KARADENİZ VE AZAK DENİZİ'NDE RÜZGAR DALGASI VE SWELL İKLİMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Khalid Amarouche[1], Adem Akpınar[1]

[1] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, 16059 Bursa, Türkiye, e-posta. khalidamarouche@uludag.edu.tr, ademakpinar@uludag.edu.tr, Tel. +90 224 294 26 13

Özet

Karadeniz ve Azak Denizi'nin uzun vadeli dalga ikliminin bilinmesi, açık deniz ve kıyı aktivitelerinin güvenliği ve sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı, geleneksel genel dalga parametreleri yerine yönlü dalga spektrumlarına dayalı olarak dalga iklimini belirlemektir. Yönlü dalga spektrumlarının kullanımı, Karadeniz ve Azak Denizi'nin dalga ikliminin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Bireysel dalga sistemlerini sınıflandırmak ve denizin rüzgar dalgası ve swell dalga bileşenlerini tanımlamak için iki dalga spektral bölümleme yaklaşımı dikkate alınmıştır. Sonuçlar, Karadeniz'deki dalga spektrumlarının genellikle çok modlu olduğunu ve rüzgar deniz dalgası katkısının daha baskın olduğunu ve alansal ve zamanda değişebileceğini göstermiştir. Buna ek olarak, rüzgar deniz dalgası ve swell dalga bileşenlerinin yıllık eğilimlerinin farklı bölgelerde zıt olabileceği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, dalga iklimi çalışmalarının geleneksel genel dalga parametreleri ile sınırlı kalmaması gerektiğini göstermektedir, çünkü çok modlu dalga spektrumu bileşenleri gözlemlenen küresel değişikliklerden sorumludur ve toplam dalga spektrumu enerjisi veya belirgin dalga yükseklikleri dikkate alınarak değerlendirilememektedir.

Assessment of wind-sea and swell climate patterns in the Black and Azov Seas

Abstract

Knowledge of the long-term wave climate of the Black Sea and Sea of Azov is important for the safety and sustainability of offshore and coastal activities. The aim of this study is to determine the wave climate based on directional wave spectra, rather than conventional bulk wave parameters. The use of directional wave spectra allows us to better understand the wave climate pattern of the Black Sea and Sea of Azov. Two wave spectral partitioning approaches are considered to classify individual wave systems and to identify the wind sea and swell components. The results show that wave spectra in the Black Sea are generally multimodal, and that the contribution of the wind sea is more dominant and can vary in space and time. In addition, it was observed that the

annual trends of the wind sea and swell components can be opposite in different regions. These results underline that wave climate studies should not be limited to global parameters, as multimodal wave spectrum components are responsible for the observed global changes and cannot be assessed by considering total wave spectrum energy or significant wave heights.

Anahtar Kelimeler
Spektral dalga bileşenleri, Rüzgar dalgası, swell, karmaşık deniz durumu, Karadeniz ve Azak Denizi.

Giriş

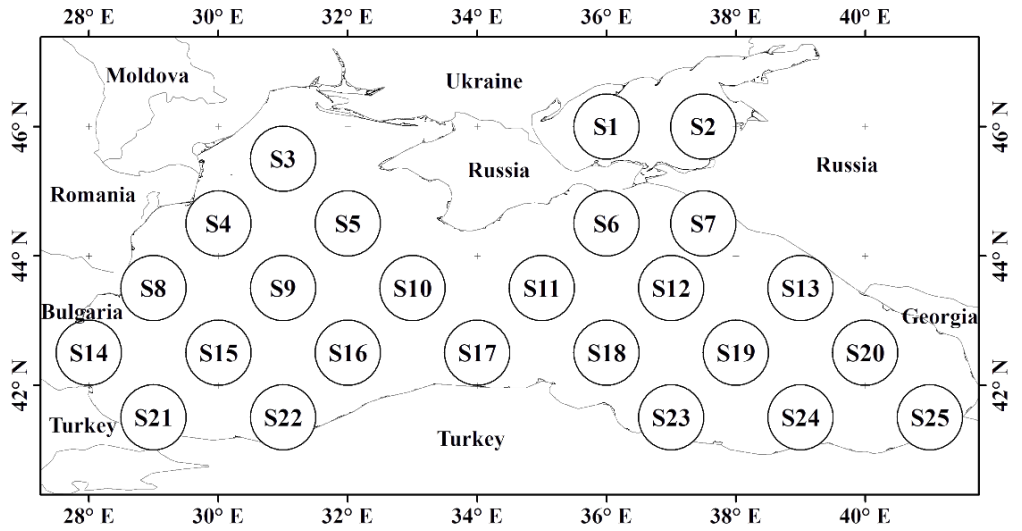
Deniz dalgaları, farklı yönlere gelen farklı bireysel dalgaların bir bileşimidir. Okyanus deniz durumunun doğru bir değerlendirmesini sağlamanın tek yolu dalga spektrumlarının kullanılmasıdır. Bugüne kadar, yönlü spektral dalga bileşenleri ve bireysel dalga sistemlerine ilgi, sınırlı kalmıştır. Deniz dalgalarının spektral bileşenleri daha ayrıntılı ve kapsamlı bilgi sağlayabilmekte ve dalga iklimi değişkenliğinin gerçek bir değerlendirmesine olanak tanımlayabilmektedir. Bireysel dalga sistemlerinin değerlendirilmesi, deniz durumu özelliklerinin ve uzun vadeli iklim değişkenliğinin daha güvenilir bir şekilde ortaya çıkartılmasına olanak sağlamaktadır. Rüzgar-deniz dalgası ikliminin geleneksel genel dalga parametrelerine dayalı olarak analiz edilmesi, yerel dalga iklimindeki değişiklikleri ortaya çıkarabilirken, swell dalga özelliklerindeki değişiklikler her zaman yerel iklim değişikliklerini göstermeyebilir.

