise sıcak dönemde E (Orta derecede kararlı), daha soğuk dönemi oluşturan kış mevsimi ve aylarında ise D (Nötr) sınıfı hakimdir. Gece koşullarında bulutluluğun ve rüzgar hızının azalması, havayı daha kararlı hale getirmektedir. Bu şartlar altında dikey yükselimin sınırlı olduğu, radyonüklidlerin daha çok rüzgarlar aracılığıyla yatay olarak taşınabildiği dağılım deseninin meydana gelmesi olasıdır.

İnceburun sahası gündüz süresinde yıllık ortalama ve sonbahar mevsiminde C (Az kararsız), kış mevsiminde D (Nötr), ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) kararlılık sınıfının hakimiyetindedir. İlgili mevsimlere ait aylarda da benzer özellikler görülür. Gece süresinde ise yılın genelinde D (Nötr) koşulları yaygındır. Bu sonuçlara göre sahada ilkbahar ve yaz mevsimleri radyonüklidlerin konvektif karışımına uygun zamanlardır. Sonbahar mevsimi az kararsız sınıfı ile dağılım açısından kısmen avantajlıdır. Yıl genelinde gece süresinde görülen D (Nötr) kararlılık şartları, dağılımın daha yatay ve tabakalı bir desene sahip olmasına sebep olacaktır.

İğneada nükleer santral alanında, gündüz şartlarında D (Nötr) kararlılık sınıfı görülmektedir. Yıllık ortalama, sonbahar-kış mevsimleri ve ayları D (Nötr) kategorisinde yer alır. İlkbaharda C (Az kararsız), yaz mevsiminde ise B-C (Orta derecede kararsız-az kararsız) sınıfı yaygındır. Düşük güneş radyasyonu ve özellikle yüksek rüzgar hızı, D (Nötr) koşullarının yıl içerisinde hakim olmasına sebep olmaktadır. Geceyi oluşturan zaman diliminde de yaz mevsimi dışında D (Nötr) kararlılık sınıfı görülür. Oluşan şartlar hem gündüz hem de gecede radyonüklidlerin dağılımını olumsuz etkileyecektir. Yaz mevsimi türbülansif dağılım deseni için en uygun zaman dilimidir. Yılın geriye kalan döneminde atmosferdeki dikey yükselimi ve dağılımı açısından uygun koşullar sınırlıdır.

Her üç nükleer santral alanındaki kararlılık koşulları karşılaştırıldığında, Akkuyu radyonüklidlerin dağılımı açısından daha avantajlı şartlara sahiptir. Gündüz süresinde kararsız atmosfer koşulları yaygındır. Bu durum kirleticilerin atmosferik dağılımını olumlu etkilemektedir. İnceburun ve İğneada santral alanları, birbirine yakın iklim şartlarına sahip olduğu için kararlılık özellikleri benzerdir. Ancak İğneada bölgesinde yaklaşık 5 m/s ve üzerinde olan rüzgar hızı, atmosferi daha kararlı hale getirmekte ve kirletici dağılımını sınırlamaktadır.

Sahaların hakim rüzgar yönleri ve topografik yapıları dikkate alındığında, Akkuyu çevresinde baskın kuzeydoğulu rüzgarlar kirleticileri ilk etapta Akdeniz üzerine doğru taşıyacaktır. Ancak deniz üzerinden gelen hava akımlarının genel olarak güney yamaçlara taşınım sağlaması muhtemeldir. Özellikle kuzeydoğu ve doğu istikametindeki sahalar, kirleticilerin yayılım alanları olacaktır. İnceburun çevresinde hakim batı sektörlü rüzgarlar, ilk taşınımı Karadeniz üzerine gerçekleştirecektir. Ancak ikinci hakim rüzgar yönü kuzeybatıdır. Bu da kirleticilerin başta Sinop il merkezi olmak üzere, Sinop ve Samsun'un sahil kuşağındaki ilçelerine doğru taşınması ihtimalini doğurur. Sahada kuzeybatı-güneydoğu uzanışlı topografik yapı bu dağılım desenini destekleyecek özelliktedir. İğneada çevresinde yaygın kuzeybatı sektörlü rüzgarlar kirleticileri Karadeniz'e doğru taşıyacaktır. Sürecin devamında etkili olacak kuzeyli rüzgarların taşınımı Marmara Bölgesi'nin kuzey kıyılarına doğru yönlendirmesi olasıdır. Çünkü sahada en etkili ikinci hakim rüzgar yönü kuzeydir.

