

# Termodinamik İndekslerin ve Atmosferik Kararlılık Parametrelerinin Oraj Hadiselerinin Tahmininde Performans Analizi: Samsun Örneği

Ahmet Can Kaya<sup>1</sup>, Veli Yavuz<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun.

## Özet

Bu çalışmada Samsun radyozonde istasyonu verileri ve Samsun Çarşamba Havalimanı havacılık rasatları kullanılarak, 2018-2022 yılları arası beş yıllık periyot için termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin oraj tahminindeki performansını analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametreleri; Showalter Index (SI), Lifted Index (LI), Severe Weather Threat Index (SWEAT), K-Index (KI), Totals Totals Index (TTI), Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN) ve Bulk Richardson Number (BRN)'dir. İndeks ve parametrelerin oraj olaylarını tahmin etme başarısını ölçmek için Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Miss Rate (MR), Critical Success Index (CIS), Hiedke Skill Score (HSS) ve True Skill Score (TSS) gibi istatistiksel başarımlar testleri uygulanmıştır. Analizler R programlama dili ve Excel kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara göre; oraj tahmininde en başarılı indeks SI olurken, CAPE ve BRN parametrelerinin başarısı en düşük olmuştur. Tüm bu analizler sonucunda orajların çoğunluğunun yılın en sıcak aylarında ve günün en sıcak saatlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum orajların çoğunluğunun ısınma nedeniyle gerçekleştiğini gösterir. Bazı olaylarda indeks ve parametreler oraj oluşumu için belirlenen eşik değerine dahi ulaşamamıştır. İndeks ve parametrelerin, eşik değerleri Samsun için optimize edildiği takdirde tahmin başarısının daha da artacağı ortadadır. Ayrıca bu indeks ve parametreleri tek başına kullanarak oraj tahmini yapmak yerine birden fazla indeks ve parametre değerlendirilerek yapılacak tahminler tutarlılığı artıracak ve daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

## Anahtar Sözcükler

Oraj, Kararlılık Parametreleri, Termodinamik İndeksler, CAPE, BRN, Samsun

## Performance Analysis of Thermodynamic Indices and Atmospheric Stability Parameters in Thunderstorm Prediction: The Case of Samsun

### Abstract

In this study, the performance of thermodynamic indices and atmospheric stability parameters in thunderstorm prediction was analyzed for a five-year period between 2018 and 2022 using data from Samsun radiosonde station and aviation observations from Samsun Çarşamba Airport. The thermodynamic indices and atmospheric stability parameters used in the study are Showalter Index (SI), Lifted Index (LI), Severe Weather Threat Index (SWEAT), K-Index (KI), Totals Totals Index (TTI), Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN), and Bulk Richardson Number (BRN). Statistical performance tests such as Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Miss Rate (MR), Critical Success Index (CIS), Hiedke Skill Score (HSS), and True Skill Score (TSS) were used to measure the success of the indices and parameters in predicting thunderstorm events. The analyses were performed using R and Excel. According to the results, the most successful index in thunderstorm prediction was SI, while the performance of CAPE and BRN parameters was the lowest. Based on all these analyses, it is observed that the majority of thunderstorms occur during the hottest months of the year and the hottest hours of the day. This indicates that most thunderstorms occur due to heating. In some events, the indices and parameters did not even reach the threshold value determined for thunderstorm formation. It is obvious that the prediction accuracy will be further improved if the thresholds of the indices and parameters are optimized for Samsun. Furthermore, evaluating multiple indices and parameters instead of relying on a single index or parameter for thunderstorm prediction will increase consistency and lead to more accurate results.

### Keywords

Thunderstorm, Stability Indices, Thermodynamic Indices, CAPE, BRN, Samsun

## 1. Giriş

Oraj, gökgürültülü şimşekli konvektif fırtına kısaca gökgürültülü fırtına anlamına gelmektedir. İngilizce'de thunder ve storm kelimelerinin birleşimi olan thunderstorm (TS) olarak ifade edilmektedir. Atmosferdeki elektriksel deşarjların ve şiddetli hava olaylarının bir sonucu olarak meydana gelen orajlar için nem, kararsız atmosfer koşulları, yükselici

hareketler ve rüzgar kaymaları uygun koşulları meydana getirmektedir. Orajlar genellikle sıcak ve nemli hava kütlesi ile soğuk hava kütlesi arasındaki karşılaşmanın bir sonucu olarak meydana gelir. Öncelikle sıcak ve nemli hava kütlesi bir bölgede toplanır. Sonrasında ısınan nemli hava kütlesi yükselirken nem de bu hava kütlelerinde yoğunlaşır. Isınan ve nemlenen hava, genellikle bir soğuk hava kütlesi veya başka bir atmosferik fenomen yardımıyla yükselmeye zorlanır. Havanın yükselmesi, hava kütlesi içindeki nemin yoğunlaşmasına ve yükselme sürecinin başlamasına yol açar. Yükselen hava yoğunlaşırken, su buharını içeren bulutları oluşturur. Bu bulutlar genellikle kümülonimbus bulutları olarak bilinir. Bu bulutlar, yükselen hava nedeniyle yüksekliği hızla artan büyük bulutlardır. Bulutlar içerisinde yükselen hava, içindeki su damlacıklarıyla birlikte yükselirken, farklı elektriksel yüklü parçacıkların sürtünmesine yol açar. Bu sürtünme, bulut içinde ve bulutla yer arasında elektriksel yüklenmeye sebep olur. Negatif yükler genellikle bulutun alt kısmında birikirken, pozitif yükler üst kısmında birikir. Elektriksel yüklenme arttıkça, bu yükler arasında büyük bir elektriksel deşarj meydana gelir. Bu deşarjlar şimşek olarak görünür ve eşlik eden ses, yani gökgürültüsü, bu elektriksel deşarjın hızlı genişlemesi nedeniyle oluşur. Oraj sırasında, bulutlar içindeki nem yoğunlaşarak yağış damlacıklarına dönüşür. Bu yağış damlacıkları yağmur, dolu veya buz taneleri şeklinde yere düşer (Yavuz vd., 2022). Oraj hadisesi etkilediği bölgede gökgürültüsü, şimşek ve yıldırım ile gerçekleşir. Genellikle kuvvetli yağmur ve dolu sağanaklarına, nadir olarak kar sağanaklarına neden olabilir. Bu olaylar kuvvetli rüzgar ve hatta hortumlarla birleştiğinde çok yıkıcı, can ve mal kaybına sebep olan afet boyutunda hava koşulları oluşturabilmektedir (Türkeş, 2015; Özdemir vd., 2017).