Bu çalışmada, Karadeniz ve Azak Denizi'ndeki dalga iklim rejimi, yönlü spektral dalga verilerine dayanan 3 ana yaklaşıma göre değerlendirilmiştir. İlk yaklaşım, Buckley (1988) tarafından izlenen iklim dalga spektrumunun analizini içermektedir. Böylece, ilk olarak farklı zaman ölçeklerinde (aylık, mevsimsel ve yıllık) uzun vadeli dalga spektrumlarının ortalamaları alınarak dalga spektrumlarının iklimsel değerlendirmesi yapılmıştır. İkinci yaklaşım, Portilla-Yandún et al (2015) tarafından izlenen bireysel dalga sistemlerinin spektral bölünmesi ve karakterizasyonunu içermektedir. Böylece, bireysel dalga sistemlerinin sayısı (kaç pikli oldukları) ve tepe karakteristik spektrumları dikkate alınarak deniz koşulları değerlendirilmiştir. Üçüncü yaklaşım, Hanson & Phillips, (2001) tarafından izlenen rüzgar-deniz dalgası ve swell dalga bileşenlerinin mekânsal analizi ve değerlendirmesini içermektedir. Bu bölümde, uzun vadeli rüzgar-deniz dalgası ve swell bileşenlerinin yıllık ve mevsimsel ölçeklerdeki mekânsal dağılımları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Rüzgar-deniz dalgası ve swell bileşenlerinin karmaşık deniz durumuna katkıları, mekânsal ve zaman içindeki değişimleri hesaplanmıştır. Ayrıca, bireysel dalga sistemlerindeki oluş yönleri ve rüzgar-denizi ile swell arasındaki etkileşimleri, kesişen ve karşıt dalga sistemleri göz önünde bulundurarak analiz edilmiştir.

Yöntem

Yönlü Spektral Dalga Verileri

Bu araştırmada, ilk kez Karadeniz ve Azak Denizi için 42 yıllık bir dönemi kapsayan uzun vadeli spektral dalga veri tabanı oluşturulmuştur. Tam havza genelinde doğru bir temsili sağlamak için ilk olarak SWAN modelinin kalibrasyonu uydu gözlemlerine dayalı olarak mekânsal ölçekte gerçekleştirilmiştir (Amarouche et al., 2021). SWAN modeli, 30 dakikalık bir simülasyon zaman adımı ile durağan olmayan bir şekilde çalıştırılmıştır. Rüzgar girdisi ve köpüklenme kaynak terimleri için kalibrasyon süreci sonuçlarına dayalı olarak Komen et al. (1984) tarafından önerilen formülasyon seçilmiştir. Yönlü dalga enerji yoğunluk spektrumu, 0.04 Hz ile 0.625 Hz aralığında frekanslar için 35 ve spektral dalga yönleri için 36 bölme ile ayrıklaştırılmıştır. Modeli tüm simülasyon süresi boyunca çalıştırmak için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından Copernicus İklim Değişikliği Hizmeti (C3S) İklim Veri Deposu (https://cds.climate.copernicus.eu/) aracılığıyla sağlanan ERA5 yeniden analiz rüzgar verileri (Hersbach et al., 2020) kullanılmıştır. ERA5 rüzgar verileri 0.25° × 0.25° mekansal çözünürlüğe, 1 saat zamansal çözünürlüğe sahiptir ve 1940'tan günümüze kadar olan zaman dilimini kapsamaktadır. Hesaplama ağı ile ilgili olarak, OceanMesh2D 1.0 (Roberts et al., 2019) tarafından oluşturulan yapısal olmayan bir ağ üretilmiştir. Bu ağ, kıyı bölgelerinde 300 metrelik minimum mekânsal çözünürlüğe ve açık denizde 11 kilometreye kadar maksimum çözünürlüğe sahip olacak şekilde oluşturulmuştur. Model, saatlik zaman çözünürlüğüyle 42 yıllık bir dönem boyunca çalıştırılmış ve yönlü spektrumlar için spektral çıktı, Karadeniz ve Azak Denizi üzerindeki 25 konumda biriktirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Yönlü spektral dalga analizi için dikkate alınan referans noktalarının coğrafi konumları (Amarouche ve Akpınar, 2023).