Uzaktan algılama teknolojileri araştırmacılara önemli avantajlar sağlamasının yanı sıra bazı sınırlılıklara da sahiptir. Bu sınırlılıkların başında zamansal ve mekânsal çözünürlük problemleri gelir. Nükleer kirliliğin atmosferik dağılımını ve kararlılık şartlarını belirleyen meteorolojik özellikler kısa zaman-mekan içerisinde değişebilir. Araştırmada kullanılan güneş radyasyonu verileri (Climate Forecast System Version 2) 6'şar saatlik ara ile kaydedilen datalardan oluşur. Rüzgar hızı (Famine Early Warning Systems Network-Land Data Assimilation System) ve bulutluluk verileri (National Aeronautics and Space Administration-Prediction Of Worldwide Energy Resources) ise aylık ortalama kayıtlardır. Mevcut datasetleri ile sahalara ait kararlılık şartları ancak aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama olarak hesaplanabilmektedir. Kısa süre içerisinde değişebilen atmosferik özellikler canlı sağlığını etkileyecek dağılım desenini şekillendirir. Tüm bu koşullar dikkate alındığında, uydu kaynaklarından elde edilen sonuçların yersel gözlemler ve farklı metotlarla yapılan hesaplamalar ile desteklenmesi gerekir. Farklı metodolojilerde (Bulk Richardson Number, Monin-Obukhov Uzunluğu, Richardson Number, Turner, Vogt yöntemleri gibi) yer yüzeyine yakın yükselti seviyelerindeki (10 m, 50 m, 60 m, 100 m) meteorolojik kayıtlara ihtiyaç duyulur. Bu da ancak ravinsonde kayıtları ve benzer ölçüm sistemleri ile sağlanabilir. Oysa her üç nükleer santral alanında ravinsonde kayıtlarından öte, normal meteoroloji istasyonu bulunmamaktadır. Mevcut istasyonlar sahaların yakın çevresinde yer alır. Ayrıca günümüzde farklı şehirlerde mevcut olan ravinsonde istasyonu kayıtlarının, dikeyde kayıt aldığı yükselti seviyelerinde bir standart yoktur. Nükleer kirlilik gibi hayati önem taşıyan bir konuda tüm önlemlerin önceden alınması daha doğru bir yaklaşımdır. Bu nedenle her üç sahaya da zamansal ve mekânsal çözünürlük standartlarına sahip ravinsonde istasyonlarının ve ölçüm sistemlerinin kurulması gerekir. Rüzgar hızı ve yönü radyonüklidlerin dağılımı ile atmosfer kararlılık şartlarının tespitinde önemli parametrelerdendir. Güneş radyasyonu ve bulutluluk kısa mesafelerde fazla değişim göstermezken, rüzgar hızı ve yönü yükselti ile engebe değişimlerine duyarlıdır. Bu nedenle ölçüm istasyonlarının mümkün olduğunca santral alanına yakın ve benzer topografik özelliklere sahip alanlara kurulmasına dikkate edilmelidir. Çalışma kapsamındaki önemli sınırlılıklardan bir diğeri, kararlılık tespitinde kullanılan dataların sadece 2024 yılına ait olmasıdır. Ayrıca bulgular radyonüklidlerin dağılım simülasyonunu içermemektedir. Her iki durum da araştırmaya ait önemli eksikliklerdir. Daha uzun süreli veri setlerinin kullanıldığı ve dağılım simülasyonlarını kapsayan sonuçlar araştırma güvenilirliğini artıracaktır.