Orajin olumsuz etkilerine karşı önlem alabilmek için önceden tahmin edilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Meteoroloji uzmanları oraj oluşumunu hızlı bir şekilde tahmin edebilmek için termodinamik indeksler ve atmosferik kararlılık parametrelerini kullanmaktadır (Tyagi vd., 2011; Yavuz vd., 2020; Yavuz vd., 2022). Termodinamik indekslerin ve atmosferik kararlılık parametrelerinin orajın tahmininde önemli bir rol oynadığı açıktır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda oraj tahmini için daha tutarlı yöntemler geliştirebilmesi için bu indeks ve parametrelerin araştırılması gerekmektedir.

Umakanth vd. (2020) tarafından Hindistan Anakapalle, Visakhapatnam bölgesi için hazırlanan çalışma oraj sırasında çeşitli termodinamik kararlılık parametrelerinin analizlerini ve yağışla olan ilişkisini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, orajların oluşumuyla termodinamik kararsızlık arasında güçlü bir bağlantı bulunmuştur. Çalışma öncesinde KI (K-Index) parametresi oraj aktivitesinde daha güvenilir bulunurken, yapılan analizler sonucunda 2001'den 2010'a kadar Anakapalle bölgesi üzerinde gerçekleşen oraj aktivitesi için DCI (Deep Convective Index) parametresi daha güvenilir sonuçlar göstermiştir.

Sahu vd. (2020a) tarafından Hindistan'ın doğusundaki üç tropik istasyonda, muson öncesi oraj mevsiminde termodinamik indekslerin eşik değerlerinde iklim değişikliğinin etkisini incelemiştir. Bhubaneswar istasyonunda orajlı günlerde yüksek CAPE (Convective Available Potential Energy), SWEAT (Severe Weather Threat Index) ve düşük LI (Lifted Index) değerleri gözlenmiştir. Analizler 1987'den 2006'ya kadar gece saatlerinde orajın arttığını göstermektedir (00 UTC için CIN (Convective Inhibition)'de azalma CAPE'de artış). Kolkata (Kalküta) istasyonunda CAPE eşik değerleri artıyor ve CIN eşik değerleri azalırken, LI parametresinin eşik değeri 12 UTC için azalmaktadır. Ranchi istasyonunda LI eşik değerleri 00 UTC için artarken, 12 UTC için azalış göstermektedir. Potansiyel kararsızlık indeksleri (SI (Shawalter Index), VTI (Vertical Totals Index), CTI (Cross Totals Index) ve TTI (Totals Totals Index) her iki zaman dilimi için eşik değerlerinde azalma göstererek, çalışma dönemi boyunca Ranchi'de oraj potansiyelinin arttığını belirtmektedir. CAPE hem 00 hem de 12 UTC için artış göstermektedir. Değerler, atmosferin her zaman oraj oluşumu için elverişli olmasına rağmen, 12 UTC gözlemlerinin 00 UTC'ye göre daha fazla oraj oluşma ihtimali olduğunu göstermektedir.

Koutavarapu vd. (2021a) tarafından Andaman Nicobar (AND) ve Lakshadweep (LAK) adaları üzerindeki 2019'daki şiddetli konveksiyon sırasında termodinamik indekslerin etkisi incelenmiştir. KI ve TTI parametreleri muson öncesi mevsimde, konvektif sistemlerin yüksek frekanslı olduğunu göstermektedir. Tüm mevsimlerde, AND bölgesine kıyasla LAK bölgesinde CAPE değerleri daha güçlüdür. CAPE değerleri muson öncesi mevsimde 2500 J/kg üzerindeyken, muson mevsiminde 2000 J/kg üzerindedir. LI parametresi orta şiddette konveksiyon oluşumu için başarılı tahminler yapmaktadır. K indeksi çalışma alanındaki diğer tüm indekslerden daha doğru konvektif aktivite tahmini yaptığı görülmüştür.

Koutavarapu vd. (2021b) ERA5 reanaliz verilerini kullanarak 2011'den 2020'ye kadar muson mevsiminde, Bangladeş'teki Khulna bölgesi üzerindeki oraj parametrelerini incelemiştir. Yapılan analizlerde TTI, KI ve SI indekslerinin, bazen önerilen eşik değer altında oraj meydana geldiği görülmüştür. HI (Humidity Index), LI, TPW (Total Precipitable Water), CAPE ve DCI (Deep Convective Index) parametreleri musonla ilişkili oraj oluşum aktivitelerini analiz etmede çok etkilidir. KI, TTI ve SI parametreleri orta şiddette orajların oluşma olasılığını daha fazla göstermiştir. Son 10 yılda Bangladeş'te oraj daha yaygın hale gelmiştir.

Tyagi vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada çeşitli termodinamik indekslerin oraj tahminindeki başarısı Kolkata kenti için analiz edilmiştir. Analiz sonrasında bir indeksin tek başına orajı tahmin edemediği tespit edilmiştir. Çalışma 12 UTC zaman diliminde gerçekleşen orajlar için yapılmıştır. En yüksek başarıya sahip indeksler KI, DCI, SWEAT, DEW (Dew point temperature at 850 hPa), HI, RH (Relative humidity at 700 hPa), LI, TTI olurken, en düşük başarıya sahip indeksler CAPE ve BRN (Bulk Richardson Number) olmuştur. Çalışma sonucunda, analiz edilen indekslerin oraj tahminindeki başarısının iyi olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli indekslerin değeri, eşik değerinin altında olmasına rağmen oraj oluşumu olduğu görülmüştür.