Spektral veri doğrulaması

Swell ve rüzgar-deniz dalgası verilerinin üretimi için kullanılan modelin doğrulaması, Amarouche ve diğerleri (2023) tarafından Utrish Sahili'nde bulunan çok yönlü dalga şamandırasında kaydedilen 14,670 spektral ölçümü ile karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, SWAN modelinin üç boyutlu dalga spektrumlarını üretme konusundaki etkinliğini, sığ ve karmaşık kıyı bölgeleri dahil olmak üzere zorlu koşullarda dahi kanıtlamıştır. Modelin doğruluğu dalga frekansına bağlı olarak değişiklikler göstermiştir. Bununla birlikte, iki boyutlu ve üç boyutlu dalga spektrumlarının mevsimsel ve yıllık ortalamaları, şamandıra ölçümleri ile güçlü bir ilişki göstermiştir. Kalibre edilmiş model tarafından tahmin edilen ortalama spektrumlar, 0,08 Hz'den büyük tüm frekans aralıklarında iyi bir doğruluk gösterirken, 0,13 Hz ile 0,17 Hz arasında yaklaşık %10'luk hafif bir yüksek tahmin gözlenmiştir. Ortalama spektral yönde ise model, 0,08 Hz'den büyük tüm frekans aralıkları için 20 derecenin altında bir sapma ile iyi bir doğruluk sergilemiştir. Model verilerinden elde edilen spektral veri bölümlemesi, rüzgar-deniz dalga yükseklikleri ve yönleri ile mevsimsel ve yıllık ortalamalar dahil olmak üzere çeşitli swell bileşenleri açısından bireysel dalga sistemlerinin oldukça hassas bir karakterizasyonunu sunmaktadır. Bu bilgi, Karadeniz ve Azak Denizi'ndeki uzun vadeli spektral dalga ikliminin kapsamlı bir analizine imkan sağlamıştır.

Spektral dalga bileşenlerine bölümleme ve işleme yaklaşımı

Dalgaların spektral bölümlenmesi için literatürde birkaç yaklaşım önerilmiştir. Gerling'in 1992'de tanıttığı konseptin üzerine inşa ederek, bireysel dalga sistemleri, dalga spektrumunu gürültüyü elemek için kullanılan bir düzeltme aracını kullanarak iki boyutlu ölçekte ön işleme tabi tuttuktan sonra bölümlemeyi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, bu düzeltilmiş dalga spektrumu üzerinden en dik artan varyans yoğunluğu yollarını zirveye ulaşana kadar izlemekte ve aynı zirveye bağlı olan tüm veri noktaları bireysel dalga bölümü olarak belirlenmektedir. Birden fazla zirveye sahip spektrumlar için zirveler şu kriterleri karşılıyorsa ayrı kabul edilmektedir:

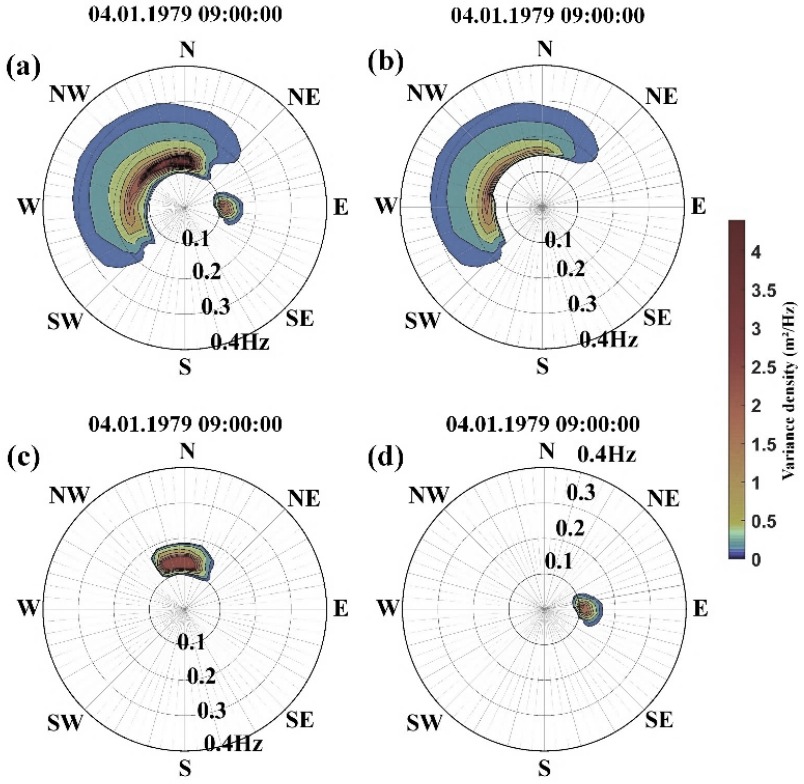
a. Frekans çözünürlüğünün iki katı (minimum kabul edilebilir mesafe) veya yön çözünürlüğünün iki katından daha az olan mesafelerdeki yoğunluklar, zirve yoğunluğundan düşük olmalıdır.

b. Spektral zirve yönündeki fark 20°'yi aşmalıdır.

c. Zirve frekansındaki sapma, spektrumların frekans çözünürlüğünün (Δf) iki katını aşmalıdır. Bu çalışmada, frekans çözünürlüğü (Δf), frekansla orantılıdır ($\Delta f=0.1*f$).