Çalışmada kullanılan yöntemle ilgili alanyazın incelendiğinde He vd., (2024), Çin'in Daya körfezinde radyoniklid dağılımı ve doz değerlendirmesi yaptıkları çalışmalarında, bulutsuların Pasquill-Gifford kararlılık sınıflandırma sonuçlarına paralel şekilde hareket ettiklerini dile getirmişlerdir. Bulhosa vd., (2020), olası bir radyolojik olayda insan sağlığı üzerinde etkili olacak dağılımı ve kanser riskini Pasquill-Gifford yöntemine göre ele almışlar ve ilgili metodolojinin radyoaktif kirleticilerin dağılımının öngörülmesinde etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Chambers (2016), Pasquill-Gifford yönteminin potansiyel radyolojik dağılımı etkileyecek kararlılık şartlarının belirlenmesinde başarılı olduğunu, ancak aşırı kararlı gece koşullarında farklı yöntemlerle desteklenmesi gerektiğini ifade etmektedir. Alanyazın araştırmalarındaki mevcut sonuçlar, ilgili metodolojinin bu araştırmada da kullanımının haklılığını ortaya koymaktadır. Ulusal literatürde Türkiye'nin üç nükleer santral alanında kararlılık şartlarının yıl içerisindeki değişiminin tespit edildiği bir araştırma yoktur. Bu durum araştırmanın özgünlüğünü ve alana katkısını artırmakla birlikte, sonuçların mukayese imkanını sınırlandırmaktadır. Araştırma bulguları nükleer santral çevresindeki sahalara ait risk bölgelerinin belirlenmesinde, tahliye ve şehir gelişim planlamalarında, tarımsal üretimde, doğal ortamın korunmasında ve her türlü güvenlik önleminin alınmasında karar vericilere yol gösterecektir. Örneğin bulgular Akkuyu'da taşınım istikametindeki Silifke Ovası'nda yapılacak tarımsal planlamalarda Tarım ve Orman Bakanlığı başta olmak üzere yerel yönetimlerce kullanılabilir. Benzer şekilde İnceburun'da Sinop il merkezi ve sahil ilçelerinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından gerçekleştirilecek yerleşim planlamalarında faydalanılabilir. İğneada'da risk altındaki kuzey Marmara kıyıları ve her üç alanda acil tahliye planlamalarının oluşturulmasında İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nca değerlendirilebilir.

Gerçekleştirilecek bu tür araştırmalar, Türkiye'nin nükleer enerji alanındaki atılımlarının daha bilimsel ve sağlam bir zeminde ilerlemesine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Akkan, E. (1975). Sinop Yarımadasının Jeomorfolojisi. Ankara: Ankara Üniversitesi Dil Tarih Coğrafya Fakültesi Yayınları. Ankara Üniversitesi Basımevi.

Anaş. (2017). Akkuyu Nükleer Güç Santrali, Saha Parametreleri Raporu. Ankara.

Andrews, D. . (2010). An Introduction to Atmospheric Physics (Second Edi). New York: Cambridge University Press The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.

Bardal, L. M., Onstad, A., Sætran, L., ve Lund, J. (2018). Evaluation of methods for estimating atmospheric stability at two coastal sites. *Wind Engineering*, 42, 0309524X1878037. <https://doi.org/10.1177/0309524X18780378>

Bulhosa, V., Funcke, R., Brum, T., Sanchez, J., Lima, Z., Vital, H., Andrade, E. (2020). Solid cancer risk dependence on the Pasquill-Gifford atmospheric stability classes in a radiological event. *Radiation and Environmental Biophysics*, 59. <https://doi.org/10.1007/s00411-020-00840-3>

Camuffo, D. B. T.-D. in A. S. (Ed.). (1998). Chapter 7 Atmospheric stability and pollutant dispersion. *İçinde Microclimate for Cultural Heritage* (C. 23, ss. 195-234). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-5117\(98\)80010-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5117(98)80010-4)

Chambers, S. D., Galeriu, D., Williams, A. G., Melintescu, A., Griffiths, A. D., Crawford, J., ... Zorila, B. (2016). Atmospheric stability effects on potential radiological releases at a nuclear research facility in Romania: Characterising the atmospheric mixing state. *Journal of Environmental Radioactivity*, 154, 68-82. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.01.010>

Dvorak, P., Mazanek, M., ve Zvanovec, S. (2012). Short-term Prediction and Detection of Dynamic Atmospheric Phenomena by Microwave Radiometer. *Radioengineering*, 21, 1060-1066.