Arora vd. (2023) tarafından yapılan araştırmada kararsızlık indeksleri SI, LI, KI, TTI, CAPE ve CIN altı lokasyonda (Bangalore, Delhi, Goa, Jodhpur, Patiala ve Patna) orajlı zamanlarda 2013'ten 2015'e kadar üç yıllık sürede analiz edilmiştir. Bangalore için tahmin başarısı en yüksek indeks TTI, Delhi için TTI ve SI, Jodhpur, Patiala ve Patna için KI olmuştur. Bu bulgular Hindistan'ın çeşitli bölgelerinde oraj tahmin sistemi geliştirmek için önem arz etmektedir.

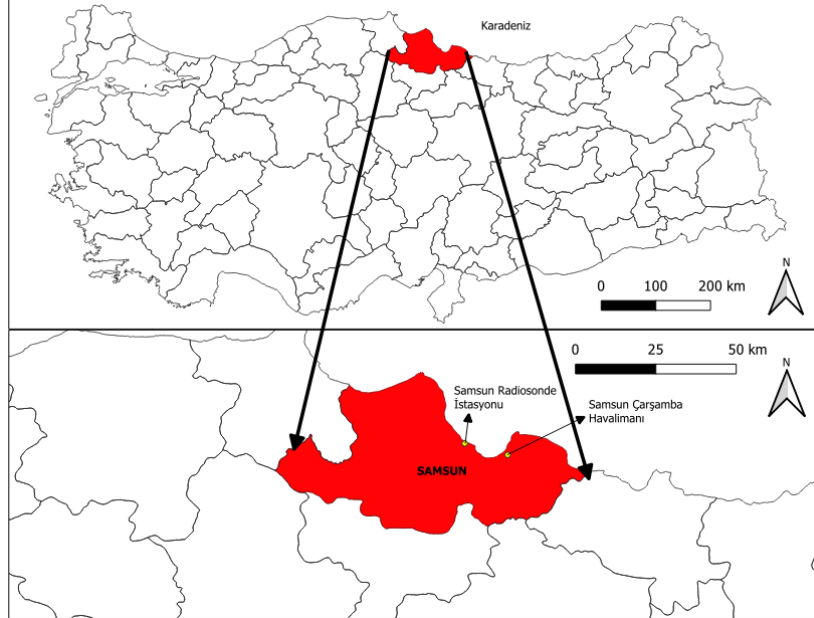
Kunz (2007) tarafından yapılan çalışmada Almanya'daki Baden-Württemberg eyaletinde 12 UTC'deki radyozonde rasatlarından elde edilen konvektif indekslerin oraj anındaki başarısını test etmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada oraj tahmini için en iyi sonuçları veren indeks, POD, FAR, HSS ve TSS testlerinin sonuçlarına göre %80 başarı ile LI olmuştur.

Sahu vd. (2020b) tarafından yapılan çalışmada Agartala ve Guwahati lokasyonları için 30 yıllık (1987-2016) radyozonde verileri kullanılarak çeşitli termodinamik indekslerin orajlı ve orajsız zamanlardaki eşik değerlerinin değişimi analiz edilmiştir. Eşik değerler 12 UTC için kesin bir değişiklik gösteriyorken 00 UTC için daha az değişim göstermektedir. Guwahati için daha iyi performans gösteren indeksler LI, SHOW, CAPE, CTI ve BRN olurken, Agartala için LI, SI, CAPE DEW ve CTI olmuştur. SWEAT, Agartala'da hem 00 hem de 12 UTC için düşüş eğilimi, Guwahati'de 12 UTC için eşik değerinde artış göstermektedir. Bu Agartala üzerindeki orajların şiddetini kaybettiğini, Guwahati üzerinde ise gündüzleri şiddetli hale geldiği anlamına gelmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Çalışma Alanı

Samsun, Türkiye'nin kuzeyinde bulunan, Kızılırmak ve Yeşilirmak deltalarının arasında sahil kesiminde yer alan ve Türkiye Cumhuriyeti'nin temellerinin atıldığı, Orta Karadeniz Bölgesi'nin kültürel ve sosyal yönden en önemli şehirlerinden biridir. Kıyı şeridinde paralel gelişen bir şehirleşme vardır. İklim bakımından doğu ve batı kısımlara göre farklılıklar göstermektedir. Doğu Karadeniz boyunca uzanan sıra dağlar Samsun ve çevresinde içeride kalmakta ve yükseklikleri azalmaktadır. Bu yüzden orografik yağışlar, doğu ve batı kıyı şeridinde göre daha azdır. Yazları fazla sıcak, kışları ise fazla soğuk geçmemektedir (Kosif, 2001). Şehirde, Çarşamba ilçesinde bulunan tek bir havalimanı vardır. Radyozonde istasyonu havalimanının yaklaşık 27 kilometre batısında, Atakum ilçesinde kalmaktadır. Hem havalimanı hem de radyozonde istasyonu deniz seviyesinde ve denize çok yakın konumdadır. Çalışmada kullanılan veriler harita üzerinde işaretli istasyonlardan temin edilmiştir. Şehrin konum bilgileri, havalimanı ve radyozonde istasyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

### 2.2 Yöntem

Bu çalışmada ilk olarak oraj hadiseleri (TS), elde edilen METAR (Meteorological Terminal Air Report) verileri kullanılarak belirlenmiştir (Iowa State University, 2023). TS olayları belirlenirken METAR rasatlarından tüm TS türleri (TS, TSRA, TSSN, TSSNRA, VCTS, TSQLS, TSGR, TSGRRA, TSSHRA) excel yardımıyla filtrelenerek çekilmiştir. Bir TS olayı tanımlamak için, rapor edilen TS kodları arasında en fazla üç saat varsa bu bir oraj olayı olarak tanımlanmıştır. Aynı gün olsa bile iki farklı TS kodu arasında üç saatten fazla ara olması durumunda iki farklı oraj olayı