Bu yaklaşım, yalnızca bireysel dalga sistem zirvelerini karakterize etmek için düşünülmüştür. Ancak, bireysel rüzgar-deniz dalgası ve swell parametrelerini

belirlemek için, bu çalışmada SWAN sürüm 41.10'da uygulanan Hanson ve Phillips (2001) tarafından açıklanan ters havza algoritması kullanılmıştır. SWAN modeli, son işlem olarak rüzgar kaynaklı dalgalar (rüzgar-deniz) ve swell bileşenleri için parametreleri içsel olarak hesaplamaktadır. Bu yaklaşım, Portilla-Yandún et al., (2015) tarafından vurgulandığı gibi son derece tutarlı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, SWAN modeli içinde rüzgar-deniz zirvelerini birinci bileşene gruplamak için Vledder & Akpinar (2016) tarafından tanımlanan daha hoşgörülü bir C_{wind}=1.7 değeri benimsenmiştir. Şekil 2'de, bu çalışma için belirlenen rüzgar-denizi ve iki swell bileşeni gözlemlenmektedir. Bu sınıflandırma, Hanson ve Phillips'in 2001'deki fikirlerine dayanmaktadır ve tek yönlü dalga spektrumlarına göre yapılmıştır.

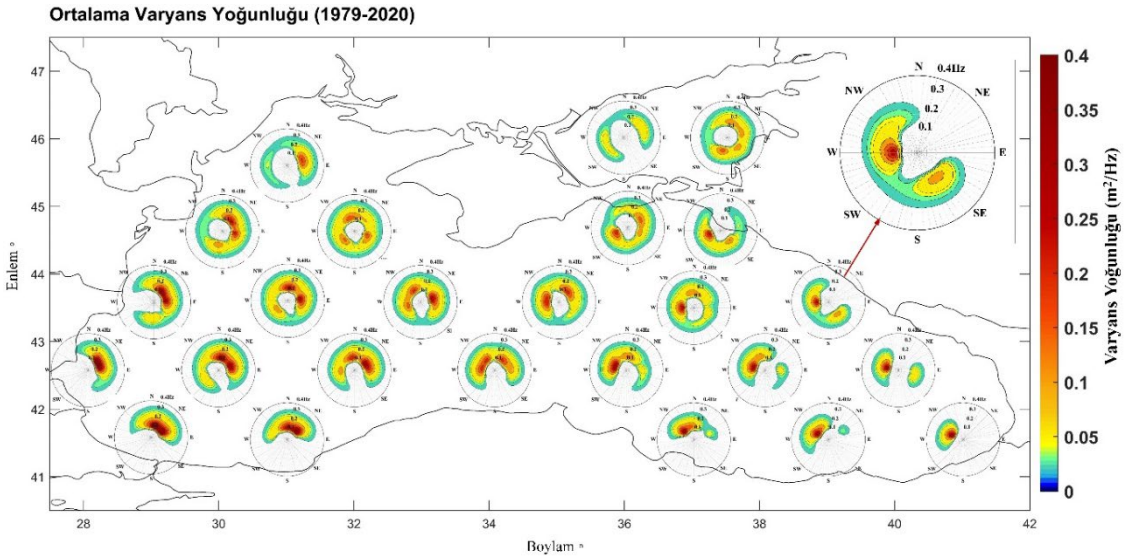


Şekil 2. Yönlü dalga spektrumundan bölümlenmiş farklı bireysel dalga sistemlerini gösteren grafik (a), rüzgar-deniz dalgası bileşenine ilişkin spektrum (b) ve swell bileşenlerine ilişkin spektrumlar (c ve d) , (Amarouche ve Akpınar, 2023) .

Bulgular

Spektral dalga iklimi

Uzun vadeli yönlü dalga spektrumlarına dayanarak, yıllık ve mevsimlik için frekans ve yön üzerindeki ortalama spektral dalga yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu ilk yaklaşıma dayalı olarak elde edilen sonuçlar, ilk olarak Buckley (1988) tarafından adlandırılan iklimsel dalga spektrumunu ifade etmektedir. 42 yıllık verilere dayalı olarak ortalaması alınan yönlü dalga spektrumları seçili istasyonlar için Şekil 3'te görselleştirilmiştir.