Edokpa, D., ve Nwagbara, M. (2017). Atmospheric Stability Pattern over Port Harcourt, Nigeria. *Journal of Atmospheric Pollution*, 5, 9–17. <https://doi.org/10.12691/jap-5-1-2>

Essa, K. S. ., Embaby, M. ., Kozae, A. ., Mubarak, F., ve Kamel, I. (2006). Estimation of Seasonal Atmospheric Stability and Mixing Height by Using Different Schemes. VIII Radiation Physics and Protection Conference, 13-15 November. Fayoum, Egypt.

Fattah, A., Mohammed, S., ve Hussain, H. (2014). Atmospheric Stability and Its Effect on The Polluted Columns of Concentrations in North West of Baghdad City. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10928.00006>

Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., ... Zhao, B. (2017). The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 30(14), 5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>

Gómez-Moreno, F. J., Pujadas, M., Plaza, J., Rodríguez-Maroto, J. J., Martínez-Lozano, P., ve Artíñano, B. (2011). Influence of seasonal factors on the atmospheric particle number concentration and size distribution in Madrid. *Atmospheric Environment*, 45(18), 3169–3180. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.041>

Haklander, A., ve van Delden, A. (2014). Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. *Atmospheric Research*, 67–68, 273–299. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00056-5)

He, S., Zhao, Z., Ni, S., Deng, W., ve Zhao, J. (2024). A CFD study on radionuclides diffusion and dose assessment in Daya Bay nuclear power plant. *Progress in Nuclear Energy*, 173, 105271. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105271>

Hu, T., ve Yoshie, R. (2020). Effect of atmospheric stability on air pollutant concentration and its generalization for real and idealized urban block models based on field observation data and wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 207, 104380. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104380>

Huertas, J. I., Martinez, D. S., ve Prato, D. F. (2021). Numerical approximation to the effects of the atmospheric stability conditions on the dispersion of pollutants over flat areas. *Scientific Reports*, 11(1), 11566. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89200-9>

Jayakrishnan, P. R., ve Babu, C. A. (2014). Assessment of Convective Activity Using Stability Indices as Inferred from Radiosonde and MODIS Data. *Atmospheric and Climate Sciences*, 04, 122–130. <https://doi.org/10.4236/acs.2014.41014>

Kumar, L., ve Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>

Lai, H.-C., Dai, Y.-T., Mkasimongwa, S. W., Hsiao, M.-C., ve Lai, L.-W. (2023). The Impact of Atmospheric Synoptic Weather Condition and Long-Range Transportation of Air Mass on Extreme PM10 Concentration Events. *Atmosphere*, C. 14. <https://doi.org/10.3390/atmos14020406>

Lee, S.-C., Yoon, D.-J., ve Song, D.-S. (2014). Atmospheric stability classification of dispersion factor for radiological analysis at Yonggwang site in Korea. *International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, ICAPP 2014*, 2, 921–929.

Lee, W. M. (1985). Application of Monin-Obukhov length in the atmospheric stability class determination for air dispersion models.

Maro, D., Crabol, B., Germain, P., Barón, Y., Hebert, D., ve Bouisset, P. (2002). A study of the near field atmospheric dispersion of emission at height: Comparison of Gaussian plume models (Doury, Pasquill-Briggs, Caire) with krypton-85 measurements taken around La Hague nuclear reprocessing plant. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2002160>