olarak tanımlanmıştır (Örneğin; 14 UTC’de başlayan ve aralıksız 21 UTC’ye kadar devam eden olay tek bir olay olarak ele alınırken, 14 UTC’de başlayan ve sonra 15 UTC’de sona eren, sonrasında tekrardan 20 UTC’de başlayıp 21 UTC’de devam eden olaylar ise olayların başlangıç ve bitiş periyotları dikkate alınarak aralarında 5 saat fark olduğu için aynı gün olmasına rağmen iki olay olarak ele alınmıştır). R programlama dili ile yapılan analizler sonucu, beş yıllık periyot içerisinde 236 TS kodlu hadise rapor edilmesine rağmen, 108 TS olayı tespit edilmiştir. TS olayları belirlendikten sonra, bu olayların yıllık, aylık, devam süresi ve saatlik analizleri yapılarak excel yardımıyla grafik haline getirilmiştir. Bu analizlerden sonra Samsun radyozonde istasyonundan elde edilen sondaj verileri kullanılmıştır (University of Wyoming, 2023). Sondaj gözlemleri 00 UTC ve 12 UTC olmak üzere günde iki kez yapılmaktadır. Bu nedenle tüm sondaj gözlemleri analiz edilmiş, ardından oraj olayına en yakın gözlem saati baz alınarak TS analizleri gerçekleştirilmiştir. TS olaylarının sadece bir tanesinde sondaj verisi eksik olduğundan analizler 107 olay üzerinden yapılmıştır. Sondaj verileri içerisinde Showalter İndeks (SI), Lifted İndeks (LI), SWEAT İndeks (SWEAT), K-İndeks (KI), Totals Totals İndeks (TTI), Convective Available Potential Energy (CAPE) – Konvektif Hazır Potansiyel Enerji, Convective Inhibition (CIN) – Konvektif Engelleme, ve Bulk Richardson Number (BRN) parametreleri kullanılmıştır. SI, ABD’nin güneybatısındaki TS’leri tahmin etmek için geliştirilen bir indekstir. LI, şiddetli TS’leri tahmin etmekte kullanılan, SI’nın değiştirilmiş bir versiyonudur. SWEAT, aynı LI gibi şiddetli TS’leri tahmin etmek için geliştirilmiştir. KI, cephe veya siklonik etkilerin yokluğunda zayıf rüzgar durumunda gerçekleşen TS’leri tahmin etmek için kullanılan bir indekstir. TTI, potansiyel şiddetli hava olaylarını tahmin etmede kullanılmaktadır. CAPE, atmosferik konveksiyonun bir ölçüsüdür, CIN ise CAPE’nin negatif kısmını belirtmektedir. BRN, rüzgar kayması vektörü ile CAPE arasındaki ilişkiyi vermektedir (Yavuz, 2023). Bu sekiz adet indeks ve parametrenin, orajlı ve orajsız zamanlarda değişimleri R programlama dili ile kutu grafiği (box-plot) hazırlanarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan termodinamik indeksler ve atmosferik kararlılık parametrelerinin formülleri ve eşik değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin eşik değerleri ve formülleri (Yavuz, 2023)

İndeksler/Parametreler	Şiddetli hava aktivitesi	Formül	Referanslar
SI	"SI>3", kararlı	$SI = T_{500} - T_{p_{500}}$	(Showalter, 1953; NWS, 2023)
	"1<SI<3", gök gürültülü sağanak yağış olası		
	"-2<SI<1", TS muhtemel		
	"-3<SI<-2", TS olası		
	"-6<SI<-3", şiddetli TS’ler, aşırı kararsızlık		
	"SI<-6", kuvvetli TS’ler, olası kasırga		
LI	"LI>2", kararlı	$LI = T_{500} - T_{p_{500}}$	(Galway, 1956; NWS, 2023)
	"0<LI<2", zayıf TS’ler olası		
	"-2<LI<0", orta kuvvette TS’ler		
	"-4<LI<-2", şiddetli TS’ler olası		
	"LI<-4", şiddetli TS’ler ve kasırga olası		
SWEAT	"SWEAT<150", TS olası değil	$SWEAT = 12[T_{d(850\text{ hPa})}] + 20(TTI - 49) + 2(f8) + f5 + 125(S + 0.2)$	(Miller vd., 1972; NWS, 2023)
	"150<SWEAT<300", hafif şiddetli		
	"300<SWEAT<400", TS’ler olası		
	"SWEAT>400", kasırga olası		
KI	"KI<15", TS olası değil	$KI = (T_{850\text{ hPa}} - T_{500\text{ hPa}}) + T_{d850\text{ hPa}} - (T_{700\text{ hPa}} - T_{d700\text{ hPa}})$	(George, 1960; Peppler & Lamb, 1989; NWS, 2023)
	"15<KI<25", izole TS’ler		
	"25<KI<35", dağınık TS’ler		
	"KI>35", çok sayıda TS		
TTI	"TTI<44", TS olası değil	$TTI = T_{850\text{ hPa}} + T_{d850\text{ hPa}} - 2[T_{500\text{ hPa}}]$	(Miller, 1967; Miller vd., 1972; Peppler & Lamb, 1989; NWS, 2023)
	"44<TTI<50", TS muhtemel		
	"50<TTI<56", şiddetli TS’ler		
	"TTI>56", daha şiddetli TS’ler		
CAPE	"CAPE<300", kararlı	$CAPE = \int_{LFC}^{LNB} R_d(T_{vc} - T_{ve}) d\ln P$	(Lucas vd., 1994; Ye vd., 1998; NWS, 2023)
	"300<CAPE<1000", düşük kararsız		
	"1000<CAPE<2500", orta kararsız		
	"CAPE>2500", kuvvetli kararsız		
CIN	"CIN>-15", kararlı	$CIN = \int_{p_i}^{p_f} R_d(T_{vp} - T_{ve}) d\ln P$	(Zhang, 2003; NWS, 2023)
	"CIN<-15", kararsız		
BRN	"BRN<10", TS olası değil	$BRN = \frac{\left(\frac{g}{T_p}\right)\Delta\theta_v\Delta z}{(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2}$	(Weisman & Klemp, 1982; NWS, 2023)
	"10<BRN<45", TS olası		
	"BRN>45", süper hücre – çoklu hücre yapıları		

Çalışmanın son aşamasında termodinamik indekslerin ve atmosferik kararlılık parametrelerinin performansını değerlendirmek için başarımlar testleri uygulanmıştır. Bu testleri uygulamak için, gerçek TS gözlemleri ile indeks ve parametrelerden elde edilen tahmin sonuçlarının sınıflandırılması gerekmektedir. Bu kapsamda, her koşul için başarımlar testlerinde kullanılacak parametrelere ilişkin *Olasılık Tablosu* hazırlanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2: *Olasılık tablosu*

Element	Gerçek Olay	Tahmin	Tanım
A	VAR	VAR	Doğru olay doğru tahmin
B	VAR	YOK	Sürpriz olay
C	YOK	VAR	Yanlış tahmin
D	YOK	YOK	Olay yok

Bu çalışmada kullanılan başarımlar testleri ve hesaplama yöntemleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 2’ de yer almayan parametrelerden,

$$N = A+B+C+D \quad (1)$$

toplam olay sayısını,

$$E = [(A+C)(A+B)+(C+D)(B+D)]/N \quad (2)$$

tesadüf beklenen doğru tahmin sayısını belirtmektedir.

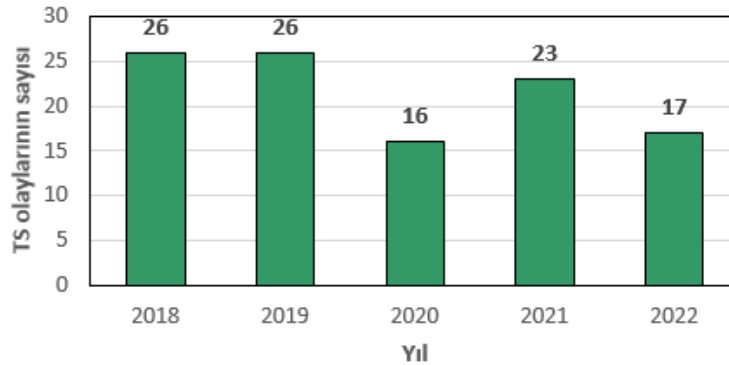
Tablo 3: *Başarımlar testlerinin sembol ve formülleri*

Başarımlar Testleri	Sembol	Formül
Probability of detection (Tespit Olasılığı)	POD	POD = A/(A+B)
False alarm ratio (Yanlış Alarm Oranı)	FAR	FAR = C/(A+C)
Miss rate (Kaçırma Oranı)	MR	MR = B/(B+A)
Critical success index (Kritik Başarı İndeksi)	CSI	CSI = A/(A+B+C)
Hiedke skill score (Hiedke beceri skoru)	HSS	HSS = (A+D-E)/(N-E)
True skill statistics (Gerçek Beceri İstatistikleri)	TSS	TSS = (AD-BC)/(A+B)(C+D)
BIAS (Sapma)	BIAS	BIAS = (A+C)/(A+B)

### 3. Bulgular

#### 3.1. Oraj Hadiselerinin Frekans ve Süre Analizi

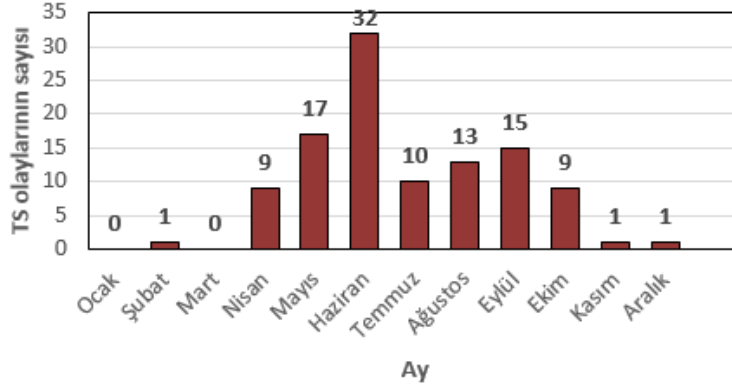
Samsun’da gerçekleşen TS olaylarının yıllık ve aylık frekansları ile başlangıç saatleri ve etki süreleri incelenmiştir. Beş yıllık periyotta 108 TS olayı meydana gelmiştir. En fazla olay sayısı 26 ile 2018 ve 2019 yıllarında olurken en düşük olay sayısı 16 ile 2020 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: *TS olaylarının yıllık frekans analizi*

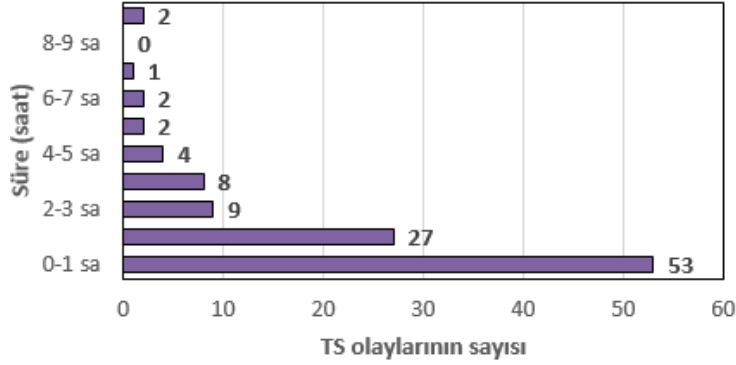


Aylık bazda bakıldığında en fazla olay sayısının 32 olay ile Haziran ayında gerçekleştiği görülmektedir. Tüm TS olaylarının yaklaşık %30'u haziran ayında gerçekleşmiştir. Ocak ve Mart aylarında hiç TS olayı gerçekleşmemiştir. %51 ile olayların yarısından fazlası yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz, Ağustos) gerçekleşmiştir (Şekil 3).



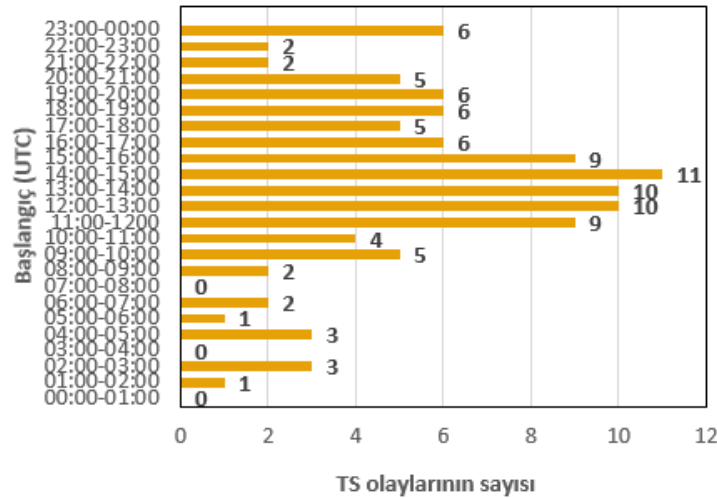
Şekil 3: TS olaylarının aylık frekans analizi

TS olaylarının etki süresi çoğunlukla birkaç saat sürmektedir. Olayların, %74'ü 0-2 saat aralığında sürmüştür. En uzun süreli olay ise 12 saat sürmüştür (Şekil 4).



Şekil 4: TS olaylarının etki süresi

Oraj hadiselerinin başlangıç saatlerine bakıldığında öğle ve akşam saatleri arasında başladığı görülmektedir. Olayların %51'inin 11.00 ile 17.00 UTC saatleri arasında başladığı tespit edilmiştir. Olayların sadece %9'u 00.00 ile 07.00 UTC saatleri arasında gerçekleşmiştir. TS olaylarının geneline bakıldığında, çoğunlukla günün en sıcak saatlerinde başladıkları görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: TS olaylarının başlangıç saati

### 3.1. TS Olan ve Olmayan Durumlarda Termodinamik İndeks ve Atmosferik Kararlılık Parametrelerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada, beş yıllık periyot içerisinde Samsun için sadece TS olan zamanlar değil, TS olmayan zamanlar içinde termodinamik indeksler ve atmosferik kararlılık parametreleri incelenmiştir. Bu indeks ve parametrelerin eşik değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Eşik değerleri Amerika için hazırlandığından, ülkemiz ya da başka bölgeler için değişiklik gösterebilir. Genel olarak TS olayı için beklenen durum, SWEAT, KI, TTI, CAPE ve BRN değerlerinin yüksek, SI, LI ve CIN değerlerinin düşük olması durumudur.

SI değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha düşük değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 3’ten küçük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda SI değerlerinin ortalaması 0.9, TS olmadığı durumlarda 6.0 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

LI değerlerinin de aynı SI gibi TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha düşük değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 2’den küçük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 0.2, TS olmadığı durumlarda 5.8 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

SWEAT değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 150’den büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 169, TS olmadığı durumlarda 97 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

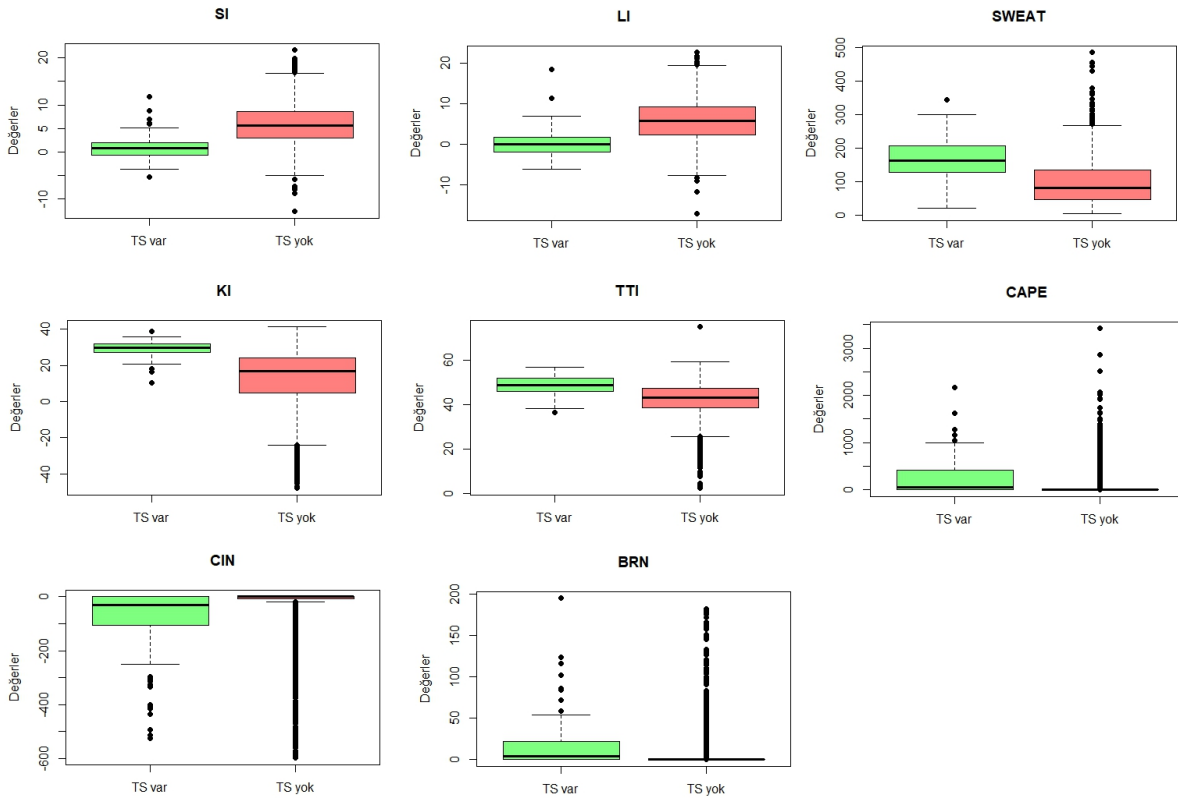
KI değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 15’ten büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 29, TS olmadığı durumlarda 13 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

TTI değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 44’ten büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 48, TS olmadığı durumlarda 42 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

CAPE değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 300’den büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 279, TS olayı olmadığı durumlarda 58 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

CIN değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha düşük değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için -15’ten küçük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması -94, TS olayı olmadığı durumlarda -37 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

BRN değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 10’dan büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 17, TS olayı olmadığı durumlarda 5 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: TS olan ve TS olmayan durumlarda indeks ve parametrelerin değer aralıkları

### 3.1. İndeks ve Parametrelerin Oraj Tahmininde Performans Analiz Sonuçları

Oraj olaylarının tahmininde, her bir indeks ve parametrenin performansı ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Tablo 4). Literatürde verilen eşik değerler her zaman tutarlı tahmin yapamamaktadır. Tüm indeks ve parametreler için gereken ideal durum POD, CSI, HSS ve TSS değerlerinin yüksek, FAR ve MR değerlerinin düşük olduğu zamanlardır. Yüksek POD değerleri, olayları doğru tahmin etmenin bir ölçüsüdür. Fakat tek başına POD değerlerinin yüksek olması, FAR değerlerinin de yüksek olması durumunda bir anlam ifade etmez.

Tablo 4'e baktığımızda POD'un en yüksek değerini KI için aldığı görülmektedir. Ancak FAR da en yüksek değerini KI için almıştır. Bu, KI parametresinin olay olsun veya olmasın, genellikle olay olacaktı gibi tahmin yaptığı anlamına gelmektedir. Bu yüzden gerçekleşen oraj olaylarının neredeyse tamamını ıskalamadan tahmin etmiştir. MR değerlerine bakıldığında en düşük değerini KI için almış olması bunu desteklemektedir. CSI ve HSS'nin KI için en düşük değerleri almış olması tahmin başarısının düşük kaldığını göstermektedir. POD, FAR ve MR değerlerine bakıldığında tüm indeks ve parametreler arasında en ideal değerleri SI almıştır. CSI, HSS ve TSI ortalama en yüksek değerlerini SI için aldığından, tüm indeks ve parametreler arasında tahmin becerisi en yüksek olan termodinamik indeks olmuştur. CAPE ve BRN ise tahmin başarısının en düşük olduğu parametreler olmuştur.

Tablo 4: İndeks ve parametrelerin başarımlarını test sonuçları

Başarımların Testi	Termodinamik indeksler ve kararlılık parametreleri							
	SI	LI	SWEAT	KI	TTI	CAPE	CIN	BRN
POD	0.84	0.79	0.55	0.99	0.85	0.34	0.59	0.40
FAR	0.90	0.91	0.92	0.95	0.95	0.86	0.93	0.90
MR	0.16	0.21	0.45	0.01	0.15	0.66	0.41	0.60
CSI	0.09	0.09	0.08	0.05	0.05	0.11	0.07	0.09
HSS	0.12	0.12	0.09	0.04	0.05	0.17	0.08	0.12
TSS	0.59	0.55	0.36	0.44	0.39	0.28	0.36	0.30
BIAS	8.95	8.38	6.86	19.16	15.89	2.35	8.13	3.91

### 3. Sonuç ve Öneriler

Oraj olayı dünyanın bir çok yerinde ve ülkemizde yıkıcı etkilere sahip olabilmektedir. Bu etkileri en az seviyeye indirebilmek için orajın önceden tahmin edilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Oraj tahmini için birçok yöntem olsa da en hızlı ve etkili yöntem, termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin kullanılarak orajın tahmin edilmesidir. Bu nedenle, orajın yıkıcı etkilerine önceden önlem alabilmek, gelecekte daha tutarlı tahmin yöntemleri geliştirmek için bu indeks ve parametrelerin tahmin başarısının araştırılması gerekmektedir. Ayrıca literatürde belirli bölgeler için yapılan analizler sonucu ortaya çıkan eşik değerler kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle, Samsun için beş yıllık periyotta TS olaylarının zamansal analizleri yapılmıştır. Daha sonra TS olan ve TS olmayan durumlarda beş termodinamik indeks ve üç atmosferik kararlılık parametresinin değişimleri incelenmiştir. Son olarak çeşitli başarımların testleri kullanılarak, indeks ve parametrelerin literatürdeki eşik değerlerinin Samsun için başarımları test edilmiştir. Tüm bu yapılan analizler ve değerlendirmelerden sonra, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Beş yıllık periyotta toplam 108 oraj olayı gerçekleşmiştir. Oraj oluşumu genellikle ilkbahar, yaz ve sonbaharda nadir olarak da kış mevsiminde görülmektedir. Bu çalışmada ise aylık bazda bakıldığında en çok olay Haziran ayında gerçekleşirken olayların %51'i yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz, Ağustos) meydana gelmiştir. Olayların etki süreleri incelendiğinde, %74'ü 0-2 saat aralığında sürmüştür. Günlük bazda bakıldığında orajların çoğunluğu günün en sıcak saatlerinde başlamaktadır.

TS olan ve TS olmayan durumlarda indeks ve parametreler incelendiğinde, Samsun için atmosferik kararlılık ve kararsızlığı belirlemede literatürdeki eşik değerler kullanılmıştır. SI, LI, SWEAT, KI, TTI ve BRN değerlerinin ortalaması eşik değerlere uyarken, CAPE ve CIN değerlerinin ortalaması eşik değer altında kalmaktadır.

İndeks ve parametrelerin oraj tahmininde başarımları incelendiğinde, en başarılı indeks SI olurken CAPE ve BRN parametrelerinin oraj tahmininde başarımları en düşük olmuştur.

Tüm bu ortaya konulan sonuçlar ışığında baktığımızda, orajların çoğunluğunun yılın en sıcak aylarında ve günün en sıcak saat saatlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu da orajların genelinin ısınma kaynaklı oluştuğunu gösterir. Fakat tek başına ısınma oraj oluşumu için gerekli şartlardan yalnızca birini oluşturmaktadır. Isınma kadar atmosferde nemin, kararsızlığın ve rüzgar kaymasının olması da önem arz etmektedir. Olayların çoğunluğunun 0-2 saat sürmesi de tek hücreli oraj olabileceğine işaret etmektedir. Bazı indeks ve parametreler oraj olduğu zamanlarda bile eşik değerlere ulaşamamıştır. Bu durum eşik değerlerinin Samsun için optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Eşik değerlerinde gerekli güncellemeler yapıldığı takdirde bu indeks ve parametrelerin tahmin başarısının artacağı açıkça ortaya konulmuştur. Tahmin başarısının artması, orajın hem toplumda oluşturabileceği zararların önüne geçmeyi hem de çeşitli sektörlere vereceği zararları engellemeyi sağlayacaktır.



## Kaynaklar

- Arora, K., Ray, K., Ram, S., & Mehajan, R. (2023). The role of instability indices in forecasting thunderstorm and non-thunderstorm Ddys across six cities in India. *Climate, 11*(1), Article 14. <https://doi.org/10.3390/cli11010014>
- Galway, J. G. (1956). The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorological Society, 37*(10), 528-529.
- George, J. J. (1960). *Weather forecasting for aeronautics*. Academic Press.
- Iowa State University. (2023, February 24) *Environmental mesonet: ASOS-AWOS-METAR data*. Iowa Environmental Mesonet. 24 Şubat 2023 tarihinde <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml> adresinden alındı
- Kosif, K. (2001). Samsun ilinde iklim trendleri. *DSİ Teknik Bülteni, 98*, 3-13.
- Koutavarapu, R., Umakanth, N., Madhav, B. T. P., Rao, M. C., & Shim, J. (2021a). Influence of thermodynamic indices during severe convection over Andaman Nicobar and Lakshadweep islands. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences, 37*, 593-619. <https://doi.org/10.1007/s41208-021-00335-y>
- Koutavarapu, R., Umakanth, N., Satyanarayana, T., Kumar, M. S., Rao, M. C., Lee, D. Y., & Shim, J. (2021b). Study of statistical estimated parameters using ERA5 reanalysis data over Khulna region during monsoon season. *Acta Geophysica, 69*(5), 1963-1978.
- Kunz, M. (2007). The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 7*(2), 327-342.
- Lucas, C., Zipser, E. J., & LeMone, M. A. (1994). Convective available potential energy in the environment of oceanic and continental clouds: Correction and comments. *Journal of the Atmospheric Sciences, 51*, Article 95A67914. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1994\)051<3829:CAPEIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1994)051<3829:CAPEIT>2.0.CO;2)
- Miller, R. C. (1967). *Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Military Weather Warning Center* (AWS Tech. Rep. 200). Air Weather Service (MAC), United States Air Force.
- Miller, R. C., Bidner, A., Maddox, R. A. (1972). *The use of computer products in severe weather forecasting (the SWEAT index)* (AWS RP 105-2, No: 72-1, 2-9). Air Weather Service.
- NWS. (2023, April 27). *National Weather Service: Definition of atmospheric variables, atmospheric stability indices*. National Weather Service (NWS). 27 Nisan 2023'de <https://www.weather.gov/ffc/gloss2> adresinden alındı
- Özdemir, E. T., Deniz, A., Sezen, İ., Aslan, Z., & Yavuz, V. (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam, 68*(1), 175-180.
- Peppler, R. A., & Lamb, P. J. (1989). Tropospheric static stability and central North American growing season rainfall. *Monthly weather review, 117*(6), 1156-1180.
- Sahu, R. K., Dadich, J., Tyagi, B., Vissa, N. K., & Singh, J. (2020a). Evaluating the impact of climate change in threshold values of thermodynamic indices during pre-monsoon thunderstorm season over Eastern India. *Natural Hazards, 102*, 1541-1569. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03978-x>
- Sahu, R. K., Dadich, J., Tyagi, B., & Vissa, N. K. (2020b). Trends of thermodynamic indices thresholds over two tropical stations of north-east India during pre-monsoon thunderstorms. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 211*, Article 105472. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105472>
- Showalter, A. K. (1953). A stability index for thunderstorm forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society, 34*(6), 250-252.
- Türkeş, M. (2015). Gökgürültülü fırtınalar ve oluşum düzenekleri. *Bilim ve Gelecek, 131*(2015), 84-87.
- Tyagi, B., Naresh Krishna, V., & Satyanarayana, A. N. V. (2011). Study of thermodynamic indices in forecasting pre-monsoon thunderstorms over Kolkata during STORM pilot phase 2006-2008. *Natural Hazards, 56*, 681-698. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9582-x>
- Umakanth, N., Satyanarayana, G. C., Simon, B., Rao, M. C., Kumar, M. T., & Babu, N. R. (2020). Analysis of various thermodynamic instability parameters and their association with the rainfall during thunderstorm events over Anakapalle (Visakhapatnam district), India. *Acta Geophysica, 68*, 1549-1564. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00478-1>
- University of Wyoming. (2023, March 4). *Upper-level atmospheric charts*. University of Wyoming, College of Engineering. 4 Mart 2023'de <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> adresinden alındı
- Weisman, M. L., & Klemp, J. B. (1982). The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Monthly Weather Review, 110*(6), 504-520.
- Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E. T., Karan, H., & Temiz, C. (2022). Long-term thunderstorm analysis at airports in the Marmara Region: types and favourable atmospheric conditions. *International Journal of Global Warming, 28*(1), 81-95. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>
- Yavuz, V., Özdemir, E. T., Deniz, A. (2020). Nowcasting of a thunderstorm: the case study of 2 February, 2015 at Istanbul Ataturk International Airport. *Mausam, 71*(1), 21-32.
- Yavuz, V. (2023). *Performance analyzes of thermodynamic indices and atmospheric parameters in thunderstorm and non-thunderstorm days in Istanbul, Turkey*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2544300/v1>
- Ye, B., Del Genio, A. D., & Lo, K. K. (1998). CAPE variations in the current climate and in a climate change. *Journal of Climate, 11*(8), 1997-2015.
- Zhang, G. J. (2003, March 31-April 4). *Diurnal cycle of convection at the ARM SGP Site: Role of large-scale forcing, surface fluxes, and convective inhibition* [Conference presentation]. Thirteenth ARM Science Team Meeting, Broomfield, Colorado.