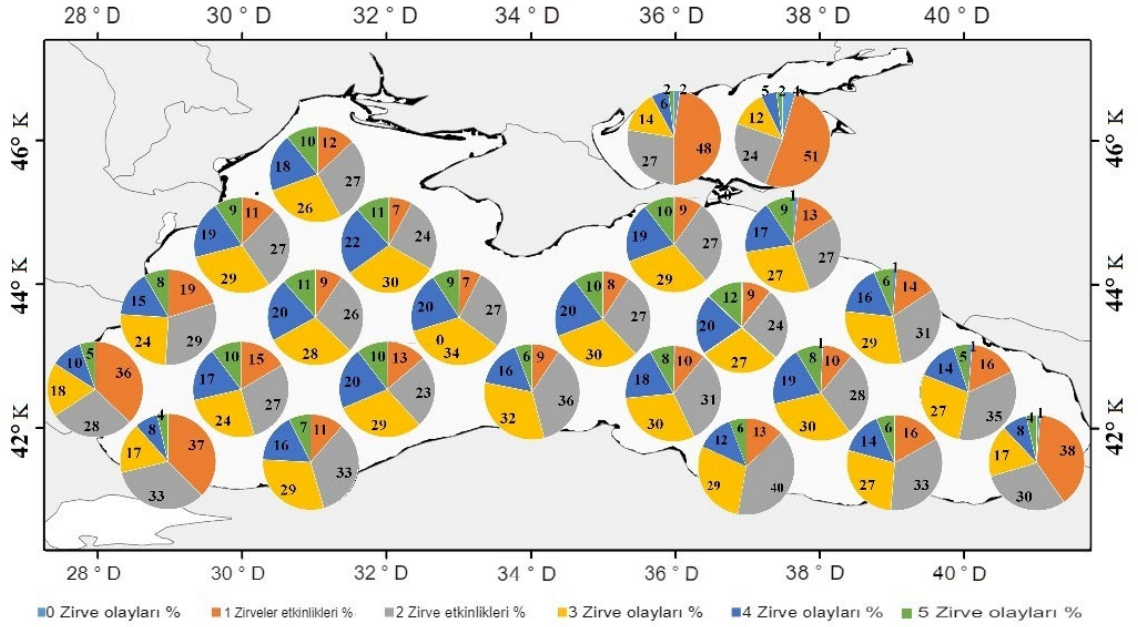
Şekil 3. Karadeniz ve Azak Denizi üzerinde 1979-2020 dönemi için ortalama yönlü dalga spektrumları (Amarouche ve Akpınar, 2023).

Sonuçlar, yönlerine ve frekanslarına göre ana dalga tepe noktalarının belirlenmesine olanak tanımaktadır. Spektral tepe noktaları, ana tepe noktasının tek bir frekans ve yön ile karakterize edildiği en uç GD (Kuzey Doğu) ve GB (Kuzey Batı) konumları (S14, S25, Şekil 1) dışında, Karadeniz bölgesinin çoğunda farklı yön ve frekansta meydana geldiğini göstermiştir. Karadeniz'in kuzey bölgesinde, yönleri bakımından zıt dalgaların meydana geldiği de gözlemlenmektedir. Frekans açısından, Batı Karadeniz bölgesinde, Kuzey, kuzey-doğu ve doğu dalga tepelerinin, batıdan güney-batıya dalga tepelerine kıyasla daha yüksek yoğunluğa ve daha düşük frekanslara sahip olduğu da fark edilmektedir.

Tek modlu ve çok modlu deniz durumları

Şekil 2'de sunulan lokasyonlarda, karmaşık deniz durumları, bireysel dalga sistemlerinin sayısı ve zirve özellikleri açısından da karakterize edilmiştir. Karmaşık deniz, tek bir zirve, iki zirve veya çoklu zirve ile karakterize edilebilmektedir. Her saatte simüle edilen spektral zirveler, frekansları, yönleri ve yoğunlukları açısından tanımlanmakta ve karakterize edilmektedir. Zirve

sayısı bakımından deniz durumlarının görülme sıklıkları Şekil 4'te gösterilmiştir. Gözlemlenen sonuçlara dayanarak, çoklu modda spektrumların Karadeniz'in çoğu bölgesinde daha sık görüldüğü anlaşılmıştır.

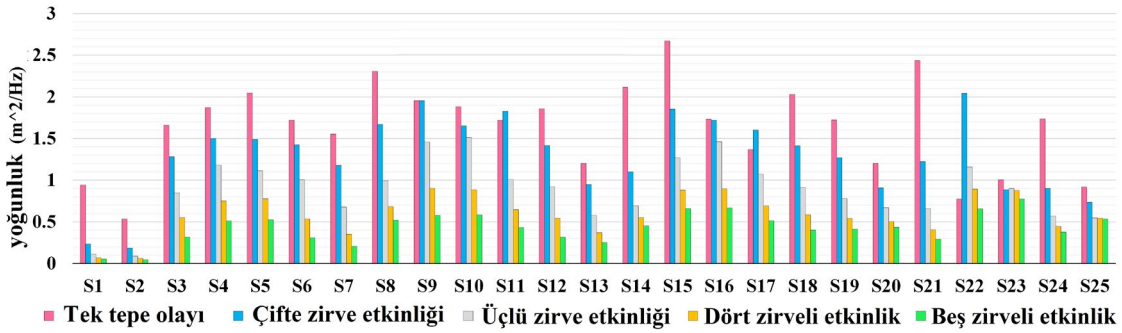


Şekil 4. İki boyutlu bir spektrumda tahmin edilen zirve sayısına göre farklı deniz durumlarının görülme frekansları (Amarouche ve Akpınar, 2023).