- Matthew, O., Abiye, O., ve Ayoola, M. (2021). Assessment of static stability indices and related thermodynamic parameters for predictions of atmospheric convective potential and precipitation over Nigeria. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133. <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00772-z>
- Mayhoub, A. B., Essa, K. S. M., ve Aly, S. (2004). Analytical form of pollutants dispersion for different atmospheric conditions. 4. Conference and Workshop on Cyclotrons and Applications, 388–397. Cairo, Egypt.
- McDougall, T. J., ve Feistel, R. (2003). What causes the adiabatic lapse rate? *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 50(12), 1523–1535. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2003.09.007>
- Mcnally, A., Arsenault, K., Kumar, S., Shukla, S., Peterson, P., Wang, S., ... Verdin, J. (2017). A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications. *Scientific Data*, 4, 170012. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.12>
- Mohan, M., ve Siddiqui, T. A. (1998). Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. *Atmospheric Environment*, 32(21), 3775–3781. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00109-5)
- Muhammad, H., Xuan, W., Mingjun, W., ve Su, G. (2025). Review of spatial scale dispersion models (ATDMs) to simulate environmental dispersion and deposition of radionuclides and the overview of GIS coupling with dispersion models. *International Journal of Advanced Nuclear Reactor Design and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jandt.2025.03.004>
- Mukherjee, S., ve Mishra, A. K. (2021). Cascading effect of meteorological forcing on extreme precipitation events: Role of atmospheric rivers in southeastern US. *Journal of Hydrology*, 601, 126641. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126641>
- Nakyai, T., Santasnachok, M., Thetkathuek, A., ve Phatrabuddha, N. (2025). Influence of meteorological factors on air pollution and health risks: A comparative analysis of industrial and urban areas in Chonburi Province, Thailand. *Environmental Advances*, 19, 100608. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100608>
- Pasquill, F. (1961). The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorology Magazine*, 8(11), 33–40.
- Pérez-Cutillas, P., Pérez-Navarro, A., Conesa-García, C., Zema, D. A., ve Amado-Álvarez, J. P. (2023). What is going on within google earth engine? A systematic review and meta-analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100907>
- Reda, E., Mahmood, W. M. F., Zulkifli, R., ve Harun, Z. (2018). CFD Simulation of Automotive Pollutant Dispersion in High-Rise Building Urban Environment Under Deeply Stable Atmospheric Condition. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7, 5–14. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.17.16612>
- Rohli, R., ve Li, C. (2021). Atmospheric Stability and Potential Temperature. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-73093-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-73093-2_8)
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., ... Becker, E. (2014). The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate*, 27(6), 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Sedefian, L., ve Bennett, E. (1980). A comparison of turbulence classification schemes. *Atmospheric Environment* (1967), 14(7), 741–750. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(80\)90128-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(80)90128-6)
- Seigneur, C. (Ed.). (2019). *Atmospheric Dispersion. İçinde Air Pollution: Concepts, Theory, and Applications* (ss. 95–124). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108674614.006>
- Till, J. E., ve Meyer, H. R. (1983). *Radiological Assessment, A Textbook on Environmental Dose Analysis*. Washington: U.S. Nuclear Regulatory Commission.

URL 1, [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA\\_CFSV2\\_FOR6H#description](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_CFSV2_FOR6H#description). Erişim Tarihi: 10.03.2025

URL 2, [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA\\_FLDAS\\_NOAH01\\_C\\_GL\\_M\\_V001#description](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_FLDAS_NOAH01_C_GL_M_V001#description). Erişim Tarihi: 10.03.2025

URL 3, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Erişim Tarihi: 10.03.2025

URL 4, IAEA, International Atomic Energy Agency, "Report from Working Group on Emergency Planning Zone," <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-iv-29012018.pdf>. Erişim Tarihi: 10.03.2025

Vallero, D. A. (2024). Chapter 14 - Air pollution dispersion models (D. A. B. T.-A. P. C. (Second E. Vallero, Ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13987-1.00022-3>

Wu, F., Meng, B., Lian, B., Wang, Y., ve Kang, J. (2024). Assessment of radiological environmental impact under various meteorological condition. *Thermal Science*, 28, 2225–2231. <https://doi.org/10.2298/TSCI2403225W>

Ye, W., Yu, Y., ve Cao, J. (2024). Region-dependent meteorological conditions of thunderstorm based on clustering analysis of stability and precipitable water indices. *International Journal of Climatology*, 44, 2650–2665. <https://doi.org/10.1002/joc.8473>