Farklı deniz durumu koşulları için değerlendirilen spektral zirve özelliklerine atıfta bulunarak (Şekil 5), dalga spektrumlarındaki ana zirve yoğunluğu ile bireysel zirve sayısı arasında bir bağımlılık olduğu gözlemlenebilmektedir. Tek modlu ve iki modlu deniz durumu sırasında ilk zirve yoğunluğu daha önemlidir. Çoklu zirve dalga spektrumlarının toplam enerjisi, tek zirve spektrumunun toplam enerjisine benzer olabilir ve aynı belirgin dalga yüksekliğini yansıtabilir, ancak tek yönden ve frekanstan gelen bireysel dalgaların yoğunluğu daha önemlidir ve kıyı ve açık deniz yapıları için daha problemli olabilir.

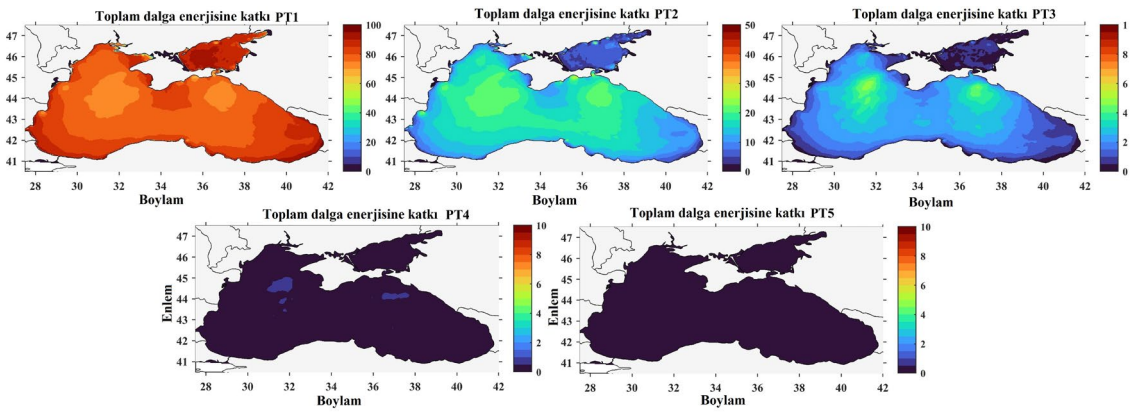
Rüzgar-Denizi ve swell bileşenleri

Tüm veri seti dikkate alındığında, rüzgar-deniz bileşeninin (PT1) ve birbirini takip eden dört swell bileşeninin (PT2 – PT3) toplam dalga enerjisine % olarak katkıları Şekil 6'da sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, Karadeniz ve Azak Denizi'nde rüzgar deniz dalgası hakimdir. Rüzgar deniz dalgasının karmaşık denizin toplam belirgin dalga yüksekliğine katkısı çoğu yerde %80'i aşmıştır.

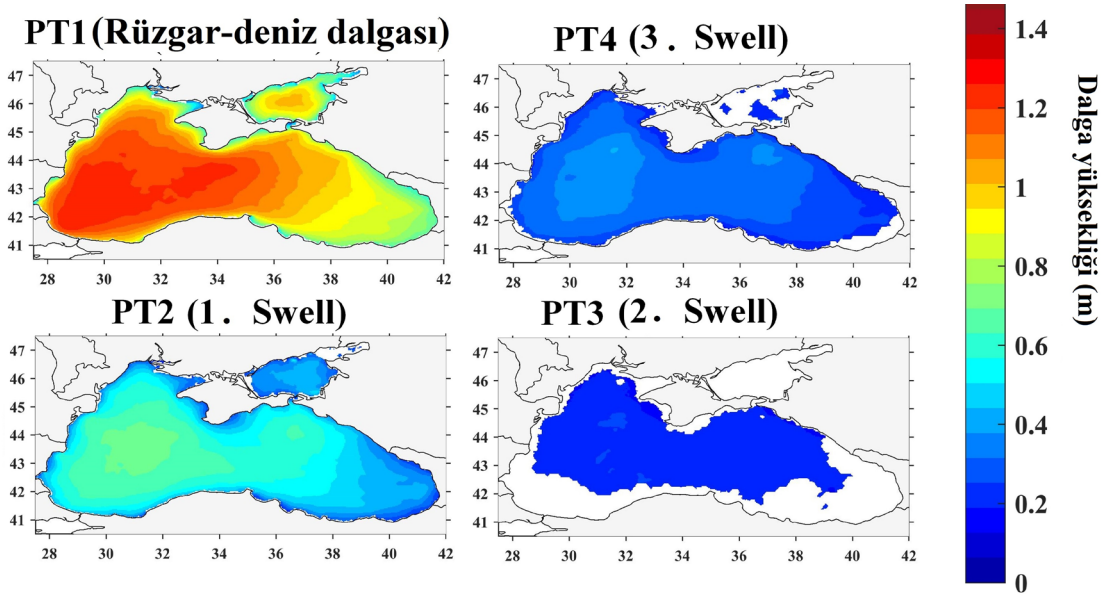


Şekil 5. İki boyutlu bir spektrum üzerinde tahmin edilen pik sayısı açısından farklı deniz durumları altında 1. piklerin ortalama varyans yoğunluğu (Amarouche ve Akpınar, 2023).

Swell bileşenlerinin katkısı daha düşüktür ve maksimum swell katkısı kuzeydoğuda, Batı Karadeniz'in merkezinde ve Kerç Boğazı (S6) açıklarında %30'luk gözlenirken, ilk swell bileşeni için yaklaşık %25 ve 2. swell bileşeni için %5'lik bir katkı söz konusudur. Üçüncü ve dördüncü swell bileşenlerine ilişkin olarak, %1'i aşmayan önemsiz bir katkı görülmektedir. Şekil 7'de gösterildiği gibi, rüzgar denizi dalgasının ortalama belirgin dalga yüksekliği Karadeniz'in GB kısmında 1,2 m'yi aşmaktadır, ancak maksimum swell dalga yüksekliği ortalaması 0,8 m olarak Batı Karadeniz havzasının merkezinde ve Kerç Boğazı açıklarında görülmektedir.

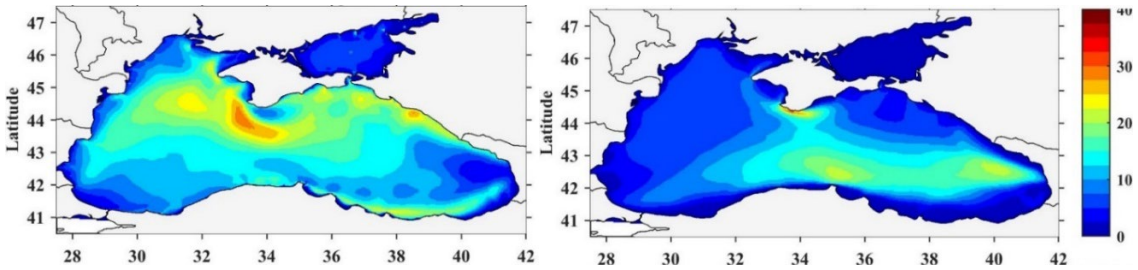


Şekil. 6. Tüm veri seti dikkate alındığında, rüzgar-deniz dalgası bileşeninin (PT1) ve birbirini takip eden dört swell bileşeninin (PT2 – PT3) toplam dalga enerjisine % olarak katkısı



Şekil. 7. Rüzgar-deniz dalgası (PT1) ve swell bileşenleri (PT2 ila PT4) için belirgin dalga yüksekliklerinin uzun vadeli (1979 - 2020) ortalamaları.

Daha önce ifade edildiği gibi (Şekil 4), iki veya daha fazla bireysel dalga sisteminden oluşan karmaşık deniz Karadeniz'de daha fazla görülmektedir. Yön açısından, birlikte var olan rüzgar denizi ve swell dalga sistemleri tamamen karşıt, kesişen veya karmaşık bir deniz için takip eden olabilir. Kesişen dalga sisteminin deniz yapısı ve gemilerin seyir stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği göz önünde bulundurularak, kesişen ve karşıt dalga sistemindeki oluşumlar hesaplanmış ve Şekil 8'de sunulmuştur. Trulsen ve diğerleri, (2015) ve Zhang ve Li, (2017)'ye göre, gemi kazalarının olasılığı kesişen dalga sistemleri sırasında daha fazla önemli olmaktadır. Sonuçlar, bazı bölgelerde karşıt ve kesişen dalga sistemlerinin toplam oluşma olasılıklarının %25'den daha fazla olduğunu göstermiştir.



Şekil 8. 42 yıl boyunca Kesişen (Sol. 90±30) ve karşıt (Sağ. 150° ila 180°) rüzgar-deniz dalgası ve swell bileşenlerinin 42 yıl boyunca % olarak toplam oluşumu.

Rüzgar deniz dalgası ve swell bileşenlerindeki değişkenlik

Karadeniz üzerinde altı referans konum göz önüne alındığında, rüzgar-deniz dalgası ve swell bileşenlerinde yıllık değişkenlik de değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Yıllık değişkenlik, ortalama yıllık değişkenlik ve rüzgar denizi dalgası ile swell bileşeni arasındaki yıllık trend değerlendirilmiştir. Rüzgar denizi dalgası ve swell bileşenlerinin yıllık ortalama dalga yüksekliği için zaman serisi grafiklerine atıfta bulunarak, rüzgar denizi ile swell dalga bileşeni arasında düşük bir korelasyon olduğu görülmektedir. Rüzgar denizi rejimini yönlendiren iklim modeli dolayısıyla swell dalga iklimi modelinden farklıdır. 42 yıl boyunca gözlenen trendler hakkında, rüzgar denizi ve swell dalga bileşeni arasında ters bir trend göze çarpmaktadır. S1, S2, S5 ve S6 konumlarında (Tablo 2), rüzgar denizi dalgasında gözlenen trend pozitifken swell dalgalarında gözlenen trend negatiftir. Bu sonuçlar, dalga ikliminin genelleştirilmiş genel dalga parametrelerine dayalı olarak değerlendirilmesinin rüzgar denizi dalgası ve swell dalga bileşenlerinde gözlenen değişkenlikleri ve trendleri gözlemlemeye olanak tanımadığını göstermektedir. Bu nedenle karmaşık denizde rüzgar denizi dalgası dalga yüksekliğindeki negatif trend, swell dalga yüksekliğindeki pozitif trendi iptal edebilir ve sonuçlar, deniz durumu ve bölgenin dalga ikliminde bir değişiklik olmadığı şeklinde görünebilir. Böylece, dalga ikliminin değişkenliğini ve dalga iklimi değişikliğini incelemek için bireysel dalga sistemlerini göz önüne almak gerektiği sonucu çıkmaktadır.

Tablo 2. Temsili altı lokasyonda Theil-Sen ve Mann Kendall testi kullanılarak yapılan yıllık trend analizinin sonuçları.

	PT1	PT1	PT2	PT2	PT3	PT3
	Theil-sen Eğim (m)	Anlamlılık Seviyesi %	Theil-sen Eğim (m)	Anlamlılık Seviyesi %	Theil-sen Eğim (m)	Anlamlılık Seviyesi %
S1	0.021	37	0.017	37	-0.008	59
S2	-0.090	85	0.058	85	0.008	29
S3	-0.004	7	-0.005	21	0.004	58
S4	-0.064	60	0.017	40	0.007	34
S5	-0.074	88	-0.004	21	0.000	1
S6	-0.011	15	0.009	37	0.000	7

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, birkaç önemli sonucun öne çıkarılmasına olanak tanımıştır. Karadeniz, farklı yönlere sahip çoklu modda dalga sistemlerinin daha yüksek görülme sıklığı ile karakterize edilmektedir. Zıt ve kesişen dalga sistemleri de %25 olasılıkla meydana gelebilmektedir. Rüzgar denizi dalgasının toplam belirgin dalga yüksekliğine katkısı oldukça önemlidir ve çoğu bölgelerde %80'i aşmaktadır, ancak bazı bölgelerde uzun dönemli ortalama dalga yüksekliğinde swell katkısı %30'u aşabilmektedir. Rüzgar denizi ve swell bileşenlerindeki zamansal değişkenliğin değerlendirilmesi, dalga yoğunluğu ve yönü açısından ayrı bir değişkenlikle iki bileşen arasında herhangi bir korelasyon olmadığını da göstermiştir.

Bu kanıtlara göre, sadece belirgin dalga yüksekliği ve ortalama periyot ile ortalama yönlere dayalı dalga ikliminin uzun vadeli bir çalışması, Karadeniz ve

Azak Denizi'ndeki dalga iklim rejimini tanımlamak için yeterli olmadığı sonucuna varılmaktadır. Örneğin, dalga yoğunluğu spektrumu iki veya daha fazla yönde yoğunlaşıyorsa, karmaşık denizin hesaplanmış ortalama dalga yönleri yanlış bilgi sağlayabilir. Diğer yandan, rüzgar denizi ve swell dalga yüksekliğindeki yıllık trendlerdeki zıt işaretler, Karadeniz bölgelerinde dalga iklimi değişiklikleri ve değişkenliği üzerine daha doğru bir çalışma yapmak için bireysel dalga sistemini kullanmanın önemini vurgulamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK – RFBR (Rusya) ikili İşbirliği programı kapsamında 119N480 proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Amarouche, K., & Akpınar, A. (2023). Long-term spectral wave climate in the Black Sea based on directional wave spectra. https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-2596229/V1

Amarouche, K., Akpınar, A., Soran, M. B., Myslenkov, S., Majidi, A. G., Kankal, M., & Arkhipkin, V. (2021). Spatial calibration of an unstructured SWAN model forced with CFSR and ERA5 winds for the Black and Azov Seas. *Applied Ocean Research*, *117*, 102962. https://doi.org/10.1016/J.APOR.2021.102962

Amarouche, K., Akpınar, A., Rybalko, A., & Myslenkov, S. (2023). Assessment of SWAN and WAVEWATCH-III models regarding the directional wave spectra estimates based on Eastern Black Sea measurements. *Ocean Engineering*, *272*, 113944. https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2023.113944

Boukhanovsky, A. V., Lopatoukhin, L. J., & Guedes Soares, C. (2007). Spectral wave climate of the North Sea. *Applied Ocean Research*, *29*(3), 146–154. https://doi.org/10.1016/J.APOR.2007.08.004

Buckley, W. H. (1988). Extreme and clıma tıc wave spectra for use ın structural desıgn of shıps. *Naval Engineers Journal*, *100*(5), 36–58. https://doi.org/10.1111/J.1559-3584.1988.TB01523.X

Gerling, T. W. (1992). Partitioning Sequences and Arrays of Directional Ocean Wave Spectra into Component Wave Systems in: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology . *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, *9*(4), 444–458. Retrieved from https://journals.ametsoc.org/view/journals/atot/9/4/1520-0426_1992_009_0444_psaaod_2_0_co_2.xml

Hanson, J. L., & Phillips, O. M. (2001). Automated Analysis of Ocean Surface Directional Wave Spectra. *JAtOT*, *18*(2), 277–293. https://doi.org/10.1175/1520-0426(2001)018

Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., et al. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay