



**KARADENİZ'DE DALGA GÜCÜ POTANSİYELİ YÜKSEK
ALANLARIN DALGA ENERJİ İÇERİĞİNİN UZUN DÖNEMLİ
ZAMANSAL VE ALANSAL ANALİZİ**

Halid JAFALI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARADENİZ'DE DALGA GÜCÜ POTANSİYELİ YÜKSEK ALANLARIN
DALGA ENERJİ İÇERİĞİNİN UZUN DÖNEMLİ ZAMANSAL VE ALANSAL
ANALİZİ**

Halid JAFALI

Doç. Dr. Adem AKPINAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2018

TEZ ONAYI

Halid JAFALI tarafından hazırlanan "Karadeniz'de Dalga Gücü Potansiyeli Yüksek Alanların Dalga Enerji İçeriğinin Uzun Dönemli Zamansal ve Alansal Analizi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Adem AKPINAR

Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. Servet KARASU
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Doç. Dr. Adem AKPINAR
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü

...7.1.2019...

B. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28/12/2018

Halid JAFALI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARADENİZ'DE DALGA GÜCÜ POTANSİYELİ YÜKSEK ALANLARIN DALGA ENERJİ İÇERİĞİNİN UZUN DÖNEMLİ ZAMANSAL VE ALANSAL ANALİZİ

Halid JAFALI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adem AKPINAR

Bu çalışmada, Karadeniz'in güney-batı kıyıları boyunca dalga enerjisi potansiyelinin ve değişkenliğinin alansal ve zamansal analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için, CFSR rüzgârları ile çalıştırılan artan alansal çözünürlüklü (kaba sayısal ağ, ince sayısal ağ ve üç alt sayısal ağ) iç içe geçmiş katmanlı kalibre edilmiş bir SWAN modeli ile ilgili alanları için 31 yıl boyunca uzun vadeli biriktirilmiş dalga parametreleri (H_{m0} ve T_{m-10}) kullanılmıştır. Bu uzun dönemli rüzgar/dalga veri tabanı kullanılarak, Karadeniz'in güney-batı kıyısı boyunca dalga enerjisi potansiyeli öncelikle hesaplanmıştır. Daha sonra, dalga enerji potansiyeli ve değişkenliği alansal ve noktasal çıktılar baz alınarak irdelenmiştir. Alansal çıktılar kullanılarak alt sayısal ağ alanlarının her biri için yıllık, mevsimsel ve aylık ortalama dalga gücünün ve bunların değişim katsayılarının, dalga gücü aylık ve mevsimsel değişkenlik indekslerinin ve toplam / elde edilebilir dalga gücü potansiyellerinin alansal dağım haritaları üretilmiştir. Noktasal (istasyon bazlı) çıktılar kullanılarak her bir alt sayısal ağ alanında seçilmiş bütün istasyonlar için dalga gücünün yıllık, mevsimsel ve aylık ortalama değişimleri, yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün eğilimleri (trend), dalga gücü gülleri, dalga gücü aşılma olasılık eğrileri, farklı dalga yüksekliği ve yön aralıkları için ortalama dalga enerjisinin değişimleri ve farklı dalga yükseklik ve periyodu aralıklarında ortalama dalga enerjisinin değişimleri belirlenmiştir. Sonuçta, ortalama dalga gücünün yüksek olduğu bölgelerde (Karaburun SD3 alt sayısal ağ alanı), dalga gücünün yüksek bir değişim katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Daha düşük dalga gücüne sahip bölgelerin ise (Filyos SD2 alt sayısal ağ alanı), daha düşük bir değişim katsayısı sunduğu tespit edilmiştir. Karadeniz'in güney batı kesimindeki yıllık ortalama dalga enerjisinin 0,2 – 1,5 m'lik belirgin bir dalga yüksekliği aralığında yoğunlaştığı ve dalga enerjisi periyodu açısından, Karaburun SD3'te 2 - 5 s, Filyos SD2'de 3 - 7 s ve Sinop SD1 alt sayısal ağ alanında 2.5 - 6.5 sn aralığında yoğunlaşmanın olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, mevcut dalga enerji dönüştürücülerinin Filyos sayısal ağ alanında daha verimli olabileceği öngörülmektedir. Karaburun sayısal ağının en batısında toplam potansiyelin 40 MWh/m/yıl olduğu doğuya doğru azaldığı ve 30 MWh/m/yıl değerine sahip olduğu, Filyos ve Sinop sayısal ağlarında da bu değer veya biraz daha düşük bir değer gözlemlendiği belirlenmiştir. Karaburun ölçüm istasyonunun biraz açıklarına doğru 25 MWh/m/yıl'lık bir elde edilebilir potansiyelin olduğu, Filyos ve Sinop sayısal ağlarında bütün kıyı boyunca 20 MWh/m/yıl'dan daha düşük bir elde edilebilir dalga enerji potansiyelinin mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dalga enerjisi, Dalga enerji potansiyeli, Dalga enerji değişkenliği, Yüksek enerjili alanlar, Güney-batı Karadeniz

2018, 1x+ 68 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

LONG-TERM TEMPORAL AND SPATIAL ANALYSIS OF WAVE ENERGY CONTENT FOR HIGH-POTENTIAL AREAS IN THE BLACK SEA

Halid JAFALI

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural Science and Applied Science
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Adem AKPINAR

This study aims to conduct a spatial and temporal analysis of wave energy potential and variability along the south-west coast of the Black Sea. To do this, 31-year long-term wave information (H_{m0} and T_{m-10}) generated with a calibrated nested SWAN model with increasing spatial resolution (a coarse grid, fine grid, and three sub-grids) are used. Using this long-term wind/wave database, wave energy potential along the south-west coast of the Black Sea is firstly quantified. Secondly, wave energy potential and its variability are examined based on spatial and location-based outputs. Using spatial outputs, spatial distribution of the annual, seasonal and monthly mean wave power, annual, seasonal and monthly variation coefficients of wave power, monthly and seasonal variability indices of wave power, and total and exploitable wave energy potential (reserve) for each of the sub-grids are analyzed in detail. Using location-based (stations) outputs, annual, seasonal and monthly average changes of wave power, trends of annual maximum and average wave power, wave power roses, wave power probability curves of exceedance, yearly mean wave energy for different wave heights and direction intervals, and at different wave heights and periods intervals for all selected stations in each sub-grid area are identified and examined. In conclusion, in areas where the average wave power is high (Karaburun SD3 sub-grid area), it has been determined that the wave power has a high coefficient of variation. Regions with lower wave power (Filyos SD2 sub-grid area) have been found to have lower coefficient of variation. Annual average wave energy in the southwestern part of the Black Sea is concentrated in a significant wave height range of 0.2 to 1.5 m. Based on wave period, 2 to 5 sec in Karaburun SD 3, 3 to 7 sec in Filyos SD 2 and Sinop SD1 2.5 to 6.5 sec. In this case, it is predicted that existing wave energy converters may be more efficient in the Filyos grid area. It has been also determined that the total potential is 40 MWh/m/year at the westernmost part of the Karaburun sub-grid and decreases to the east to a value of 30 MWh/m/year. These values or a slightly lower values are observed in Filyos and Sinop sub-grids. Karaburun station has an exploitable potential of 25 MWh/m/year towards the offshore while there is an exploitable wave energy potential of less than 20 MWh/m/year along the entire coast of Filyos and Sinop sub-grids.

Key Words: Wave energy, Wave energy potential, Wave energy variability, Hotspots, South-west Black Sea

2018, ix+ 68 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca sahip olduğu bilgiyi, tecrübeyi ve desteğini benden esirgemeyen, konu seçimi ile başlayarak bütün çalışma süreci içinde bizzat bulunan, ihtiyaç duyduğum her anda değerli bilgilerini ve zamanını benimle paylaşan tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. Adem AKPINAR'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında ihtiyaç duyduğum her anda fikirlerini ve önerilerini aldığım, hiçbir zaman benden yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisi Bilal BİNGÖLBALİ'ye ve Araş. Gör. Recep Emre ÇAKMAK'a çok teşekkür ederim.

Sayısal analiz aşamasında karşılaşılan sorunların çözümündeki desteklerinden ve çalışma ile ilgili değerli yorumlarından dolayı Dr. Gerbrant Ph. Van VLEDDER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı (1001) bünyesinde 214M436 No'lu araştırma projesi kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Halid JAFALI
28/12/2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Çalışma Bölgesi	13
3.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Veri Kaynakları	13
3.3. Dalga Gücü Hesaplama Prosedürü.....	14
3.4. Dalga Gücü Potansiyelinin Analizi	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1. Dalga Enerji Akısının Yıllık, Mevsimlik ve Aylık Ortalama Değişimleri	20
4.2. Dalga Gücünün Yıllık, Mevsimlik Ve Aylık Değişim Katsayısının Alansal Değişimleri.....	26
4.3. Dalga Gücünün Aylık Ve Mevsimsel Değişkenlik İndeksinin Alansal Değişimi ...	33
4.4. Dalga Gücü Toplam ve Elde Edilebilir Potansiyellerin Alansal Değişimi	36
4.5. Dalga Gücünün Saatlik, Aylık ve Mevsimlik Değişimleri	37
4.6. Yıllık Maksimum ve Ortalama Dalga Gücünün Lineer Eğilimleri.....	46
4.7. Yıllık ve Mevsimlik Dalga Gücü Gülleri.....	50
4.8. Dalga Gücü Aşılma Olasılık Eğrileri	54
4.9. Yıllık Farklı Dalga Yönü ve Yüksekliği Aralıklarında Yıllık Ortalama Dalga Enerjisi	55
4.10. Yıllık Farklı Dalga Yüksekliği ve Periyodu Aralıklarında Yıllık Ortalama Dalga Enerjisi	59
5.SONUÇ	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
C_{g0}	Derin denizlerde grup hızı
C_g	Dalganın grup hızı
C_v	Değişim katsayısı
d	Su derinliği
E	Bir okyanus dalgasının toplam enerjisi
E_k	Kinetik enerji
E_p	Potansiyel enerji
\bar{E}	Özgül enerji / Enerji yoğunluğu
E_{PE}	Dalga enerji kaynağının elde edilebilir potansiyeli
E_{PT}	Dalga enerji kaynağının toplam rezervi
g	Yerçekimi ivmesi
H_{rms}	Ortalama karekök dalga yüksekliği
H_s	Belirgin dalga yüksekliği (istatistiksel)
H_{m0}	Belirgin dalga yüksekliği (spektral)
H	Dalga yükseklikleri
L	Dalga boyu
L_o	Açık deniz dalga boyu
M_v	Aylık değişkenlik indeksi
n	Dalga enerjisi yayılmasının oranı
N	Veri sayısı
P_{S1}	Enerji yoğunluğu en fazla olan mevsim
P_{S4}	Enerji yoğunluğu en düşük mevsim
P_{M1}	Enerji yoğunluğu en fazla olan ay
P_{M12}	Enerji yoğunluğu en düşük ay
P_{yil}	Yıllık ortalama enerji yoğunluğu
P_{ort}	Yıllık ortalama dalga enerji yoğunluğu
\bar{P}	Dalga gücü
S_v	Mevsimsel değişkenlik indeksi
S	Standart sapma
T_{m-10}	Dalga enerji periyodu
T_e	Dalga enerji periyodu
T	Dalga periyodu
t	Bütün yıl boyunca toplam zaman
t_E	Bütün yıl boyunca sakin deniz durumundan ($H_{m0} > 0,5$ m) daha yüksek belirgin dalga yüksekliğinin toplam oluşma saati
X_{ort}	Ortalama değer
\bar{z}	Deniz suyu yoğunluğu

Kısaltmalar**Açıklama**

CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
D	Doğu
K	Kuzey
SD	Sub-domain (Alt sayısal ağ)
SWAN	Yakın Kıyı Dalga Benzeşim Modeli
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
US Army	Amerika Birleşik Devletleri Ordusu



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma alanı ve Karadeniz'in batimetrisi.....	14
Şekil 4.1. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık ortalama dalga enerji akısı	21
Şekil 4.2. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama dalga enerji akısı	23
Şekil 4.3. Şekil 4.3. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısı	24
Şekil 4.4. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısı.....	25
Şekil 4.5. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısı.....	26
Şekil 4.6. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık değişimi.....	27
Şekil 4.7. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimlik değişimi	28
Şekil 4.8. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık değişimi	30
Şekil 4.9. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık değişimi	31
Şekil 4.10. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık değişimi	32
Şekil 4.11. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca dalga enerji akısının aylık değişkenlik indeksi	34
Şekil 4.12. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca dalga enerji akısının mevsimsel değişkenlik indeksi.....	35
Şekil 4.13. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş dalga gücü toplam ve elde edilebilir potansiyelleri (MWh/m/yıl).....	37
Şekil 4.14. Üç alt sayısal ağda seçilmiş istasyonların yerleri.....	38
Şekil 4.15. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri.....	39
Şekil 4.16. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri.....	40
Şekil 4.17. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü	

	değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri.....	41
Şekil 4.18.	SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri	42
Şekil 4.19.	SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri.....	44
Şekil 4.20.	SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri.....	45
Şekil 4.21.	SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri	47
Şekil 4.22.	SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri.....	48
Şekil 4.23.	SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri	49
Şekil 4.24.	SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü gülleri.....	51
Şekil 4.25.	SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü gülleri.....	52
Şekil 4.26.	SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü gülleri.....	53
Şekil 4.27.	SD3 (Karaburun), SD2 (Filyos) ve SD1 (Sinop) sayısal ağlarına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü aşılma olasılık eğrileri.....	54
Şekil 4 28.	SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi	57
Şekil 4.29.	SD2 (Filyos) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi	58
Şekil 4.30.	SD1 (Sinop) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi	59
Şekil 4 31.	SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi	60
Şekil 4.32.	SD2 (Filyos) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi	61

Şekil 4.33. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi62



1. GİRİŞ

Tüm dünyada elektrik enerjisi tüketimi, endüstriyel gelişmelere, gelişen teknoloji ve üretim tekniklerine, ekonomik kalkınmaya, artan nüfus ve refah seviyesine bağlı olarak hızlı bir şekilde artmaktadır. Bundan dolayı, bütün ülkeler talepteki bu artışın karşılanabilmesi için tükenmeyen, yeterli, kaliteli, güvenilir, ekonomik, çevre ve insan sağlığına duyarlı vb. niteliklerde mevcut ve yeni arayışlar içerisine girmişlerdir. Türkiye için aynı durumun gözlemleneceği, gelecek yıllardaki yüksek büyüme oranı hedefleri ve Vizyon 2023 hedefleri ile genç ve artan nüfusun gelecek enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artacağı öngörüsünü desteklemektedir. Bilindiği üzere, Türkiye enerji bakımından önemli derecede dışa bağımlı bir ülke konumundadır ve cari açığındaki en büyük pay sahibi bu ithal enerjidir. Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması görüldüğü gibi ülke refahı ve rekabet edebilirliği için son derecede önemlidir. Bunun için, en önemli seçenek veya çözüm, yerli, yenilenebilir, alternatif ve çevre dostu enerji kaynaklarının devreye sokulmasıdır. Bütün dünya ülkeleri, yakın zamanda tükenecek fosil kökenli enerji kaynaklarının yerine yerli olan yenilenebilir enerji kaynaklarını önemli derecede kullanmaya ve bunlarla birlikte alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi üzerine önemli çalışmalar yapmaya ve adımlar atmaya başlamışlardır. Dalga enerjisi, kıyı alanlarında mevcut olan en büyük denizel enerji yoğunluğuna sahip bir enerji kaynağıdır. Aynı zamanda, tüm dünyada alternatif bir enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Bunun yanında, olumlu politik bakış açısının yanında CO₂ emisyon azaltımı nedeniyle yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları tüm dünyada gittikçe daha da ilgi çekici olmaktadır. Bundan dolayı, son zamanlarda mevcut deniz alanlarında dalga enerji potansiyelinin değerlendirilmesi konusu tüm dünyada büyük önem kazanmış ve bu yöndeki çalışmalar hızlı bir şekilde artmıştır. Buna ilaveten, son zamanlarda, kararlı dalga enerjisi mevcudiyetini ortaya çıkartabilmek maksatlı uzun dönemli dalga gücü değişiminin irdelenmesi üzerine çalışmalar da yürütülmeye başlanmıştır. Dalga enerjisi, tüm dünyada temel alternatif enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Son yıllarda dalgadan elektrik elde edilmesine ve dalga enerji kaynak potansiyelinin belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Geçmiş yıllarda dalgadan enerji elde edilmesi üzerine farklı teknolojilere sahip pek çok dalga enerji dönüşüm cihazı geliştirilmiş ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir.

Günümüzde, Avustralya, Çin, Danimarka, Hindistan, Japonya, Norveç, Portekiz, İsveç, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde kurulu pilot tesisler çalışmakta ve Çin (700 kW), Güney Kore (665 kW), Portekiz (400 kW), İspanya (296 kW), İsveç (203 kW), Norveç (200 kW), İtalya (150 kW), Belçika (100 kW), Danimarka (13 kW), Yeni Zelanda (20 kW)'da ise ticari olarak dalga enerjisinden elektrik üretimi yapılmaktadır (Anonim, 2016). Bununla birlikte, dalga enerjisinin kullanımına yönelik en gerçekçi ve önemli adımlarından diğeri ise denizlerdeki kaynak potansiyelinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu, açık deniz ve kıyı yapıları, deniz ulaşımı ve suni kıyı besleme projeleri gibi okyanus/kıyı mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde işlenmiş olan standart dalga karakterizasyonunun (ortalama ve aşırı dalga iklimi) yerine dalga gücü açısından dalga ikliminin belirlenmesi ile ortaya çıkarılabilmektedir. Bundan dolayı, son yıllarda bu konu üzerine önemli derecede çalışmalar gerçekleştirilmiş ve okyanus dalga enerji kaynağının değerlendirmeleri, seçilmiş istasyonlar için ve bazı çalışmalarda ise mekânsal ve alansal değişkenlik olarak küresel ölçekte (örneğin Arinaga ve Cheung, 2012; Cornett, 2009), bölgesel ve yerel ölçekte (örneğin Pontes ve ark. 2005; Iglesias ve Carballo, 2010a; 2010b; Lenee-Bluhm ve ark. 2011; Saket ve Etemad-Shahidi, 2012; Rusu ve Guedes Soares, 2012a; 2012b; Stopa ve ark. 2013; Sierra ve ark. 2013; Vicinanza ve ark. 2013) yürütülmüştür. Bu çalışmaların çoğu, yüksek enerjili dalga şartlarına maruz kalan alanlar için gerçekleştirilmiş olmasına karşın, hafif dalga koşullarının tabi olduğu bölgeler için de bazı çabalar sarf edilmiştir (örneğin Vicinanza ve ark. 2013; Ayat, 2013; Liberti ve ark. 2013; Rusu ve Onea 2013). Hafif dalga şartlarına sahip alanlar, daha düşük enerji üretim oranları elde etme dezavantajı olmasına rağmen, enerji üretimi için fizibilite sağlayan (Liberti ve ark. 2013) dalga enerji dönüşüm cihazlarının uygulaması, işletilmesi ve bakımı için pratikte önemli avantajlar sunmaktadır.

Üç tarafı denizlerle çevrili ve Marmara Denizi dışındaki açık deniz kıyılarının uzunluğu yaklaşık 8210 km olan Türkiye'nin de önemli bir dalga enerji potansiyeline sahip olabileceği aşıkardır. Bütün bunların ışığında bu çalışma, Türkiye'nin alternatif bir dalga enerji kaynağı olabileceği düşüncesi ile Karadeniz'in yüksek enerji potansiyelli güney-batı kıyı sahillerinin sahip olabileceği dalga enerji potansiyeli ve değişkenliğinin ortaya çıkartılmasını amaçlamıştır. Dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve değişkenliğinin tartışılması için en önemli koşul, yüksek çözünürlükte ve doğrulukta

deniz ve kıyı dalga tahmin modelinin geliştirilmesi ve bu model yardımıyla bazı dalga parametrelerini (belirgin dalga yüksekliği H_{m0} , dalga enerjisi periyodu T_{m-10} vb.) içeren bir dalga veri tabanının türetilmesidir. Bu veri tabanı, 214M436 No'lu TÜBİTAK Projesi kapsamında üretilmiştir (Akpınar ve ark. 2015). Bu proje kapsamında, Bingölbali (2018) tarafından Karadeniz'in güney batı kıyılarına odaklanan iç içe geçmiş bir SWAN modeli, (Karadeniz'in tamamını kapsayan bir ana sayısal ağ, Karadeniz'in güney kesimlerine odaklanan ince bir sayısal ağ ve Karadeniz'in güney batı kıyı şeridi için üç alt sayısal ağ) açık deniz ve kıyıya yakın kaynak ifadelerinde ayarlanabilir parametrelerin kalibrasyonunu gerçekleştirilerek fiziksel ve sayısal olarak bölge dalga şartlarını temsil eden bir model haline getirilmiştir. Daha sonra, 1979 ile 2009 yılları arasında 31 yıl boyunca çok sayıda önemli dalga parametrelerini içeren bir dalga veri tabanı üretilmiştir. Geliştirilen iç içe geçmiş SWAN modelinin geliştirilmesi, kalibrasyonu ve doğrulanmasına ilişkin bilgi Akpınar ve ark. (2016a; 2016b) çalışmalarında bulunulabilir. Şu anki tez çalışmasında ise, üretilmiş bu veri tabanını kullanarak, Karadeniz'in güney-batı kıyıları için bir dalga enerjisi atlası oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle 31 yıl boyunca her yıl için yıllık, mevsimsel ve aylık ortalama dalga gücü haritaları üretilmiştir. Daha sonra, Karadeniz'in güney-batı kıyılarında seçilmiş istasyonlar için dalga enerjisi potansiyelinin ve değişkenliğinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Bunun için, her istasyonda yıllık, mevsimsel, aylık, saatlik ortalama ve maksimum dalga güç değişimleri incelenmiştir. Dalga güç gülleri ve dalga gücü aşılma olasılık dağılımları tartışılmıştır. Seçilen istasyonlar için yapılan son analizde, H_{m0} ve T_{m-10} 'a karşı dalga enerjisi kaynak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karadeniz'in güney-batı kıyılarındaki dalga enerjisi değişiminin analizi için dalga gücünün değişim katsayısı, aylık değişkenlik indeksi ve mevsimsel değişkenlik indeksi irdelenmiştir. Son olarak, toplam dalga enerjisi potansiyel rezervi ve dalga enerjisi elde edilebilir potansiyel rezervi tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışması kapsamında konuyla ilgili kaynak araştırmasının özet bilgileri aşağıda sunulmuştur;

Rusu (2009), Karadeniz havzasındaki dalga enerjisi kaynaklarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma, geleneksel olarak daha enerjik olduğu düşünülen denizin batı kısmına odaklanmıştır. Dalga ikliminin ilk perspektifini vermek için, yerinde ölçülen veriler kullanılarak orta vadeli bir dalga analizi gerçekleştirilmiştir. Bir diğer adım olarak, Karadeniz için bir dalga tahmin sistemi uygulanmıştır. Bu, hem dalga üretimi hem de yakın kıyı transformasyonu için kullanılan yakın kıyı modeli ile dalgaları tahmin etmeye dayandırılmıştır. Bu metodoloji, tek bir modelin modelleme sürecinin tam boyutunu kapsamaması avantajına sahiptir. Üç farklı yerde ölçülen veriler dikkate alınarak çeşitli testler yapılmıştır. Derin su dalgası modellemesinde hala zayıf bağlantı olarak kabul edilen köpüklenme işlemine özel önem verilmiştir. Ölçülen verilere karşı yapılan karşılaştırmalar, dalga tahmin sisteminin genel olarak özellikle belirgin dalga yüksekliği ve ortalama periyotlar açısından güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Coğrafi alandaki çözünürlüğü artırarak, dalga enerjisinin alan dağılımları hem yüksek hem de ortalama dalga koşulları için analiz edilmiştir.

Hughes ve Heap (2010), Avustralya kıyı suları (<300 m) için ulusal tutarlı bir dalga kaynağı değerlendirmesi sunmuştur. Dalga enerjisi ve gücü, 1 Mart 1997 ile 29 Şubat 2008 tarihleri arasında AusWAM modeli kullanılarak elde edilen belirgin dalga yüksekliği, periyot ve dalga yönü tahminleri yardımıyla belirlenmiştir. Avustralya kıyı alanında toplam anlık dalga enerjisinin ortalama 3.47 PJ olduğu tespit edilmiştir. Dalga gücünün, 3000 km uzunluğundaki güney Avustralya kıyı alanında (Tazmanya/Victoria, Güney Batı Avustralya ve Güney Avustralya), 25 - 35 kW/m (%90 oluşma olasılıklı değer 60 – 78 kW/m) bir zaman-ortalama değerine ulaştığı ve ortalama yılda 800 – 1100 GJ/m enerji sağladığı belirlenmiştir. İlimli düzeyde dalga gücü ile (zaman ortalaması: 10–20 kW/m; %90 oluşma olasılıklı değeri: 20–30 kW/m) Yeni Güney Galler ve güney Queensland kıyı alanlarının, elektrik üretimi için potansiyel alanlar olduklarını ve enerji dönüşümünde de benzer bir güvenilirliğe sahip olması nedeniyle

önermişlerdir. Kuzey Avustralya kıyı alanının çoğu için ortalama dalga gücünün 10 kW/m'den daha küçük olduğunu belirtmişlerdir.

Iglesias ve Carballo (2010b), Asturias'taki (Kuzey İspanya) açık deniz ve kıyı dalgası enerji kaynağını, dalga şamandıra verileri ve 44 yıllık (1958–2001) bir tahmin veri setini kullanarak çalışmışlardır. Açık deniz ortalama dalga gücü ve yıllık dalga enerjisi değerlerinin, 11 çalışma alanının 7'sinde sırasıyla 30 kW/m ve 250 MWh/m'yi aştığı tespit edilmiştir. Bu önemli kaynak, ilgili deniz durumları açısından karakterize edilmiştir. Enerjinin çoğunun, 2 ila 5 m arasında değişen dalga yükseklikli ve 11 s ile 13 s arasındaki enerji periyotlu dalgalar tarafından sağlandığı belirlenmiştir. Açık deniz kaynağını analiz ettikten sonra, yakın kıyı dalga paternlerini araştırmak için sayısal modelleme kullanılmıştır. Kıyı dalga modeli, dalga şamandıra verileriyle doğrulanmış ve fırtına, kış ve yaz koşullarını temsil eden üç deniz durumu için çalıştırılmıştır. Sahildeki dalga enerji yoğunlaşma bölgelerinin Cape Vidio'nun batısında ve Cape Penas yarımadasının batı tarafında ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Abbaspour ve Rahimi (2011), Persian Körfezi ve Umman Denizi'ne yayılan dalga ve gel-git kaynaklarını ulusal ölçekte haritalandırmak için bir IRAN açıkdeniz yenilenebilir enerji kaynakları atlası üretmeyi hedeflemişlerdir. Atlasın, en yüksek kaynak potansiyeli olan alanları ve mevcut teknoloji gelişiminin ulaştığı alanları belirlemek için gerekli araçları sağlayabileceği ifade edilmiştir. Bölgedeki mevcut gel-git enerji kaynaklarını tahmin etmek için, Persian Körfezi'nin iki boyutlu bir gel-git kaynaklı hidrodinamik sayısal modeli, gel-git seviye ölçümleri doğrulanarak MIKE 21 Akım Modelinde (MIKE 21HD) hidrodinamik model kullanılarak geliştirilmiştir. Modelin sonuçları, simülasyon periyodu boyunca gelgit akım hızının bir zaman serisini üretmek için kullanılmıştır. Ayrıca, bu alandaki dalga enerjisinin potansiyelini değerlendirmek için, 1992-2003 dönemini kapsayan üçüncü nesil bir okyanus dalgası modelinden (ISWM-Iranian Sea Wave Model) altı saatlik verilere dayanan bir model geliştirilmiştir. Atlas'a sağlanan bilgilerin en etkili şekilde yönetilmesini ve sürdürülmesini sağlamak için, tüm üretilmiş deniz kaynağı parametreleri bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) dahilinde yapılandırılmış bir veritabanına yerleştirilmiş ve böylece etkili veri yönetimi, sunum ve sorgulama sağlanmıştır.

Arinaga ve Cheung (2012), küresel troposferik analiz (FNL) yüzey rüzgarları kullanarak bir WAVEWATCH III tahmin çalışması ile dünyadaki dalga kaynağının kapsamlı incelemesi için 10 yıllık spektral dalga verisi üretmişlerdir. Hesaplanmış dalga parametrelerinin Jason-1 uydu ve şamandıra ölçümleri ile iyi bir korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Aylık medyan grafiklerinin küresel dalga ikliminin mevsimsel değişimini tanımladığı ve aşılma olasılıklı grafiklerin dalga şartlarının şiddetini ve sürekliliğini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Rüzgar dalgalarından ve birincil swellden dalga gücünün ayrı ayrı tahminlerinin dalga enerji dönüştürücülerin planlaması ve tasarımını desteklemede kaynağın açık bir tahminini sağladığı da belirtilmiştir.

Akpınar ve Kömürcü (2012), Karadeniz'in güneydoğu kıyıları boyunca dalga enerjisi kaynağını değerlendirmeyi ve karakterize etmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla, bölgede toplam 7 çalışma noktasında dalga enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Enerji üretimi potansiyeli, 1995-2009 dönemini kapsayan bir üçüncü nesil dalga modelinden (SWAN) altı saatlik verilere dayanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, şamandıra ölçümleri ile doğrulanmış ve dalga enerjisi ve gücü sayısal tahmin verileriyle hesaplanmıştır. Dalga enerjisi potansiyelinin karakterizasyonu için, bu alandaki dalga gücünün ortalama yıllık ve mevsimsel değişimleri öncelikle araştırılmıştır. İkinci olarak, dalga enerjisi gelişim indeksleri ve çalışma noktalarında dalga gücünün aşılma olasılıkları belirlenmiştir. Üçüncüsü, farklı dalga yükseklikleri ve ortalama periyotlarında dalga enerjisi kaynağı karakterize edilmiştir. Sonuçta, yıllık dalga enerjisi 10 MWh/m olan Sinop noktası dışındaki tüm noktaların yıllık dalga enerjisinin yaklaşık 6 MWh/m olduğu ve yıllık dalga enerjisinin büyüklüğünün 0.5 ile 2 m belirgin dalga yükseklikli ve 2 ila 5 s periyotlu dalgalardan meydana geldiği tespit edilmiştir.

Saket ve Etemad-Shahidi (2012) Umman Körfezi'nin kuzey kıyıları boyunca dalga gücünü araştırmayı hedeflemişlerdir. Dalga parametrelerini simüle etmek için üçüncü nesil spektral SWAN modeli kullanılmış, sonuçlar şamandıra ve ADCP verileriyle doğrulanmıştır. İlk olarak, 23 yılı (1985-2007) kapsayan tahmin veri seti ile çalışma bölgesindeki yıllık enerji hesaplanmıştır. En yüksek dalga kaynağına sahip alanlar belirlenmiş ve bir dalga çiftliğinin kurulması için en uygun alan olarak Chabahar limanına yakın alan önerilmiştir. İkincisi, bu alandaki ortalama aylık dalga enerjisi araştırılmış ve en enerjik dalgaların Haziran-Ağustos ayları arasında güneydoğu Hint

Okyanusu musonları tarafından sağlandığı belirlenmiştir. Son olarak, dalga enerjisi kaynağı, deniz durum parametreleri açısından karakterize edilmiştir. Yıllık dalga enerjisinin büyük bir kısmının, 1 ve 3 m arasındaki belirgin dalga yükseklikleri ve güney güneydoğu yönünde 4 ila 8 s arasında enerji periyotları için meydana geldiği tespit edilmiştir.

Rusu ve Guedes Soares (2012a), Azores Adaları Takımadalarındaki dalga enerjisi paternini değerlendirmeyi hedeflemiştir. Öncelikle çalışma bölgesindeki dalga ikliminin analizi hem uzaktan algılama hem de tahmin verileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bir diğer adım olarak, spektral dalga modellerine dayanan bir dalga tahmin sistemi uygulanmış ve takımadaların kıyı ortamında uydu verisine karşı doğrulanmıştır. Dalga modelleme sistemi kullanılarak, dalga enerjisinin mekansal dağılımı, hem kış hem de yaz mevsimleri için ilgili dalga paternleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, Azores Adaları'nın kıyıya yakın yerlerinde önemli bir dalga enerji kaynağının bulunduğunu göstermiştir.

Akpınar ve Kömürcü (2013), 15 yıllık tahmin verisine dayanarak Karadeniz'in dalga enerjisi kaynak potansiyelinin varlığı ve değişkenliğini ayrıntılı olarak ortaya çıkartmışlardır. Dalga parametrelerinin tahmini, en popüler sayısal dalga modellerinden biri olan ve okyanus dalgalarını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan üçüncü nesil dalga tahmin modeli (Simulated WAVes Nearshore - SWAN) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model, ECMWF ERA Interim rüzgar alanları ile çalıştırılmış ve yaklaşık $0,0167^{\circ} \times 0,0167^{\circ}$ 'lik bir alansal çözünürlük ve 6 saat bir model zaman adımı ile etkili bir şekilde açık deniz ve yakın kıyı dalga koşullarını çözmek için uygulanmıştır. Sonuçlar, aylık, mevsimsel ve yıllık bazda, belirgin dalga yüksekliğinin ve dalga gücünün mekansal dağılımının grafikleri şeklinde sunulmuştur. Çalışma bölgesinde, yıllık enerji 15 yılı (1995-2009) kapsayan veri seti ile hesaplanmıştır. En yüksek dalga enerjisi kaynağı olan bölgeler belirlenmiş ve Karadeniz'in güney batı kıyıları bir dalga çiftliğinin kurulması için en uygun yer olarak önerilmiştir. Karadeniz'in batı bölümlerinin (özellikle güney-batı) doğu kısımlarından daha fazla enerjili dalgalara maruz kaldığı tespit edilmiştir.

Ayat (2013), Doğu Akdeniz Havzası'nın dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmiş ve karakterize etmiştir. Dalga güçlerini hesaplamak için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nden (ECMWF) rüzgar verileri ile 1994–2009 yılları arasında çalıştırılan 3. nesil spektral dalga modelinden elde edilen dalga alanları kullanılmıştır. Dalga modeli, üç farklı istasyonda gerçekleştirilen dalga ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Dalga modeli, yüksek doğrulukta, belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve ortalama dalga periyotları (T_m) gibi dalga özelliklerini simüle etmiştir. Dalga gücü atlası 15 yıllık zamana göre dalga verisine dayanarak oluşturulmuştur. Ayrıca, farklı bölgeler için periyot ve yüksekliklerde dalga güç gülleri ve dağılım tabloları sunulmuştur. Ortalama dalga gücü, tüm model alanının kıyıları boyunca 2 kW/m'nin altında bulunmuş ve Güney Akdeniz Havzası'nın en enerjik kıyısının Nil Deltası ve Libya sınırı arasında yer alan ve 4 kW/m'nin üzerinde bir potansiyele sahip olan Mısır sahili olduğu tespit edilmiştir. Bazı Yunan Adaları kıyıları boyunca bazı bölgelerde Ege Denizi Havzası içinde 4 kW/m üzerinde potansiyelin var olduğu ve model alanının doğu kısmının en az enerjik olduğu belirlenmiştir. En enerjik deniz durumlarının, 1 ile 4 m ve 4 ile 8 s arasında belirgin dalga yüksekliği ve dalga enerji periyoduna sahip deniz dalgalarında olduğu tespit edilmiştir.

Aydoğan ve ark (2013), Karadeniz'in dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Dalga özellikleri 1996–2009 yıllarında 3. Nesil Spektral Dalga Modeli ile Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezinden (ECMWF) elde edilen rüzgar verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Dalga modeli, beş farklı istasyonda yürütülen dalga ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Zaman-ortalama dalga gücünü gösteren dalga gücü atlası, tüm Karadeniz için üretilmiştir. Ayrıca, dalga güç gülleri ve dalga güç dağılım tabloları farklı bölgeler için farklı periyot ve yükseklik aralıkları için sunulmuştur. Dalga enerjisinin batıdan doğuya doğru kıyı boyunca azaldığı, en enerjik bölgenin denizin güney batı kısmı olduğu ve Karadeniz'in doğu kısmının en düşük enerjiye sahip bölge olduğu tespit edilmiştir. En çok umut vaat eden yerin Türkiye nin Trakya kıyıları, özellikle İstanbul'un batı yakası olduğu sonucuna varılmıştır.

Zheng ve ark (2013), Çin Denizi'ndeki dalga alanını, çapraz kalibre edilmiş, çoklu platformlu (CCMP) rüzgar alanı ile üçüncü nesil dalga modeli WAVEWATCH-III (WW3) kullanarak 1988'den 2009'a kadar olan dönemde simüle etmişlerdir. Çin Denizi

rüzgar enerjisi yoğunluğu ve dalga enerjisi yoğunluğu CCMP rüzgar ve WW3 modeli simülasyon sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Çin Denizi rüzgâr enerjisi ve dalga enerjisi kaynağı, enerji yoğunluğunun değeri, enerji yoğunluğu seviyesinin aşılma olasılığı, elde edilebilir rüzgar hızı ve elde edilebilir belirgin dalga yüksekliği (SWH), enerji yoğunluğunun kararlılığı, toplam depolama ve kullanılabilirlik göz önüne alınarak sentetik olarak analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları, Çin Denizi'nin çoğunun, 150 W/m^2 'nin üzerinde rüzgar enerjisi yoğunluğu, 2 kW/m 'nin üzerinde dalga enerjisi yoğunluğu, büyük ölçekli sularda elde edilebilir rüzgar ve dalga enerjisinin yüksek oluşma olasılığı, $2 \times 10^3 \text{ kWh/m}^2$ üzerinde rüzgar enerji depolaması, $4 \times 10^4 \text{ kWh/m}$ üzerinde dalga enerji depolaması ile zengin dalga enerjisi ve açık deniz rüzgar enerjisi kaynakları içerdiğini göstermiştir. En zengin bölgenin, rüzgar enerjisi yoğunluğu $350\text{--}600 \text{ W/m}^2$, dalga enerjisi yoğunluğu $10\text{--}16 \text{ kW/m}$, rüzgar enerjisi depolaması $3 \times 10^3 \text{--}5 \times 10^3 \text{ kWh/m}^2$, dalga enerjisi depolaması $8 \times 10^4 \text{--}16 \times 10^4 \text{ kWh/m}$ ile kuzey Güney Çin Denizi'nde olduğu belirlenmiştir.

Vicinanza ve ark. (2013), Sardinia'nın kuzey-batısındaki dalga enerjisi potansiyeli, 20 yıllık bir dönemde İtalyan dalga şamandıra şebekesi (1989–2009) tarafından yapılan dalga ölçümleri ve buna karşılık gelen Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tahmin verilerinin analizi ile incelenmiştir. Yıllık açık deniz dalgası gücünün, $8,91 \text{ kW/m}$ ve $10,29 \text{ kW/m}$ arasında değiştiği ve kuzey-batı dalgaları tarafından sağlandığı tespit edilmiştir. Yakın kıyılardaki enerjik paternler, sayısal bir kıyı yayılım modeli (Mike21 NSW) ile incelenmiştir. Analizler, dalga gücünün sırasıyla $9,95$ ve $10,91 \text{ kW/m}$ olduğu iki yüksek enerjili alanı ön plana çıkardığı vurgulanmıştır. Bu lokasyonlar için, $3,5$ ve $4,5 \text{ m}$ (enerji periyotları $9,5\text{--}11 \text{ s}$) ve $4 - 6 \text{ m}$ (enerji periyotları $9,5\text{--}11,5 \text{ s}$) arasındaki belirgin dalga yükseklikleri aralıklarında maksimum verime sahip bir dalga enerji dönüştürücüsü (DED) seçilmesi gerektiği önerilmiştir. Bu alanda dalga enerjisinin ele geçirme sorununa somut bir çözüm bulmak için, enerji sağlayan dalgaların karakterizasyonu, kurulum ve işletme maliyetleri, kurumsal faktörler, çevresel duyarlılık ve diğer insan faaliyetleri ile etkileşimler gibi ek hususlarla birlikte ele alınması gerektiği önerilmiştir. Mevcut bilgi ve belirlenen koşullar temelinde, Bosa Marina bölgesi, potansiyel bir dalga çiftlik kurulum yeri olarak önerilmiştir. Özellikle bu alan için, DED ile donatılmış liman veya kıyı koruma dalgakıranları gibi çok işlevli yapılar önerilmiştir.

Stopa ve ark (2013), rüzgar ve dalga ikliminin yanı sıra, Hawaii'deki kıyıdaki dalga enerji kaynaklarının miktarını ölçmek için bir orta ölçekli atmosferik ve spektral dalga modellerinden 10 yıllık tahmin verisi üretmişlerdir. Küresel troposferik analizden (FNL) gelen yüzey rüzgarları ile çalıştırılan küresel bir WAVEWATCH III (WW3) modeli, swell ve uzak alandaki deniz alanları yeniden modellenmiş ve Hava Araştırma Tahmini (WRF) modelinden yüksek çözünürlüklü rüzgârlara sahip iç içe geçmiş Hawaii WW3 modeli yerel dalga süreçlerini yakalaması için kullanılmıştır. Hawaii WW3'ün içinde alt sayısal ağda çalıştırılan SWAN modelinin, dalga enerjisi dönüştürücülerinin konuşlandırma için değerlendirildiği kıyı sularında veri üretmesi sağlanmıştır. Hesaplanan dalga yükseklikleri, uydular ve şamandıralardan gelen verilerle iyi bir uyum sergilediği belirtilmiştir. Kıyıdaki veriler dalgalanan volkanik ada batimetrisine bağlı olarak kıyı şeridi boyunca dalga enerjisinin modülasyonunu gösterdiği ifade edilmiş ve dalga enerjisi dönüştürücüleri için uygun alanların seçiminde yakın kıyı modellemesinin önemine vurgu yapılmıştır.

Gonçalves ve ark. (2014), Avrupa'nın Atlantik kıyısındaki dalga enerjisini karakterize etmeyi hedefleyen bir Avrupa projesinin parçası olarak bir pilot bölge olan Batı Fransa kıyılarındaki dalga enerji dağılımının analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma için iki üçüncü nesil dalga tahmin modeli kullanılmıştır. WAVEWATCH III modeli, tüm Kuzey Atlantik havzasının dalgalarını üretmek için kullanılmış, böylece bölgeye ulaşan swell dalgaları doğru bir şekilde hesaba katılmış ve SWAN dalga transformasyon modeli ile Fransız sahillerindeki dalgaların gelişimi modellenmiştir. Model sonuçları, 1998 ve 2000 yılları arasında üç yıllık süre boyunca üç şamandıradan ölçülen verilerle doğrulanmıştır. Ölçümler ve hesaplanan parametreler arasında iyi bir uyumun olduğu gözlemlenmiştir. Kaynakların değişkenliği hakkında bir fikir veren tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur.

Mirzaei ve ark. (2015), Güney Çin Denizi'ndeki dalga enerjisi potansiyelini üçüncü nesil spektral WAVEWATCH – III TM modelini kullanarak 31 yıllık dalga özellikleri simülasyonuna göre analiz etmiş ve değerlendirmişlerdir. Model, CFSR rüzgarları ve ETOPO2 batimetri verisiyle çalıştırılmıştır. En yüksek yıllık dalga gücü, çalışma alanının kuzey bölgesinde 20 kW/m²'yi aşan büyüklükte tespit edilmiştir. Potansiyelin,

Sunda kıyı sahanlığına doğru yavaş yavaş azaldığı ve batimetri karmaşıklığı, sığlaşma ve ada engel etkileri nedeniyle kıyı bölgelerinde minimum seviyesine ulaştığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, dalga gücünün mevsimsel ve yıllık dalgalanmalardan güçlü bir şekilde etkilendiği tespit edilmiştir. Farklı alt bölgeleri temsil eden dokuz lokasyon, dalga çiftçiliğinin uygunluğu hakkında daha fazla analizin yürütülebilmesi için seçilmiştir. Çeşitli DED cihazları için tahmini elektrik gücü de dahil olmak üzere çeşitli dalga enerji istatistikleri, dalga gücü çiftçiliği kurulumu için daha uygun alanlar olarak bazı istasyonları (Vietnam doğu kıyısında Hameau Mo, Luzon'un batı kıyısında Spratly adası, Palawan ve Cape Bolinao) ön plana çıkardığı belirtilmiştir. Orta düzey derinlikli DED cihazı olan Wave Dragon kullanılarak bu alanlardan üretilebilecek tahmini elektrik gücünün, yıllık olarak Eylül ve Şubat arasındaki altı aylık dönem için sırasıyla 712 ila 1211 kW ve 935-1680 kW arasında değiştiği belirlenmiştir.

Rusu (2015), Karadeniz'deki dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmiş ve aynı zamanda bazı ilgili enerji özellikleri ve olası paternleri tanımlamıştır. SWAN modeline dayanan bir dalga tahmin sistemi uygulanmış ve tüm deniz havzasında yoğun bir şekilde test edilmiştir. Optimal bir enterpolasyon tekniği göz önüne alındığında, belirgin dalga yükseklikleri açısından ve sonuç olarak da aynı zamanda dalga gücü açısından dalga model tahminlerinin açık bir gelişmesine yol açan, uydu verilerinin bir asimilasyon şeması geliştirilmiştir. Veri asimilasyonlu bu dalga tahmin sistemini kullanarak 15 yıllık (1999-2013) bir süre için simülasyonlar yapılmıştır. 15 yıllık dalga tahmininin sonuçları göz önüne alındığında, Karadeniz havzasındaki dalga enerjisi koşullarının bir analizi yapılmıştır. Ayrıca, Karadeniz'deki dalga enerjisi çıkarımının, özellikle hibrit çözümlerin perspektifinden ilgi konusu olabileceği sonucuna varılmıştır.

Sierra ve ark. (2016), sayısal modellemeden (tahmin) elde edilen 44 yıllık bir veri serisi kullanarak Fas'ın Atlantik kıyısındaki dalga enerjisi kaynağını incelemiştir. Dalga gücünün alansal dağılımı, o kıyı boyunca 23 noktadan elde edilen veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Tahmini kaynaklar (30 kW/m'ye kadar ortalama dalga gücü ve 262 MWh/m kadar ortalama yıllık dalga enerjisi) komşu Kanarya Adaları'na oranla biraz daha düşüktür. Bu bölgenin orta kısmının (29° 30' K ve 34° K enlemleri arasında) en üretken, kuzey ve güney kısımlarda ise, sırasıyla, İber Yarımadası ve Kanarya Adaları'nın sığlaşma etkisi nedeniyle kaynağın önemli ölçüde daha düşük olduğu

belirlenmiştir. Zamansal değişkenlik analizinin, kış mevsiminde yaz mevsiminden dört kat daha fazla dalga enerjisi kaynağı olduğu mevsimsel bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir.

Yukarıdaki literatür taramasından da görülebileceği gibi, Karadeniz’de gerçekleştirilen dalga enerji analiz çalışmalarının neredeyse tamamı tüm Karadeniz’i ilgi alanı olarak seçmiştir. Bazılarında ise iç içe geçmiş katmanlı sayısal ağ sistemi kullanılarak Karadeniz’in batı veya kuzey batı bölgeleri ilgi alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışmalardan Karadeniz’in enerji potansiyelinin en yoğun olduğu bölgenin, Karadeniz’in güney batı kıyıları (Türkiye kıyıları) olduğu görülmüştür. Ancak, bu alanların dalga enerji potansiyel değerlendirmesinin tüm Karadeniz’i ilgi alanı seçen modellemelere dayandığı da görülmektedir. Dünyanın farklı denizleri için yapılan çalışmalarda tüm denizi temsil eden modelle kaba bir değerlendirmenin yapılabildiği bundan dolayı da kaynak zengini olan bölgelere iç içe geçmiş katmanlı ve yakın kıyı dalga modellemesine dayanan modellerle odaklanarak dalga enerji potansiyel ve değişkenliğinin irdelendiği anlaşılmaktadır. Bütün bu nedenlerden ötürü, bu çalışmada Karadeniz’in yüksek enerjili bölgesi olan güney batı kıyılarına iç içe geçmiş katmanlı bir yakın kıyı dalga tahmin modeli yardımıyla odaklanarak dalga enerji potansiyel ve değişkenliğinin irdelenmesi hedeflenmiş ve bu doğrultuda çalışmalar yürütülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, çalışma bölgesi tanıtılarak çalışma kapsamında kullanılan veri kaynaklarından bahsedilmekte ve dalga gücü hesaplama prosedürü verildikten sonra dalga gücü potansiyel ve değişkenlik analizinde kullanılan formüller sunulmaktadır.

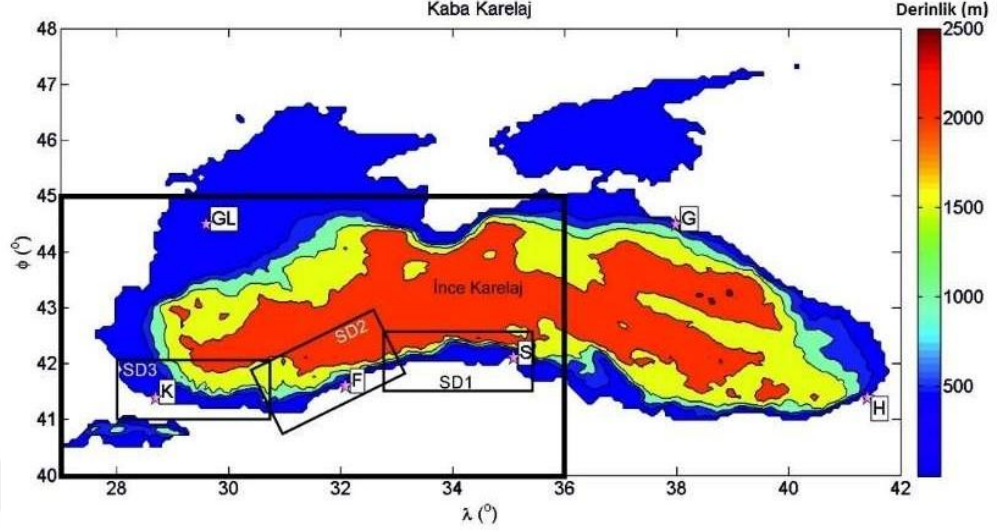
3.1. Çalışma Bölgesi

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan çalışma alanı olan Karadeniz, Güney Doğu Avrupa ve Batı Asya arasında yer almaktadır. Doğudan Kafkasya, güneyde Anadolu ve batıda Avrupa ile çevrilidir. 27° - 42° Doğu boylamları ve 40° - 47° Kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. 436400 km^2 'lik bir yüzey alanı kaplayan Karadeniz, maksimum 2588 m derinliğe ve toplamda 547000 km^3 hacme sahiptir (Özsoy ve Ünlüata, 1997). Karadeniz, bölge için ticaret, ulaşım ve çevre dengesinde önemli bir rol oynamaktadır. Karadeniz kıyılarındaki dalga yüksekliği ve rüzgar hızındaki uzun vadeli değişimlerin incelenmesi, uzun vadeli hava tahmini ve diğer denizcilik çalışmalarında önemlidir. Tüm Karadenizi inceleyen önceki çalışmalardan yüksek enerji potansiyelli alanların Karadeniz'in güney batı sahillerinde olduğu anlaşılmıştır. Bundan dolayı, Karadeniz gibi büyük bir yüzey alanını tek bir sayısal ağda modelleyerek doğruluğu sınırlı tutan çalışmalara nazaran bu çalışmada tüm Karadenizi içeren enlemde ve boylamda $0,067^{\circ}$ 'lik alansal çözünürlüğe sahip kaba bir sayısal ağ, batı Karadeniz'e odaklanan $0,02^{\circ}$ 'lik alansal çözünürlüğe sahip daha ince bir sayısal ağ ve bu sayısal ağın içerisinde de Karadeniz'in güney batı sahillerini içerecek şekilde seçilen $0,005^{\circ}$ 'lik alansal çözünürlüklere sahip 3 adet alt sayısal ağlar (sub-domains: SD1, SD2 ve SD3) tanımlanmıştır (Şekil 3.1).

3.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Veri Kaynakları

Karadeniz'in güney batı sahillerinin enerji varlığının ortaya çıkartılabilmesi için ihtiyaç duyulan dalga bilgisi, Bingölbali (2018) tarafından 2 saatlik zamansal çözünürlükte ve $0,005^{\circ}$ 'lik alansal çözünürlükte 1979 – 2009 yılları arası için 31 yıl boyunca biriktirilmiş veri tabanından temin edilmiştir. Bu veri tabanından çekilen berlignin dalga yüksekliği, ortalama dalga yönü ve dalga enerji periyodu parametrelerinin değerleri

kullanılarak dalga gücü potansiyeli hesaplanmış ve dalga gücünün istatistiksel analizi ve değişkenliği irdelenmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve Karadeniz'in batimetrisi

3.3. Dalga Gücü Hesaplama Prosedürü

Dalga enerji tahmini için pek çok çalışmada (Saket ve Etemad-Shahidi, 2012; Henfridsson ve ark. 2007; Abbaspour ve Rahimi, 2011) kullanılan en yaygın metot belirgin dalga yüksekliği ve periyodunu kullanan dalga güç hesaplama yöntemidir. Bu çalışmada da bu yöntemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada dalga gücü veya enerji akısı, tahmin edilmiş belirgin dalga yüksekliği ve enerji periyoduna dayanarak aşağıdaki adımlarla hesaplanmıştır.

Dalga sisteminin toplam enerjisi, dalganın kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır. Kinetik enerji, toplam enerjinin dalga hareketiyle birleşmiş bir su partikülünün hızından dolayı olan kısmıdır. Potansiyel enerji ise çukur ile dalga tepesi arasında kalan akışkan kütleinin oluşturduğu enerjidir. Bir okyanus dalgasının toplam enerjisi (E),

$$E = E_k + E_p \quad (1)$$

denkleminle hesaplanmaktadır. Burada; E_k kinetik enerji (Joules) ve E_p potansiyel enerji (Joules)'dir.

Lineer teoriye göre eğer potansiyel enerji ortalama su seviyesine göre saptanırsa, tüm dalgalar aynı yönde gelişmekte, potansiyel ve kinetik enerji bileşenleri eşit olmakta ve her birim dalga tepesi genişliğinin bir dalga boyundaki toplam dalga enerjisi aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$E_p = E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2)$$

Burada; H ve L sırasıyla dalga yüksekliği ve dalga boyunu, ρ ve g ise deniz suyunun özgül kütlesi ve yerçekimi ivmesini temsil etmektedir. Her birim yüzey alanındaki toplam ortalama dalga enerjisi, özgül enerji ya da enerji yoğunluğu (\bar{E}) olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\bar{E} = \frac{E}{L} \quad (3)$$

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (4)$$

Dalga enerjisi yayılmasının oranı doğrudan dalganın grup hızına bağlıdır. Grup hızı (C_g), dalganın faz hızına (C) bağlı olarak aşağıdaki formülle ifade edilebilmektedir.

$$C_g = n C \quad (5)$$

Bu denklemdeki n katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilen bir sabittir.

$$n = \frac{1}{2} \frac{1 + \frac{4\pi d}{L}}{\text{Sinh} \left(\frac{4\pi d}{L} \right)} \quad (6)$$

Burada; d su derinliğini ifade etmektedir. Derin denizlerde grup hızı (C_{g0}), Denklem 6'dan $n = 0,5$ olacağından,

$$C_{g0} = \frac{0.5 L_0}{T} \quad (7)$$

olarak sadeleşmektedir. Burada; L_0 derin deniz dalga boyunu temsil ederken T dalga periyodunu ifade etmektedir.

Dalga enerjisi akısı (dalga gücü) (\bar{P}), dikey bir düzlem boyunca dalga yayılımı yönünde iletilen enerjinin dalga ilerleme yönüne ve tüm derinliğe yayılması oranıdır. Doğrusal teoriyi varsaymayı sürdürerek, dik düzlem boyunca dalga gelişim yönünde iletilen her birim dalga tepesi genişliğinin ortalama enerji akısı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (US Army, 2003).

$$\bar{P} = \bar{E} C_g \quad (8)$$

$$P = \frac{\rho g}{8} H^2 C_g \quad (9)$$

Bu durumda, derin deniz şartlarında dalga gücü,

$$\bar{P} = \bar{E} C_{go} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8} \frac{g T_e}{4\pi} = \frac{\rho g^2 H_{rms}^2 T_e}{32\pi} \quad (10)$$

formülüyle tanımlanabilmektedir. Karadeniz için deniz suyu yoğunluğu tipik bir değer olarak 1015 kg/m^3 alındığında ve ortalama karekök dalga yüksekliği (H_{rms}) yerine aşağıdaki verilen denklemdeki (Goda, 2000; WMO, 1998) değeri konduğunda derin deniz şartı için dalga gücü aşağıdaki şekilde Karadeniz'e uyarlanabilmektedir.

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

$$\bar{P} \text{ (kilowatt/metre)} = 0.486 H_s^2 T_e \quad (12)$$

Burada; H_s ve T_e sırasıyla belirgin dalga yüksekliğini ve dalga enerji periyodunu temsil etmektedir.

3.4. Dalga Gücü Potansiyelinin Analizi

31 yıllık bir zaman dilimi için üretilen dalga veri setinden, katmanlı model sisteminin en içteki üç alt sayısal ağı için 2 saatlik zamansal çözünürlükteki dalga parametrelerinin (belirgin dalga yüksekliği H_{m0} ve dalga enerji periyodu T_{m-10}) alansal değişim haritaları üretilmiştir. Dalga parametrelerinin bu alansal haritalarından yararlanarak her bir sayısal ağdaki dalga gücü atlası; her yıl için 1979'dan 2009'a kadar aylık ortalama alansal dalga gücü değişim haritaları, mevsimlik ortalama alansal dalga gücü değişim haritaları,

yıllık ortalama alansal dalga gücü değişim haritaları, 31 yıl boyunca aylık ortalama alansal dalga gücü değişim haritaları, mevsimlik ortalama alansal dalga gücü değişim haritaları ve yıllık ortalama alansal dalga gücü değişim haritaları şeklinde türetilmiştir.

SWAN model ile alansal çıktılarının yanında, alt sayısal ağlarda belirlenen bazı istasyonlar için de dalga parametreleri biriktirilmiştir. Bu istasyonların her biri için elde edilen tahmin verileri kullanılarak dalga gücünün değişkenliği; her bir istasyon için dalga gücünün yıllık (ortalama ve maksimum), mevsimlik (ortalama, en yüksek en büyük değer ve ortalama en büyük değer), aylık (ortalama, en yüksek en büyük değer, ve ortalama en büyük değer) ve saatlik (ortalama) değişimleri, her istasyon için dalga gücü aşılma olasılık eğrileri, dalga gücü gülleri (yıllık ve mevsimlik), farklı belirgin dalga yüksekliği, dalga yönü ve enerji periyodu aralıklarında elde edilebilecek dalga enerji potansiyeli irdelenmiş ve ortaya çıkartılmıştır.

Bütün bu bulguların dışında, dalga enerji dönüştürücü sistemlerinin kurulumu, tasarımı ve yerinin belirlenmesine yönelik önemli bilgiler sunabilen; dalga gücünün yıllık, mevsimlik ve aylık değişim katsayıları, aylık değişkenlik indeksi, mevsimsel değişkenlik indeksi, dalga enerjisi toplam potansiyeli (rezervi), ve dalga enerjisi elde edilebilir potansiyeli (rezervi) de hesaplanmış ve irdelenmiştir.

Cornett (2008), bu parametrelerden değişim katsayısının (C_v), güç santralının yerinin belirlenmesinde verinin dağılım doğasını göz önünde bulundurmanın gerekli olduğuna işaret etmiştir. Kararlı enerji yoğunluğu enerjisi biriktirmek için elverişlidir. Farklı aylarda dalga enerjisinin değişim katsayısı hesaplanarak dalga enerjisinin kararlılığı sunulabilmektedir. Değişim katsayısının düşük olması enerji yoğunluğunun kararlılığının daha iyi olması anlamına gelmektedir. Hesaplama yöntemi aşağıdaki gibidir:

$$C_v = S / x_{ort} \quad (13)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\right)^2} \quad (14)$$

Burada; C_v , S ve x_{ort} sırasıyla dalga gücünün değişim katsayısını, standart sapmasını ve ortalamasını ifade etmektedir.

Bu çalışmada aynı zamanda, dalga enerji yoğunluğunun aylık değişkenlik indeksi de araştırılmıştır. Daha büyük aylık değişkenlik indeksi dalga enerjisinin daha büyük aylık değişimini temsil etmektedir. Bu, daha düşük kararlılık anlamına gelmektedir. Aylık değişkenlik indeksi ise aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$M_v = \frac{P_{M1} \cdot P_{M12}}{P_{yil}} \quad (15)$$

Burada; P_{M1} enerji yoğunluğu en fazla olan ay, P_{M12} enerji yoğunluğu en düşük ay ve P_{yil} yıllık ortalama enerji yoğunluğudur. Çalışılan zaman periyodu boyunca dalga enerji yoğunluğunun aylık ortalamaları hesaplanmakta ve dalga enerji yoğunluğunun aylık değişim indeksi bu zaman periyodu boyunca türetilmektedir.

Mevsimsel değişkenlik indeksini elde etmek için de aylık değişkenlik indeks hesabında kullanılan yöntem uygulanmaktadır. Yalnızca, aylık ortalamalar yerine her yılın mevsimsel ortalama dalga enerjisi yoğunlukları belirlenmekte ve mevsimsel değişkenlik indeksi de aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$S_v = \frac{P_{S1} \cdot P_{S4}}{P_{yil}} \quad (16)$$

Burada; P_{S1} enerji yoğunluğu en fazla olan mevsim, P_{S4} enerji yoğunluğu en düşük mevsim ve P_{yil} yıllık ortalama enerji yoğunluğudur. Bütün bu üç değişkenlik indeks (C_v , M_v ve S_v) değerlendirmesi, Karadeniz'in güney batısında kurulması gündeme gelebilecek dalga enerji dönüşüm sisteminin bu kıyı şeridi boyunca nerede en kararlı olarak çalışacağı bilgisini sunmaktadır. Bu yüzden, bu değerlendirmeler dalga enerji dönüşüm sistemlerinin kurulması gereken yer hakkında ve ayrıca sistem çalışması durumunda elde edebileceği enerjisinin değişkenliği hakkında detaylı bilgiler vermektedir.

Zheng ve ark. (2013), günümüzdeki birkaç mükemmel dalga güç dönüşüm cihazları ile dalganın 0,5 m'den daha büyük değerlere ulaşması durumunda dalga enerjisini iyi bir şekilde absorbe edebileceğini ifade etmekte ve bundan dolayı da, 0,5 m'den daha büyük belirgin dalga yüksekliğine sahip dalgaların sahip olacağı enerjinin elde edilebileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada, Zheng ve ark. (2013)'nin önerdiği metot kullanılarak Karadeniz'in güney batı kıyılarının elde edilebilir belirgin dalga yüksekliğinin oluşma yüzdeleri alansal olarak belirlenmiştir. Daha sonra, elde edilebilir dalga enerji kaynağı hesaplanmıştır. Bunun için hesap yöntemi aşağıda verilmektedir:

$$E_{PT} = P_{ort} * t \quad (17)$$

$$E_{PE} = P_{ort} * t_E \quad (18)$$

Burada, t bütün yıl boyunca toplam saat (365 gün * 24 saat = 8760 saat), E_{PT} dalga enerji kaynağının toplam rezervi, E_{PE} dalga enerji kaynağının elde edilebilir rezervi, P_{ort} yıllık ortalama dalga enerji yoğunluğu ve t_E bütün yıl boyunca elde edilebilir belirgin dalga yüksekliğinin ($H_{m0} > 0,5$ m) toplam oluşma saatidir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

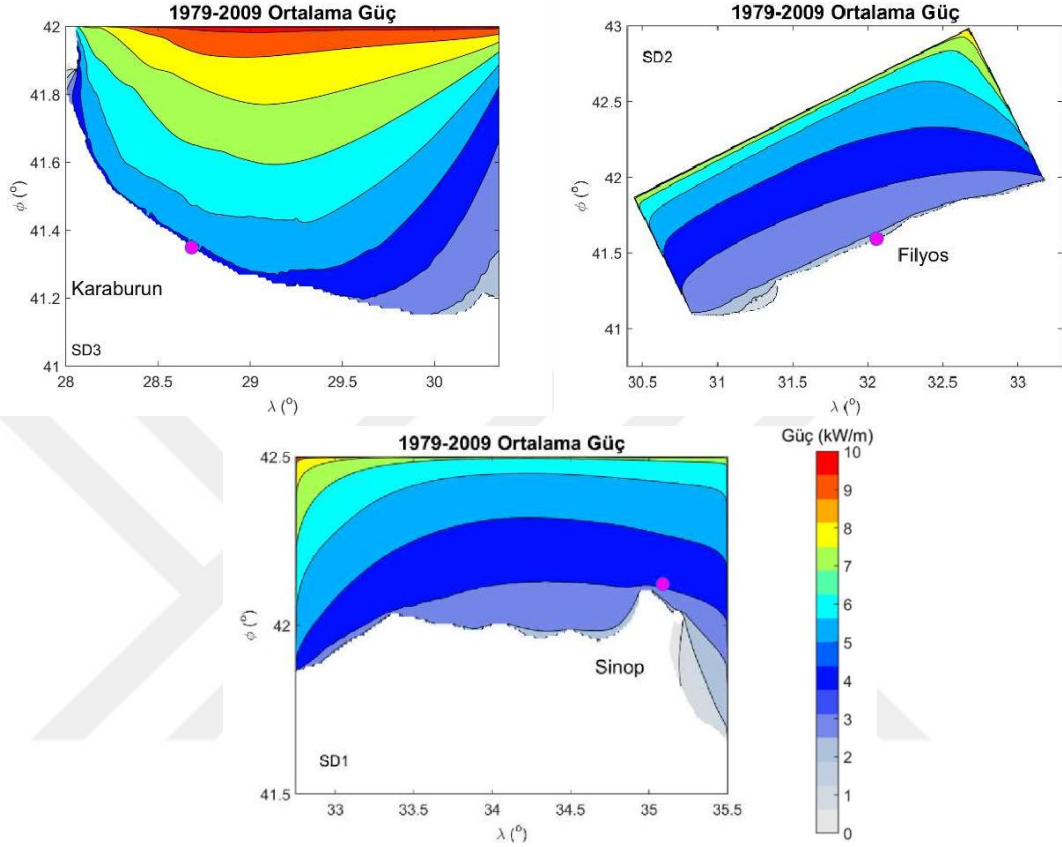
Rüzgar dalgası simülasyonları, 31 yıllık bir süre için gerçekleştirilmiştir ve bu nedenle, Karadeniz'in güney batı kıyılarına odaklanarak geliştirilen iç içe geçmiş SWAN modeline dayanan üç alt sayısal ağ için bir çok önemli dalga parametresi biriktirilmiştir. Üç alt alanın her biri için ayrı ayrı 31 yıl boyunca biriktirilen veri seti kullanılarak dalga enerji potansiyelinin varlığı ve değişkenliği; dalga enerji akısının (dalga gücü) 31 yıl boyunca ve her yıl için ayrı ayrı yıllık, mevsimlik ve aylık ortalama değişimleri, dalga gücünün yıllık, mevsimlik ve aylık değişim katsayısının 31 yıl boyunca alansal değişimleri, dalga gücünün aylık ve mevsimsel değişkenlik indeksinin alansal değişimi, göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Dalga gücü toplam potansiyeli alansal değişimi ve dalga gücü elde edilebilir potansiyelinin alansal değişimi hesaplanmış ve irdelenmiştir. Her üç alt sayısal ağda seçilmiş olan istasyonlar için ayrı ayrı 31 yıl boyunca biriktirilen verilerden yararlanarak her istasyon için; ortalama, ortalama en büyük, en yüksek en büyük dalga gücünün saatlik, aylık ve mevsimlik değişimleri, yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün lineer eğilimleri, yıllık ve mevsimlik dalga gücü gülleri, dalga gücü aşılma olasılık eğrileri, farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında yıllık ortalama dalga enerjisi, ve farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında yıllık ortalama dalga enerjisi farklı dalga periyotlarında ve yükseklik aralıklarında hesaplanmış, belirlenmiş ve analiz edilmiştir.

Tüm bu bulguların yanı sıra, dalga enerji dönüştürücülerinin kurulumu, tasarımı ve konumu için önemli bilgiler sağlayabilecek birkaç parametre belirtilmiş ve hesaplanmıştır. Bunlar; değişim katsayısı, aylık değişkenlik indeksinin alansal değişimi, mevsimsel değişkenlik indeksinin alansal değişimi, toplam dalga enerjisi potansiyeli (rezervi) ve elde edilebilir dalga enerjisi potansiyelidir.

4.1 Dalga Enerji Akısının Yıllık, Mevsimlik ve Aylık Ortalama Değişimleri

Her alt sayısal ağ için üretilen 31 yıllık uzun dönemli rüzgar ve dalga parametrelerini içeren veri setleri kullanılarak anlık dalga enerji akısı Bölüm 3.3'te belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. Örneğin; alt sayısal ağlarda rüzgar ve dalga verileri 2 saatlik bir zaman çözünürlüğünde biriktirildiğinden dalga enerji akısı da bu her 2 saatlik çözünürlükte ilgili belirgin dalga yüksekliği ve dalga enerji periyodu verileri kullanılarak

hesaplanmıştır. Hesaplanan bu dalga gücü haritaları kullanılarak dalga enerji akısının uzun dönemli 31 yıl boyunca ortalama yıllık, mevsimlik ve aylık alansal değişimleri de belirlenmiş ve Şekil 4.1 –Şekil 4.5’de sunulmuştur.

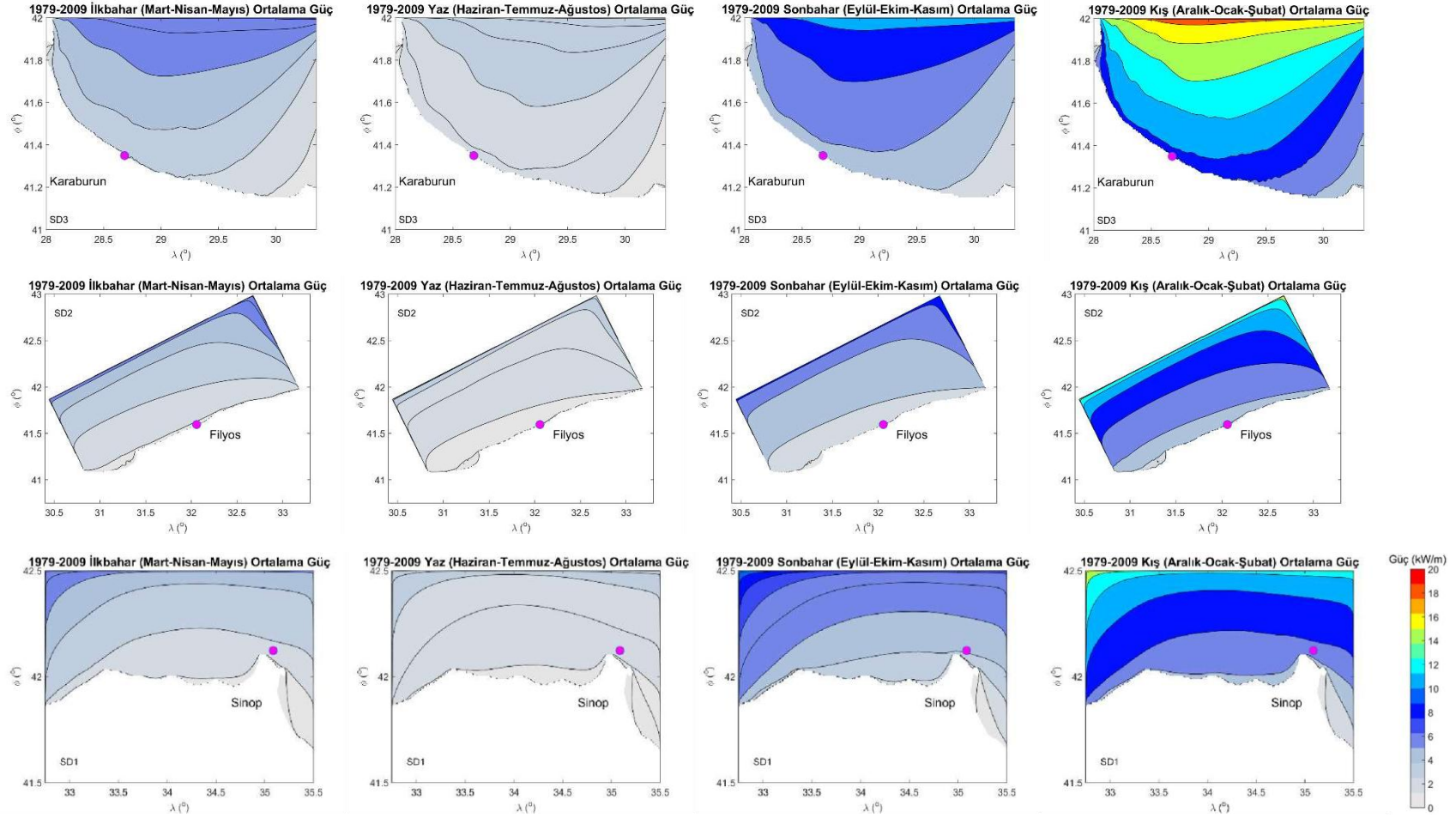


Şekil 4.1. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık ortalama dalga enerji akısı

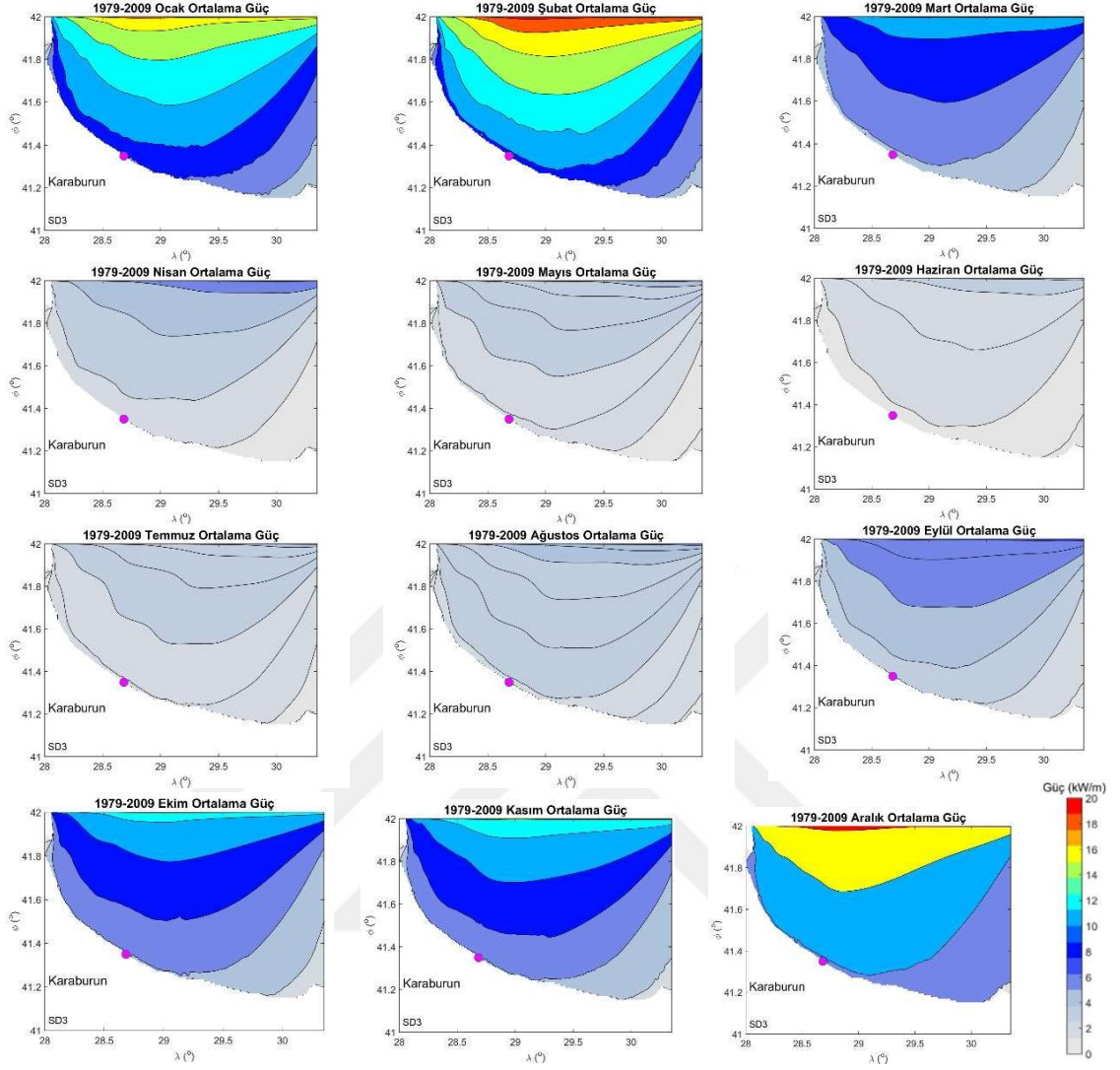
Şekil 4.1’den de görülebileceği gibi, Karaburun SD3 sayısal ağının doğusundan batısına doğru dalga enerji akısı artmaktadır. Karaburun ölçüm istasyonundan Bulgaristan sınırına kadar 5 kW/m ‘lik bir ortalama dalga gücüne sahip olduğu anlaşılmaktadır. Filyos ve Sinop sayısal ağlarında ise, kıyı çizgisinden açıklara doğru dalga enerji akısı artış eğilimindedir. Filyos sayısal ağı yakın kıyı bölgesinde 4 kW/m ve daha düşük dalga enerji akısı mevcutken Sinop sayısal ağı yakın kıyı bölgesinde daha düşük dalga enerjisinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.2, Sinop SD1, Filyos SD2 ve Karaburun SD3 sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama dalga enerji akısının alansal dağılım haritalarını göstermektedir. Bu haritalara göre; bütün sayısal ağlarda en düşük dalga enerji akısı yaz mevsiminde 2

kW/m ve/veya daha düşük bir değerdedir. Bütün sayısal ağlarda her mevsim dalga enerji akısının alansal dağılımları bütün veriye dayanan yıllık ortalama alansal dağılım eğrileri ile çok büyük bir benzerlik göstermektedir ancak değer olarak farklılıklar mevcuttur. En yüksek dalga enerji akısının bütün sayısal ağlarda kış mevsiminde ve takiben sonbahar mevsiminde oluştuğu görülmektedir. Kış mevsiminde Sinop sayısal ağında kıyı boyunca 6 kW/m ortalama dalga enerji akısı mevcutken Filyos sayısal ağında kıyı boyunca biraz daha düşük bir enerji gözlenmektedir. En yüksek ortalama dalga enerji akısı, Karaburun sayısal ağının batı bölgesinde 10 kW/m civarında oluşabilmektedir.

Karaburun SD3 sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısının alansal dağılım haritaları Şekil 4.3'te sunulmuştur. Bu haritalardan da görülebileceği gibi, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları hem alansal dağılım eğrileri hem de değer anlamında benzerlik göstermektedir. Bu sayısal ağda Haziran ayı ise, en düşük enerjili ay konumundadır. Bu 6 ayı kapsayan dönem düşük enerjili dönemdir. Daha yüksek enerjili diğer 6 ay içerisinde Mart, Ekim ve Kasım aylarında sayısal ağın batı kesiminde 5 kW/m ortalama dalga enerji akısı gözlenmişken, kış aylarında sayısal ağın batı kesimi kıyılarında 10 kW/m civarında bir dalga enerji akısının mevcut olduğu da görülmektedir.

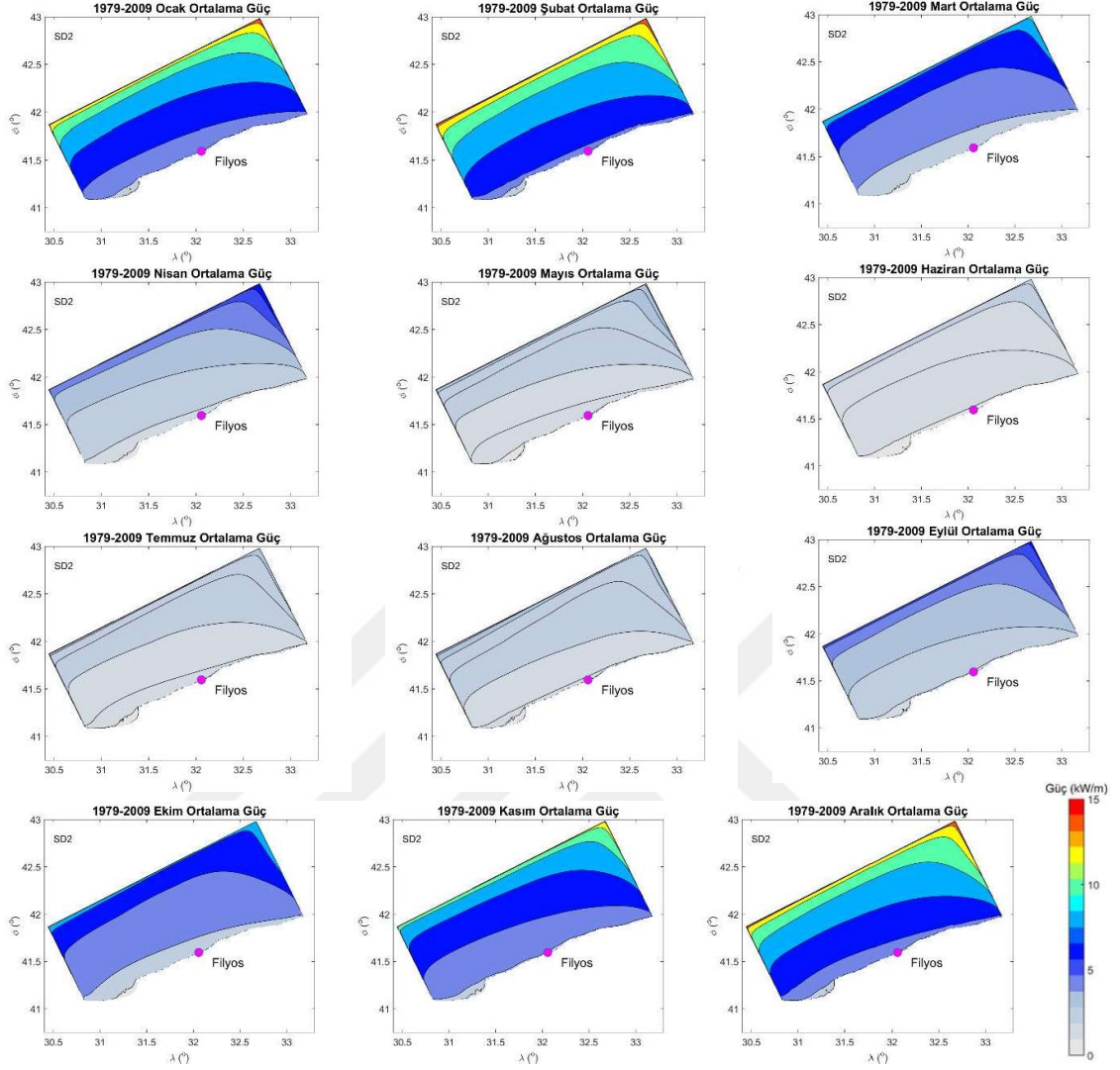


Şekil 4.2. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama dalga enerji akısı



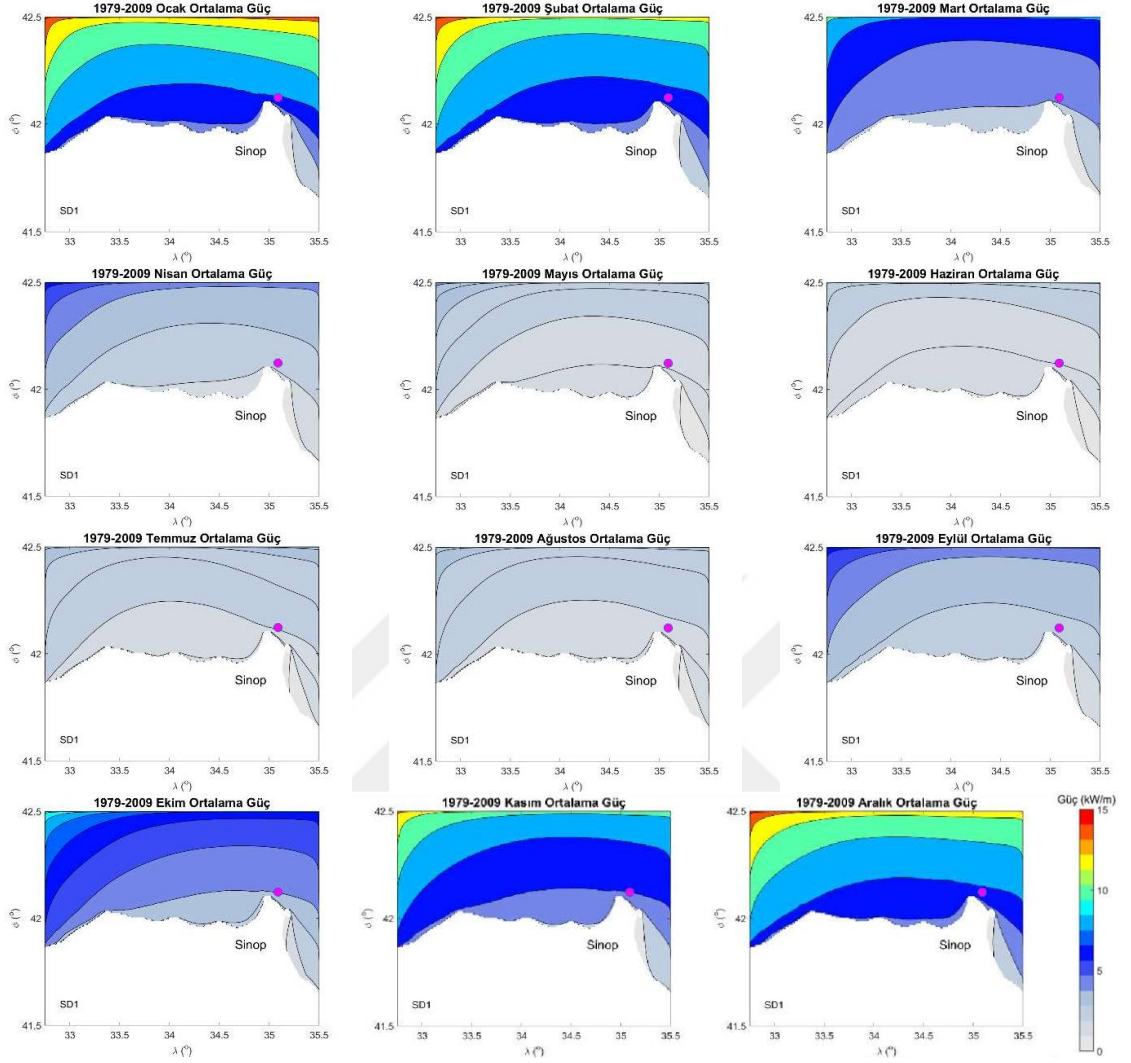
Şekil 4.3. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısı

Filyos SD2 sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısının alansal dağılımları Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu haritalardan da görülebileceği gibi; Karaburun sayısal ağındaki benzer durum burada da mevcuttur. Nisan – Eylül ayları en düşük enerjili dönemi, Mart, Ekim ve Kasım ayları daha yüksek enerjili dönemi ve kış ayları ise en yüksek enerjili dönemi oluşturmaktadır. Bu sayısal ağda kış aylarında kıyı boyunca 6 kW/m²'lik bir dalga enerji akısının olduğu belirlenmiştir.



Şekil Error! No text of specified style in document.4.4. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısı

Sinop SD1 sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısının alansal dağılım haritaları Şekil 4.5’de sunulmuştur. Bu sayısal ağda da diğer iki sayısal ağda görülen durum söz konusudur. Nisan – Eylül ayları düşük enerjinin mevcut olduğu bir dönemi, Mart, Ekim ve Kasım ayları daha yüksek enerjinin bulunduğu dönemi ve kış ayları da en yüksek enerjiye sahip dönemi yansıtmaktadır. Kış aylarındaki ortalama dalga enerji akısı Sinop Burnunun doğusu koy bölgesi hariç kıyı boyunca 6 kW/m civarındadır.

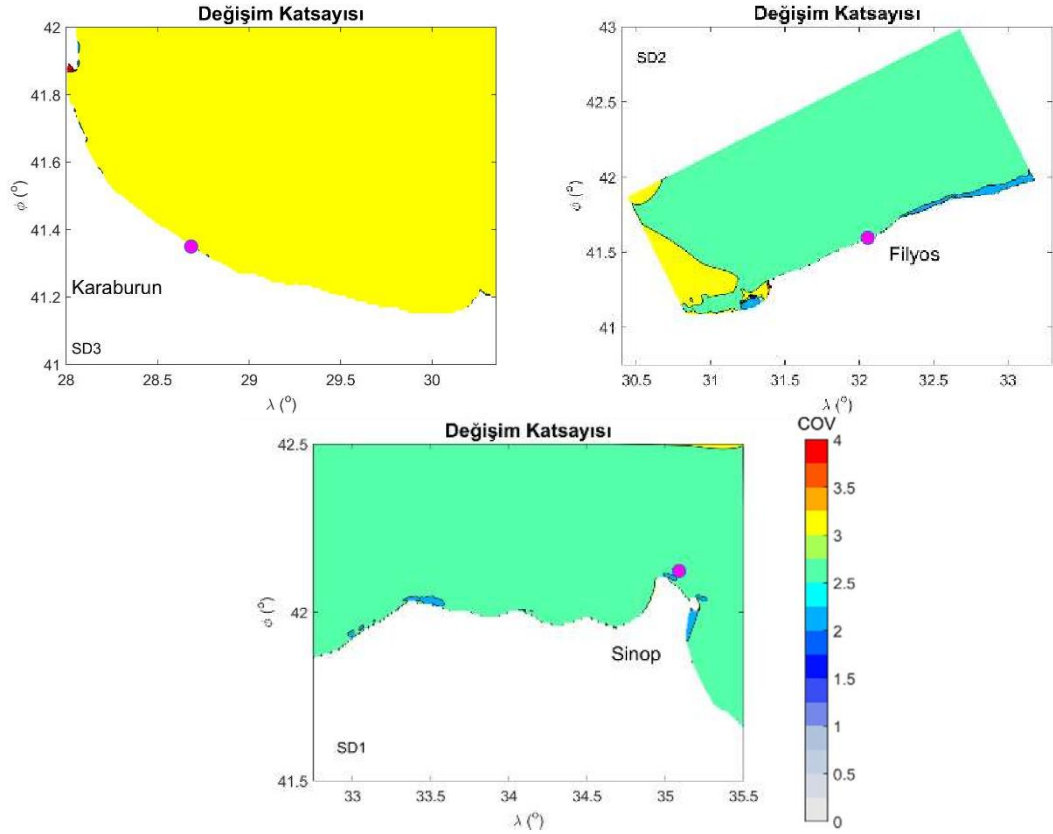


Şekil 4.5. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji akısı

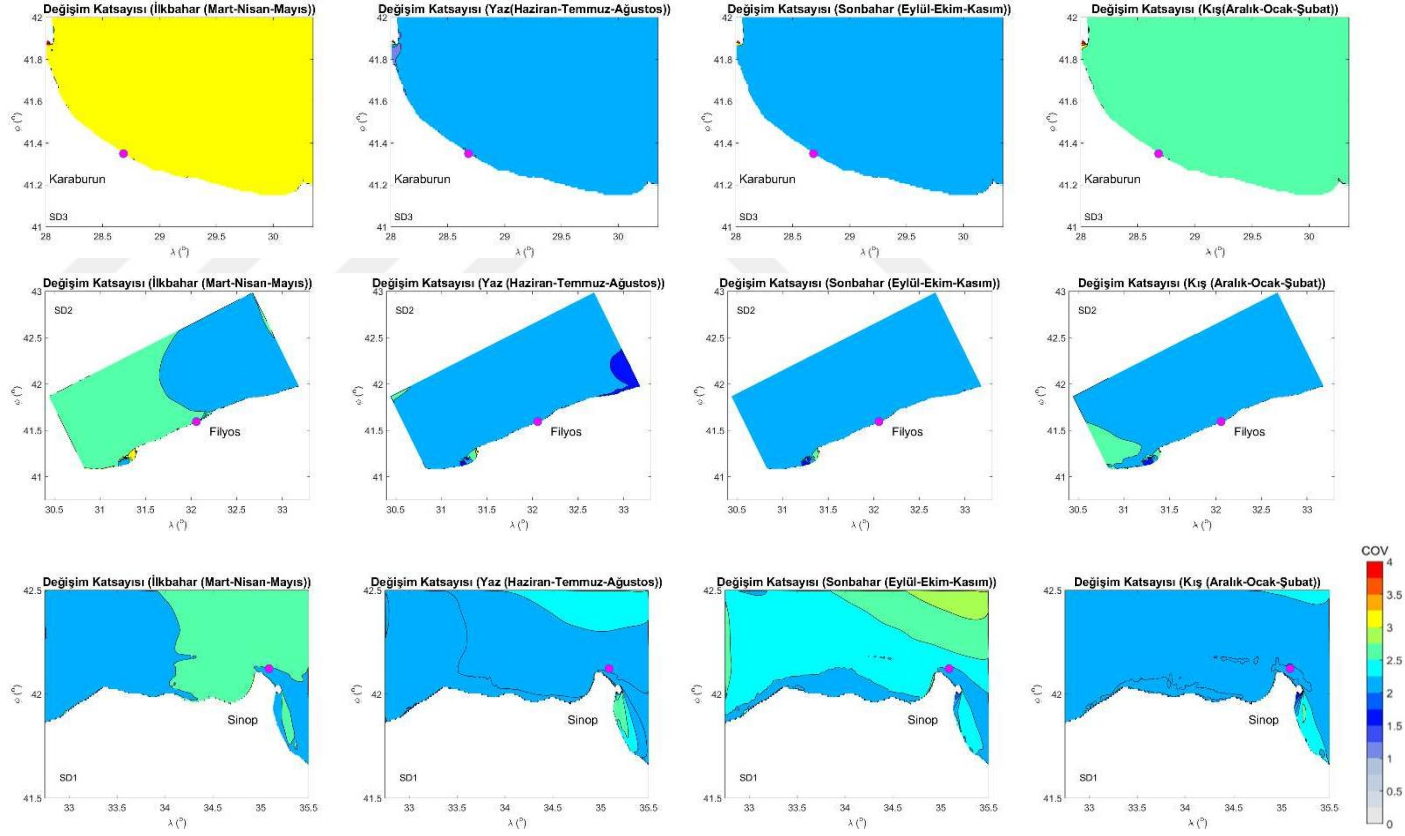
4.2. Dalga Gücünün Yıllık, Mevsimlik Ve Aylık Değişim Katsayısının Alansal Değişimleri

Mevcut verinin standart sapmasının ortalamasına oranı olarak belirlenebilen değişim katsayısı (C_v), elde edilebilecek enerjinin elverişli olup olmadığını belirleyen bir kriterdir. Değişim katsayısının düşük olması dalga enerji yoğunluğunun kararlı olduğunu ve dolayısıyla kararlı enerji yoğunluklu bölgenin dalga enerjisinin elde edilebilmesinde elverişli olduğuna işaret etmektedir. Bundan dolayı, hesaplanan dalga enerji akısı haritalarından yararlanarak her bir alt sayısal ağ için dalga enerji akısının yıllık, mevsimlik ve aylık değişim katsayısının alansal dağılımları hesaplanmış ve Şekil

4.6 – Şekil 4.10’da sunulmuştur. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık değişimleri Şekil 4.6’da sunulmuştur. Bu şekildeki değişim katsayısının alansal dağılımlarına göre; Karaburun sayısal ağının tamamında ve Filyos sayısal ağının batı tarafında sayısal ağın sınır bölgesinde küçük bir alanda yıllık değişim katsayısının 3 – 3,25 değerleri arasında olduğu ve Filyos sayısal ağının geri kalanında ve Sinop sayısal ağının tamamında yıllık değişim katsayısının 2,5 – 2,75 arasında olduğu belirlenmiştir. Buradan, ortalama dalga enerji akısının yüksek olduğu bölgelerde dalga enerji akısının değişim katsayısının da yüksek olduğu ve böylelikle dalga enerji akısı yüksek olmayan bölgelerin kararlı bir dalga enerji akısına sahip olmasından dolayı dalgadan enerji elde edilmesinde daha elverişli olabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.6. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık değişimi

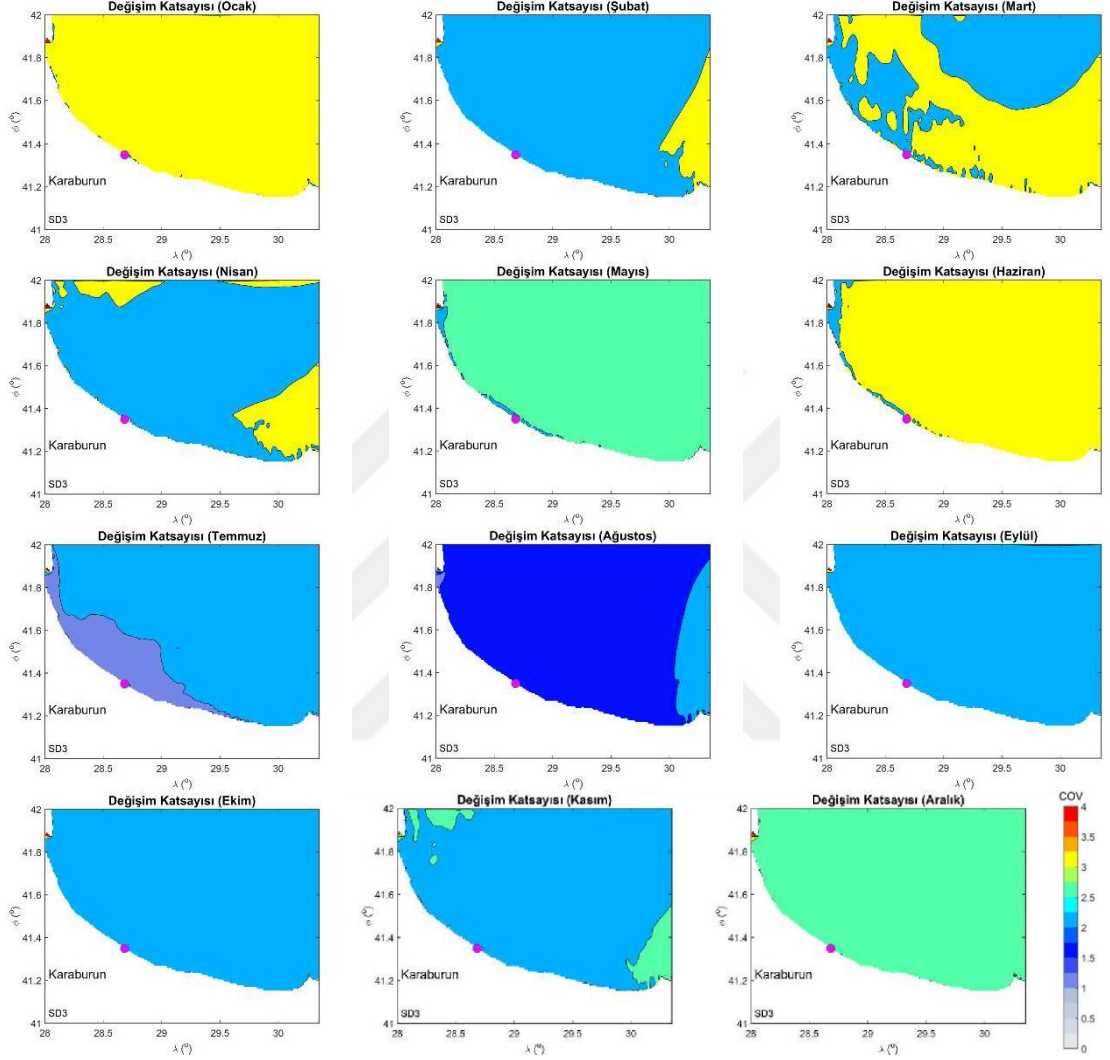


Şekil 4.7. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimlik değişimi

Şekil 4.7’den de görülebileceği gibi; ilkbahar mevsiminde Karaburun sayısal ağının tamamında dalga enerji akısının yıllık değişim katsayısı 3 – 3,25 aralığında, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sayısal ağın hemen hemen tamamında 2 – 2,25 aralığında ve kış mevsiminde sayısal ağın tamamında 2,5 – 2,75 aralığında değerler almaktadır. Filyos sayısal ağında; ilkbahar mevsiminde Filyos ölçüm istasyonunun batısında dalga enerji akısının değişim katsayısı 2,5 – 2,75 ve doğusunda 2 – 2,25 aralığında değişim gösterirken, sonbahar mevsiminde sayısal ağın tamamı ve yaz ve kış mevsimlerinde sayısal ağın hemen hemen tamamı 2 – 2,25 aralığında bir değişim katsayısına sahiptir. Sinop sayısal ağında; ilkbahar mevsiminde sayısal ağın batı tarafı 2 – 2,25 ve doğu tarafı artarak 2,5 – 2,75 aralığında bir değişim katsayısı gösterirken Sinop Burnunun doğusu biraz daha düşük bir değişim katsayısına sahip olmakta ancak koy bölgesine doğru girildikçe değişim katsayısı tekrardan artmaktadır. Yaz mevsiminde, sayısal ağın büyük çoğunluğu 2 – 2,25 aralığında dalga gücü değişim katsayısına sahipken sayısal ağın kuzey doğusuna doğru daha yüksek bir değişim katsayısı gözlenirken Sinop Burnunun doğusunda koy bölgesine doğru değişim katsayısı 2,75 değerine kadar yükselmektedir. Sonbahar mevsiminde, dalga enerji akısının değişim katsayısı kıyı boyunca 2 – 2,25 aralığında değerlere sahipken açık denize doğru ve kuzey doğu yönünde gitgide artmaktadır. Yine, Sinop Burnunun doğusunda koy bölgesinde de yüksektir. Kış mevsiminde, sayısal ağın hemen hemen tamamı 2 – 2,25 aralığında bir değişim katsayısına sahip olmaktadır. Buradan, Karaburun ve Filyos sayısal ağlarında ilkbahar ve Sinop sayısal ağında sonbahar mevsiminde diğer mevsimlere kıyasla dalga enerji akısının daha yüksek değişim katsayısı göstermesi bu mevsimlerde kararlı bir dalga enerji akısına sahip olunamadığı ve böylece dalgadan enerji elde edilmesinde elverişli olunamayacağı anlaşılmaktadır.

Karaburun SD3 sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık alansal değişimleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Bu şekildeki haritalardan da görülebileceği gibi, Ocak, Mayıs ve Eylül aylarında sayısal ağın hemen hemen tamamında dalga enerji akısının değişim katsayısı sırasıyla 3 – 3,25, 2,5 – 2,75 ve 2 – 2,25 aralığında değerler almaktadır. Ağustos ayında sayısal ağın büyük çoğunluğunda 1,5 – 1,75 aralığında iken Şubat, Nisan, Temmuz ve Kasım aylarında yine sayısal ağın büyük çoğunluğunda 2 – 2,25 aralığında bir değişim katsayısı gözlenmektedir. Mart ayında, sayısal ağın batı bölümünde kıyı boyunca değişim

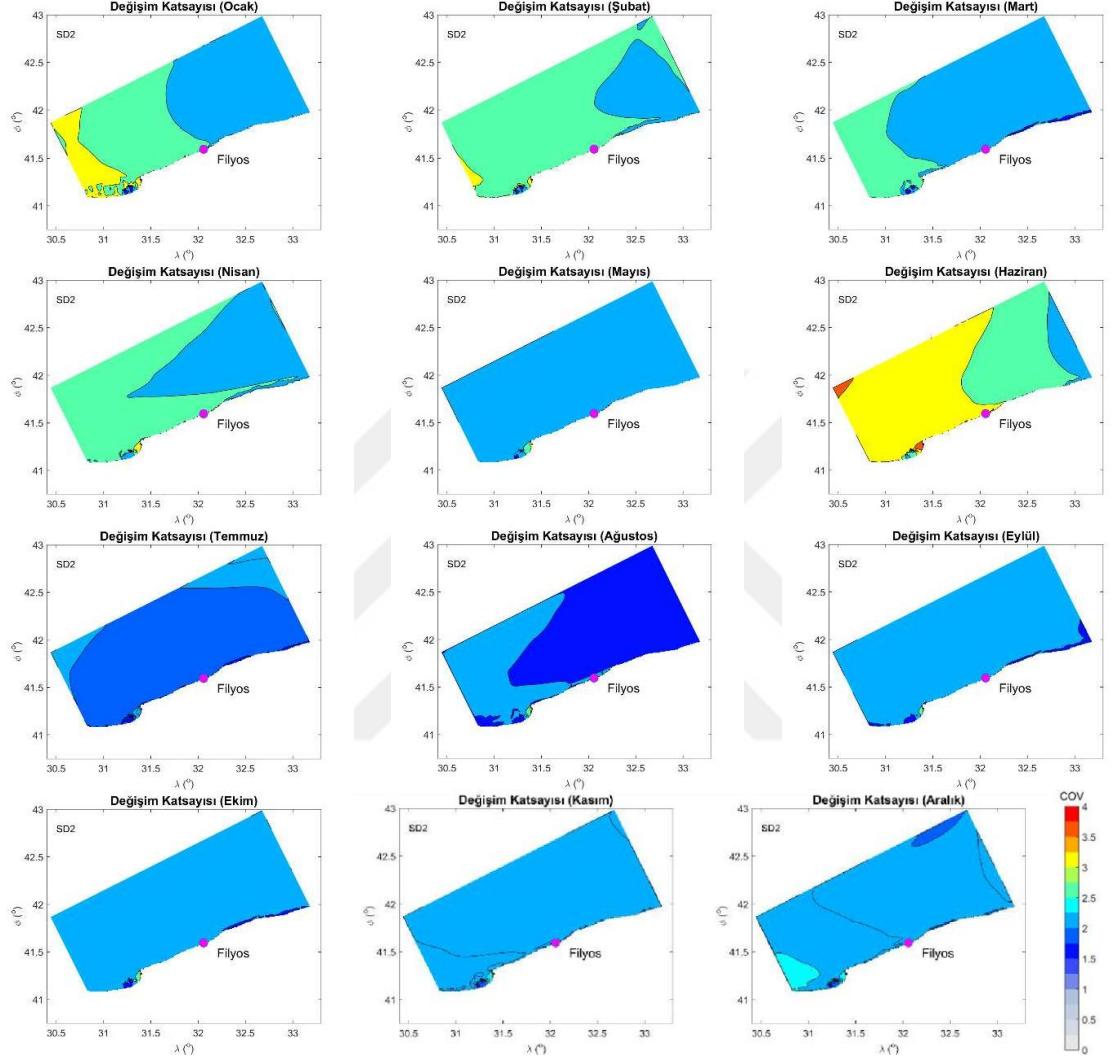
katsayısı 2 – 2,25 aralığında iken doğusunda kıyı boyunca 3 – 3,25 aralığında olduğu görülmüştür. Haziran ve Ocak ayları dalga enerji akısı değişim katsayısının en yüksek olduğu aylardır.



Şekil 4.8. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık değişimi

Filyos SD2 sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık alansal değişimleri Şekil 4.9’da sunulmuştur. Ocak ve Haziran aylarında sayısal ağın batısında dalga enerji akısının değişim katsayısı 3 – 3,25 aralığında iken doğuya doğru azalarak en doğuda 2 – 2,25 aralığında değerler almaktadır. Şubat ve Mart aylarında, sayısal ağın büyük çoğunluğunun sırasıyla 2,5 – 2,75 ve 2 – 2,25 aralığında değişim katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Eylül –

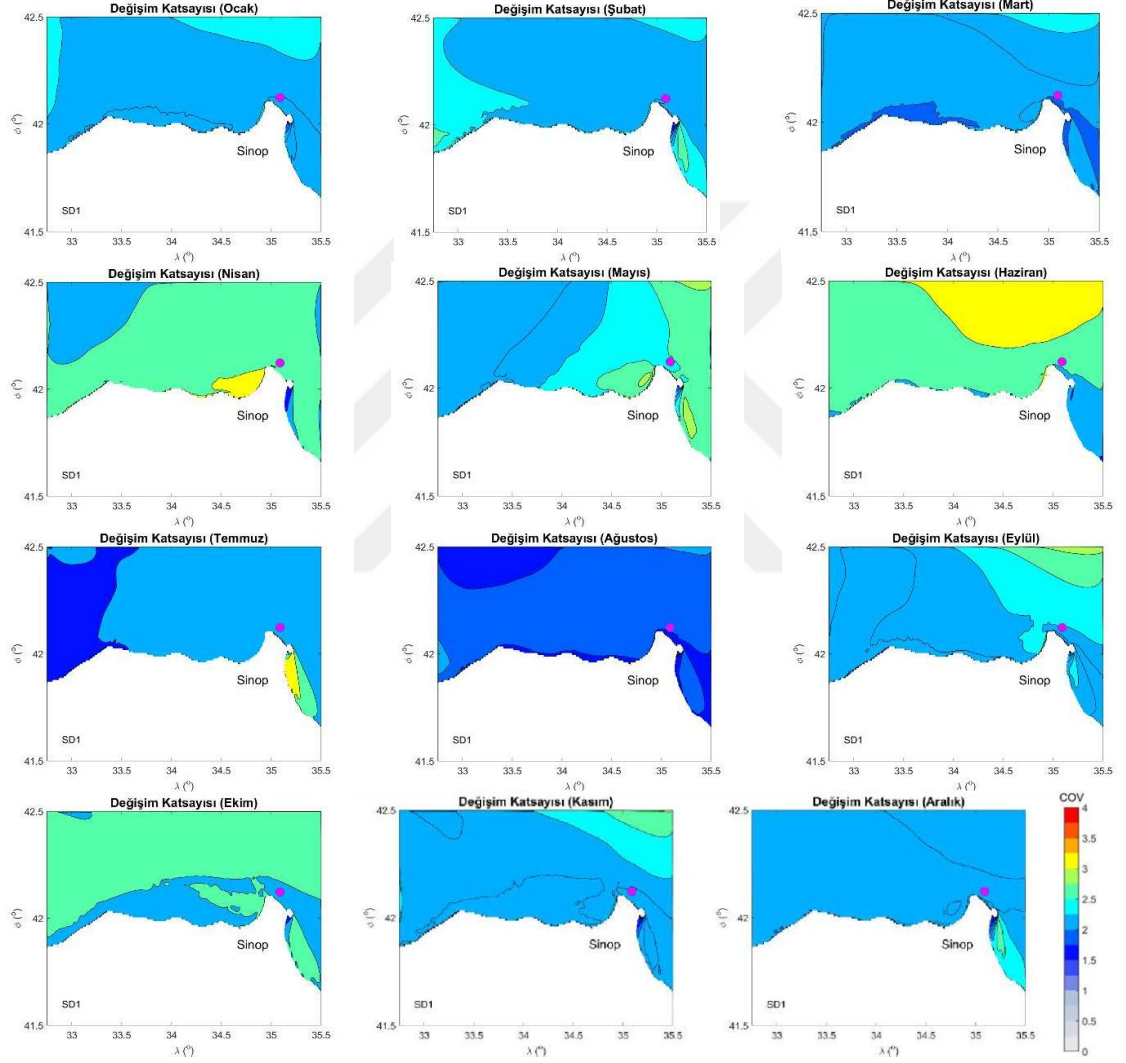
Aralık aylarında ve Mayıs ayında sayısal ağın tamamında değişim katsayısı 2 – 2,25 aralığındadır. Bu sayısal ağda yine en yüksek değişim katsayısı Ocak ve Haziran aylarında görülmüştür.



Şekil 4.9. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık değişimi

Sinop SD1 sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık alansal değişimleri Şekil 4.10'da sunulmuştur. Bu şekildeki haritalardan da görülebileceği gibi, en yüksek değişim katsayısına sahip ay Haziran'dır. Ayrıca, Nisan ayında İnce Burunun batı tarafında kıyı boyunca Ayancık bölgesindeki Usta Burnuna kadar ki bölgede ve Temmuz ayında Sinop Burnunun doğusunda koy bölgesinde de en yüksek değişim katsayısı 3 – 3,25 aralığında görülmüştür. Kasım –

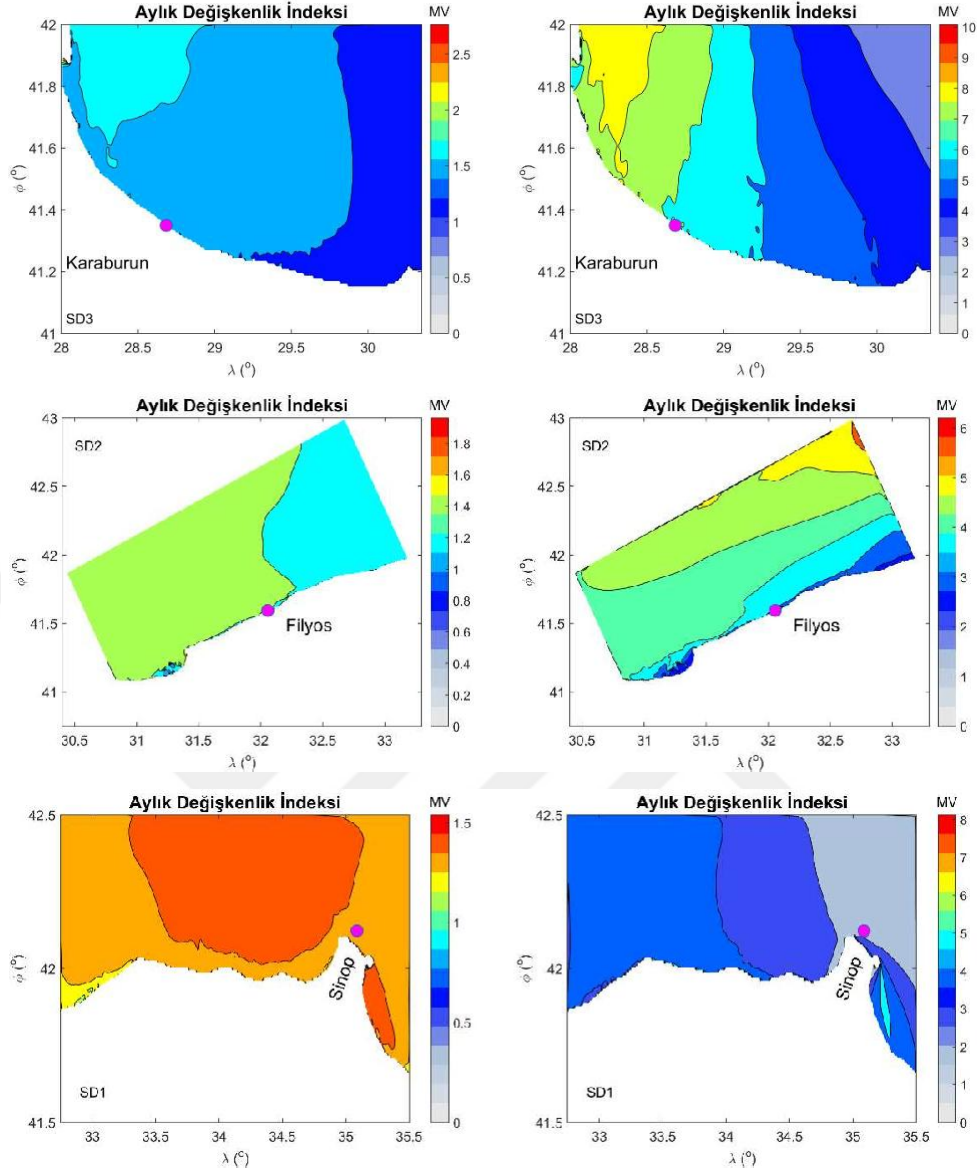
Mart aylarında dalga enerji akısının değişim katsayısı sayısal ağın büyük çoğunluğunda 2 – 2,25 aralığındadır. Nisan ve Haziran aylarında sayısal ağın büyük çoğunluğunda 2,5 – 2,75 aralığında bir değişim katsayısı görölmüştür. Ekim ayında, kıyı boyunca değişim katsayısı 2 – 2,25 aralığında iken açıklarda 2,5 – 2,75 aralığındadır. Ağustos ayında 1,5 – 1,75 aralığında bir değişim katsayısı bütün sayısal ağda görölmektedir. Bu ay, en düşük değişim katsayısını gösteren aydır.



Şekil 4.10. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait dalga gücünün değişim katsayısının 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık değişimi

4.3. Dalga Gücünün Aylık Ve Mevsimsel Değişkenlik İndeksinin Alansal Değişimi

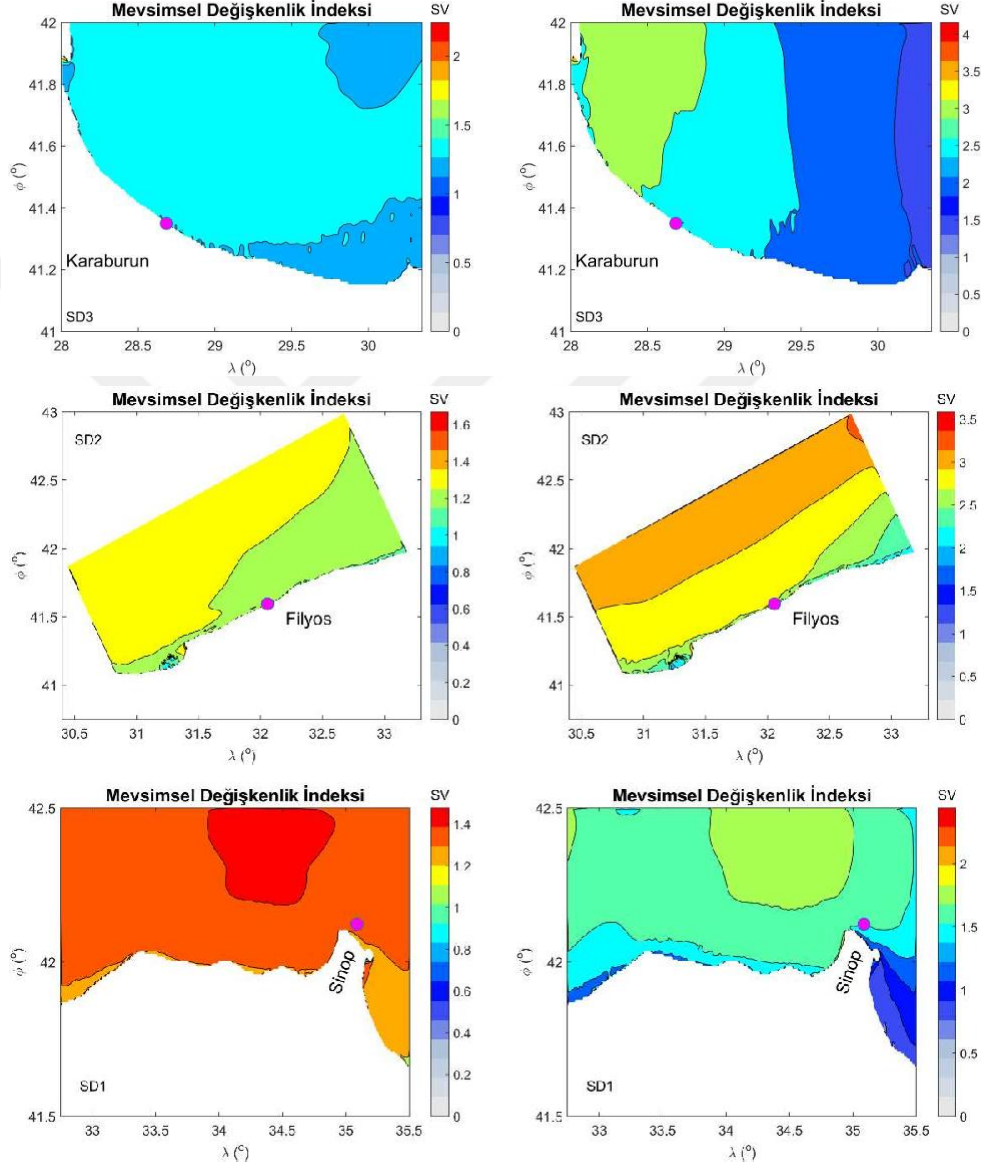
Bir bölgedeki dalga gücünün kararlılığı o bölgede daha fazla enerji elde edilebileceği anlamına gelmektedir. Enerji yoğunluğu en yüksek ay ve mevsim ortalama dalga enerji akısından enerji yoğunluğu en düşük ay ve mevsimin ortalama dalga enerji akısı farklarının tüm yılların ortalama dalga enerji akısına oranı olarak belirlenen aylık (M_v) ve mevsimlik (S_v) değişkenlik indekslerinin bir bölgede büyük çıkması o bölgedeki enerji kararlılığının düşük olduğunu göstermektedir. Böylece, o bölgede enerji elde edilmesinin düşük değişkenlik katsayılı bölgelere kıyasla elverişsiz olduğu sonucuna varılmaktadır. Burada, iki farklı şekilde değişkenlik indeks hesabı yapılmıştır. İlkinde, 31 yıl boyunca yalnızca 4 mevsim için belirlenmiş ortalama dalga enerji akıları kullanılmıştır. Yani, tüm veriye dayanan kış mevsimi ortalama dalga enerji akısı değerlerinden tüm veriye dayanan yaz mevsimi ortalama dalga enerji akısı değerleri farklarının tüm veriye dayanan ortalama dalga enerji akısı değerlerine oranı olarak mevsimlik değişkenlik indeksi hesaplanmıştır (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sol sütun). Aylık değişkenlik indeksleri; Karaburun, Filyos ve Sinop sayısal ağlarında sırasıyla en yüksek enerjili Aralık, Şubat ve Aralık ve en düşük enerjili Ağustos, Temmuz ve Ağustos aylarının ortalama dalga enerji akıları farklarının tüm veriye dayanan ortalama dalga enerji akısına oranı ile belirlenmiştir. İkincisinde, 31 yıl boyunca her yılın 4 mevsiminin veya ayının ortalama dalga enerji akıları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sağ sütun). Örneğin; Karaburun için mevsimlik değişkenlik indeksi, bütün yıllar içerisinde en yüksek enerjili 1981 yılının kış mevsimi ortalama dalga enerji akısı değerlerinden bütün yıllar içerisinde en düşük enerjili 1981 yılının yaz mevsimi ortalama dalga enerji akısı değerleri farklarının tüm veriye dayanan ortalama dalga enerji akısı değerlerine oranı olarak belirlenmiştir. Karaburun sayısal ağının aylık değişkenlik indeksi, bütün yıllar içerisinde en yüksek enerjili 1981 yılının Ocak ayı ortalama dalga enerji akısı değerlerinden bütün yıllar içerisinde en düşük enerjili 1979 yılının Mayıs ayı ortalama dalga enerji akısı değerleri farklarının tüm veriye dayanan ortalama dalga enerji akısı değerlerine oranı olarak hesaplanmıştır. İkinci yöntemle göre belirlenen aylık ve mevsimlik değişkenlik indeksleri (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sağ sütun) her bir sayısal ağda ilk yöntemde belirlenenlere (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sol sütun) kıyasla daha yüksek değerler sunmuştur.



Şekil 4.11. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca dalga enerji akısının aylık değişkenlik indeksi

Karaburun sayısal ağında ilk yöntemle göre belirlenen aylık değişkenlik indeksi (Şekil 4.11’de sol sütun) sayısal ağın doğusunda 1 iken batısına doğru artarak Bulgaristan sınırında 1,7 değerine ulaşmaktadır. İkinci yöntemle göre belirlenen (Şekil 4.11’de sağ sütun) de ise, sayısal ağın kıyı kesiminin büyük çoğunluğunda aylık değişkenlik indeksi 1,8 değerine sahipken geri kalan kısımlarında 1,6 civarında değerler almaktadır. Filyos sayısal ağında, ilk yöntemle göre sayısal ağın batısında aylık değişkenlik indeksi 1,4 iken doğusunda azalarak 1,2 değerine gerilemiştir. Sinop sayısal ağında ise, kıyı şeridinin neredeyse tamamında 1,3 değerinde bir aylık değişkenlik indeksi mevcutken

Sinop Burnunun doğusunda koy bölgesinde 1,5 ve Kerempe Burnundan batıya doğru kıyı boyunca 1,2 değerinde bir aylık değişkenlik indeksi bulunmuştur. İkinci yöntemle göre, Filyos sayısal ağında kıyı boyunca aylık değişkenlik indeksi 4 ve daha düşükken, Sinop sayısal ağının tamamında bu değerden daha düşük bir aylık değişkenlik indeksi elde edilmiştir.



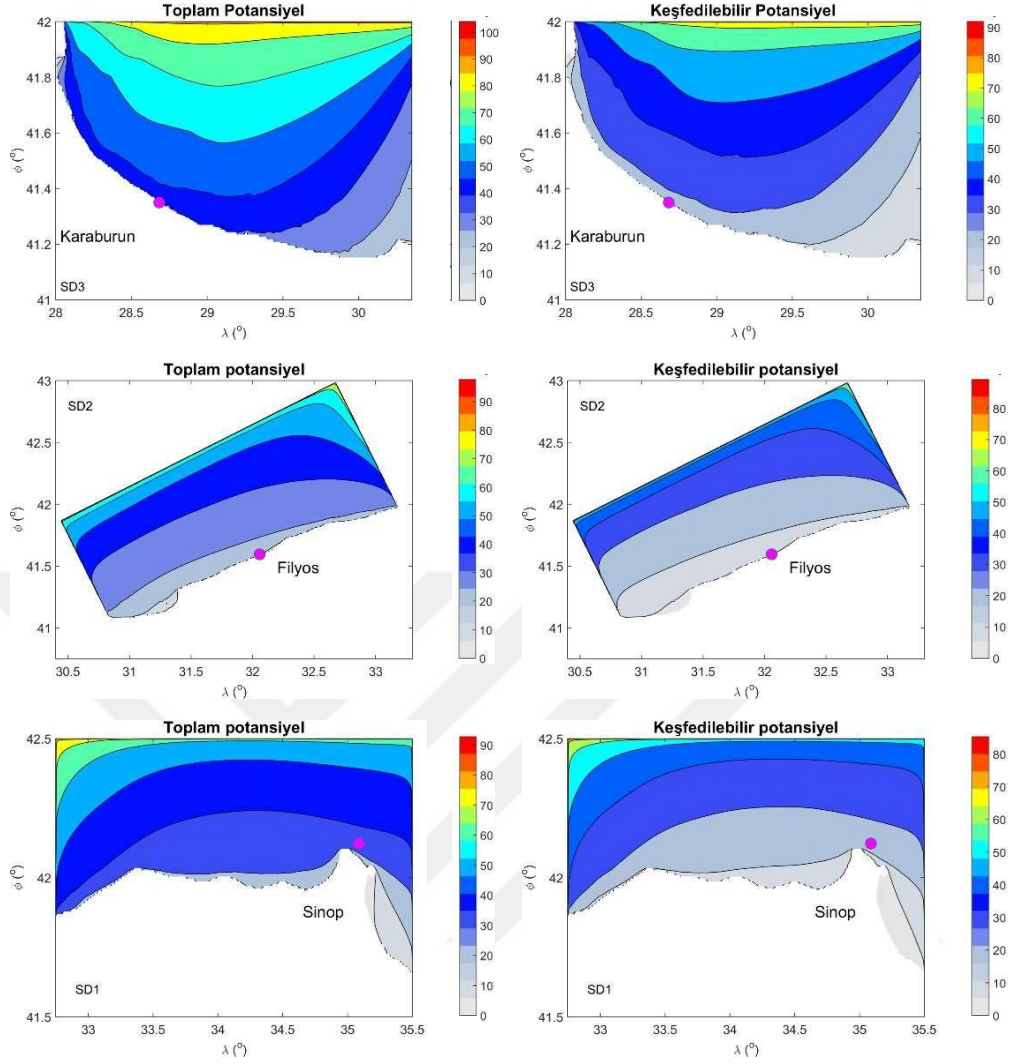
Şekil 4.12. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca dalga enerji akısının mevsimsel değişkenlik indeksi

İlk yöntemle göre belirlenen mevsimlik değişkenlik indeksi (Şekil 4.12’de sol sütun) Karaburun sayısal ağının hemen hemen tamamında 1,25 civarında değerler alırken Filyos sayısal ağında kıyı boyunca 1,2 ve açıklara doğru 1,3 değerinde ve Sinop sayısal ağının tamamında 1,2’den daha büyük değerler almaktadır.

İkinci yöntemle göre belirlenen mevsimlik değişkenlik indeksi (Şekil 4.12’de sağ sütun) Karaburun sayısal ağının doğu tarafında 1,5 iken batıya doğru artarak en batıda 3 civarında değerler almaktadır. Filyos sayısal ağının orta bölgesinde 2,7 civarında mevsimsel değişkenlik indeksi mevcutken her iki doğu ve batı yönünde kıyıya doğru azalarak 2,5 – 2 aralığında değerlere sahip olmaktadır. Sinop sayısal ağında ise, kıyı şeridi boyunca 1,5 civarında mevsimsel değişkenlik indeksi görülürken Sinop Burnunun doğusunda koy bölgesine doğru bu değer daha da düşmektedir. Bütün bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, dalga enerji akısı düşük olan bölgelerde değişkenlik indeks değerleri de düşük çıkmakta ve dalgadan enerji elde edilmesi daha elverişli olmaktadır.

4.4. Dalga Gücü Toplam ve Elde Edilebilir Potansiyellerin Alansal Değişimi

Üç alt sayısal ağ için bölgelerin toplam ve elde edilebilir dalga enerji potansiyelleri Denklem 17 ve 18’e dayanarak hesaplanmış ve her bir alt sayısal ağ için alansal dağılımları Şekil 4.13’de verilmiştir. Bu şekle göre; Karaburun sayısal ağında toplam potansiyel sayısal ağın doğusunda 30 MWh/m/yıl iken Şile’den Bulgaristan sınırına kadar ki kıyı şeridi boyunca 40 MWh/m/yıl ve bu bölgede açıklara doğru 80 MWh/m/yıl’lık bir toplam potansiyelin mevcut olduğu görülmektedir. Aynı sayısal ağda, elde edilebilir dalga enerji potansiyeli de toplam potansiyelle benzer bir alansal dağılım göstermekte ancak Karaburun ölçüm istasyonunun biraz açıklarına doğru 25 MWh/m/yıl’lık bir potansiyelin olduğu diğer bölgelerde ise daha düşük bir potansiyelin mevcut olduğu belirlenmiştir. Filyos sayısal ağında bütün kıyı boyunca 30 MWh/m/yıl ve daha düşük bir toplam potansiyel ve 20 MWh/m/yıl’dan daha düşük bir elde edilebilir dalga enerji potansiyeli mevcuttur. Sinop sayısal ağında toplam potansiyel kıyı boyunca 30 MWh/m/yıl’dan daha düşük iken elde edilebilir potansiyel 20 MWh/m/yıl’dan daha düşüktür ve her iki toplam ve elde edilebilir potansiyeller sayısal ağda açıklara doğru artmaktadır.

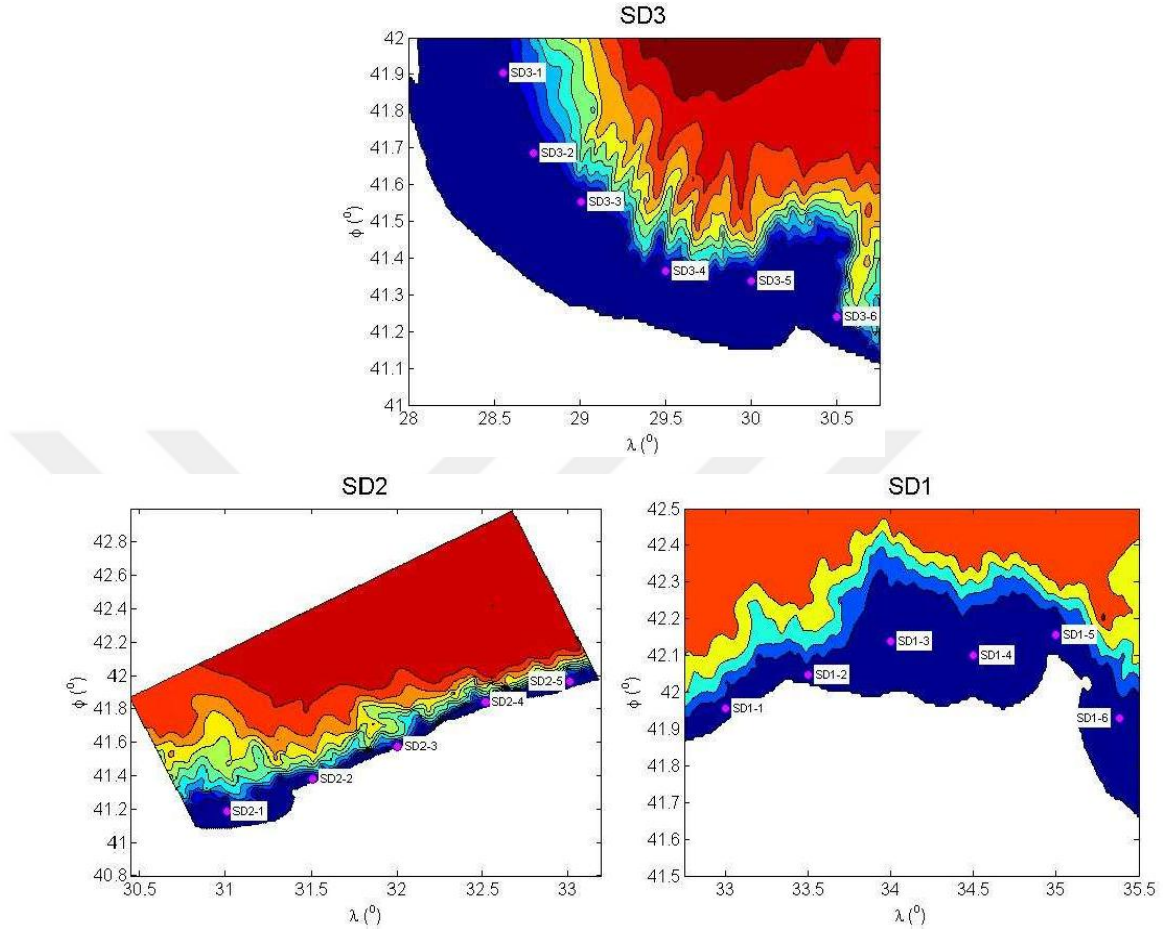


Şekil 4.13. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) sayısal ağlarına ait 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş dalga gücü toplam ve elde edilebilir potansiyelleri (MWh/m/yıl)

4.5. Dalga Gücünün Saatlik, Aylık ve Mevsimlik Değişimleri

Üç alt sayısal ağda kıyı boyunca yaklaşık 100 m derinliklerde seçilmiş olan istasyonlar (Şekil 4.14) için uzun dönemli biriktirilen verilerden yararlanarak bu istasyonlarda dalga enerji akısının saatlik, aylık ve mevsimlik değişkenliği irdelenmiştir. Öncelikle, dalga enerji akısının günün 24 saatlik zaman dilimlerinde 31 yıl boyunca ortalama değerleri belirlenmiş, daha sonra, yine günün 24 saatlik her zaman dilimi için 31 yıl boyunca her yılın maksimum değerleri üretilen veri setinden çıkartılmıştır. Bu

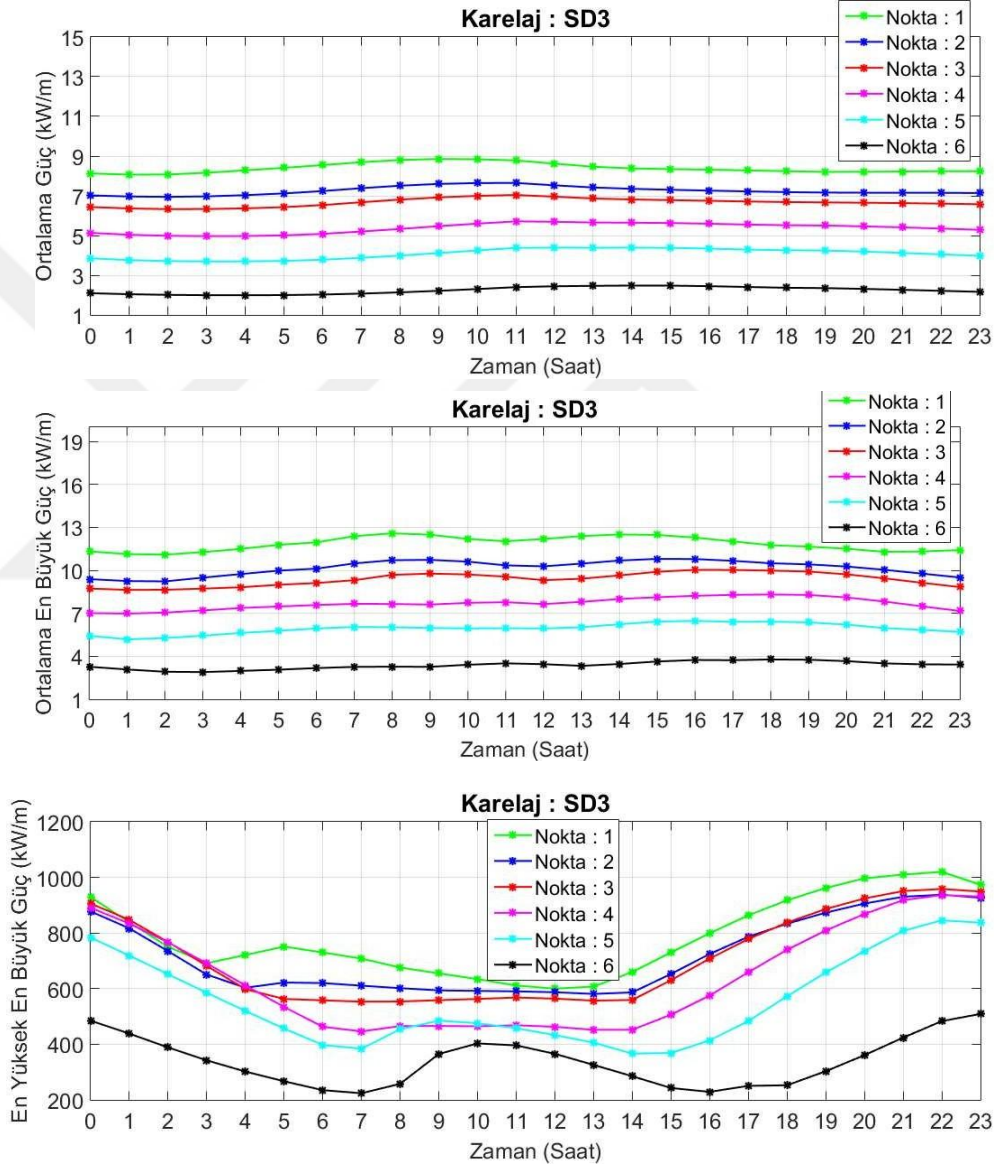
maksimum değerlerden yararlanarak her istasyonda ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri belirlenmiştir.



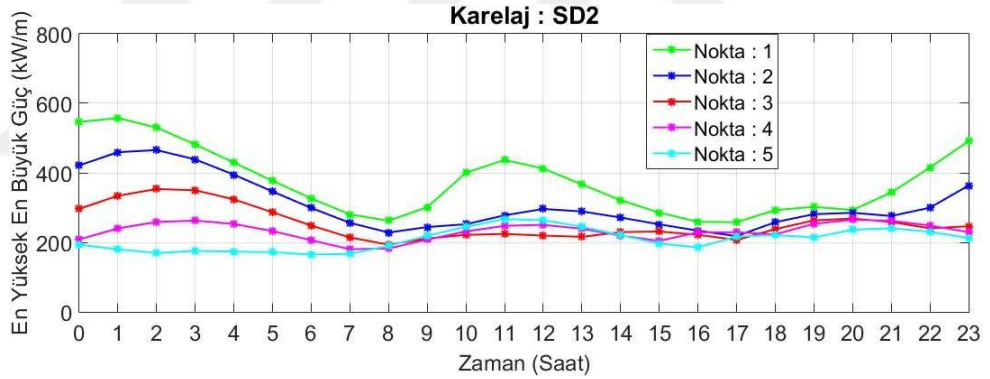
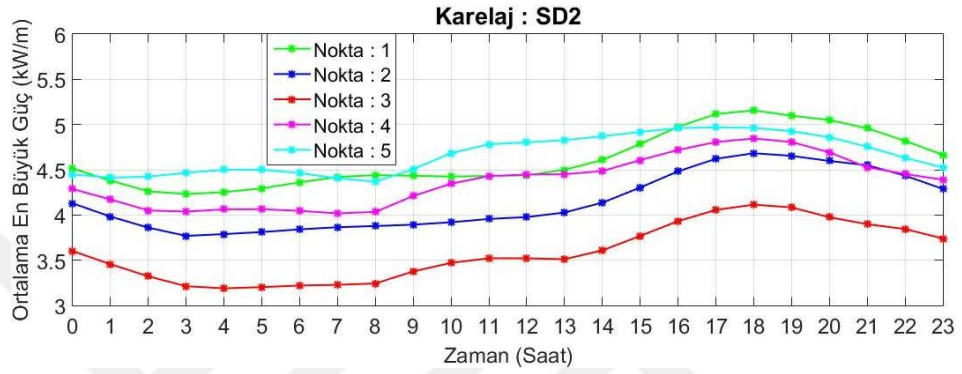
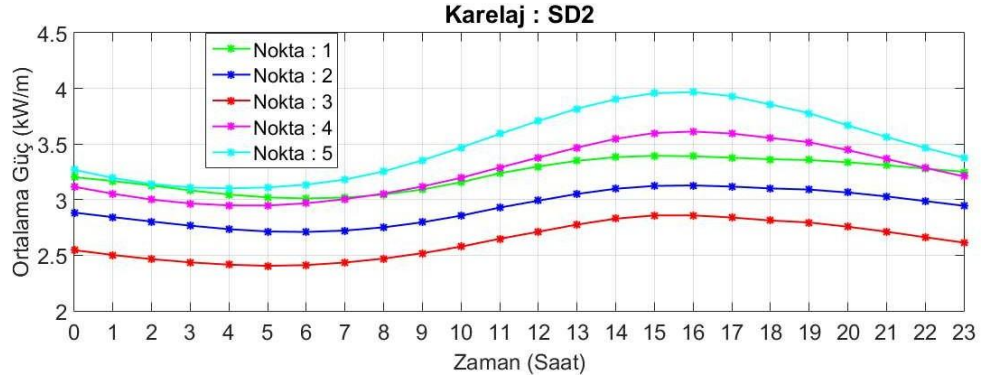
Şekil 4.14. Üç alt sayısal ağda seçilmiş istasyonların yerleri

Karaburun (SD3), Filyos (SD2) ve Sinop (SD1) sayısal ağlarına ait seçilmiş istasyonlar için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri Şekil 4.15 – Şekil 4.17’de sunulmuştur. Şekil 4.15’e göre; Karaburun SD3 sayısal ağında, ortalama dalga gücünün saatlik değişimindeki dalgalanma maksimum 1 kW/m civarındadır. Bu dalgalanma 6 No’lu istasyon hariç bu sayısal ağdaki diğer bütün istasyonlarda sabah 7:00 ile öğleden sonra 14:00 arasında büyük değerler verecek şekilde olmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.15’ten de görülebileceği gibi, ortalama güç ve ortalama en büyük güç değerleri sayısal ağın en batısından en doğusuna doğru azalmaktadır. 6 No’lu istasyon için ortalama güç ve ortalama en büyük güç bütün saat dilimleri için yaklaşık olarak sırasıyla 2 kW/m ve 4

kW/m iken 1 No'lu istasyonda 8 kW/m ve 12 kW/m civarındadır. En büyük en yüksek güç değeri ise, 6 No'lu istasyon hariç bu sayısal ağdaki diğer bütün istasyonlarda sabah 3:00 ile 15:00 arasında düşük seviyededir. En yüksek en büyük güç değeri 1 No'lu istasyonda günün 21. – 23. saatlerinde 1000 kW/m civarında görülmüştür. En yüksek en büyük güç değeri 6 No'lu istasyonda 200 kW/m iken bu istasyona en yakın 5 No'lu istasyonda 400 kW/m civarındadır.



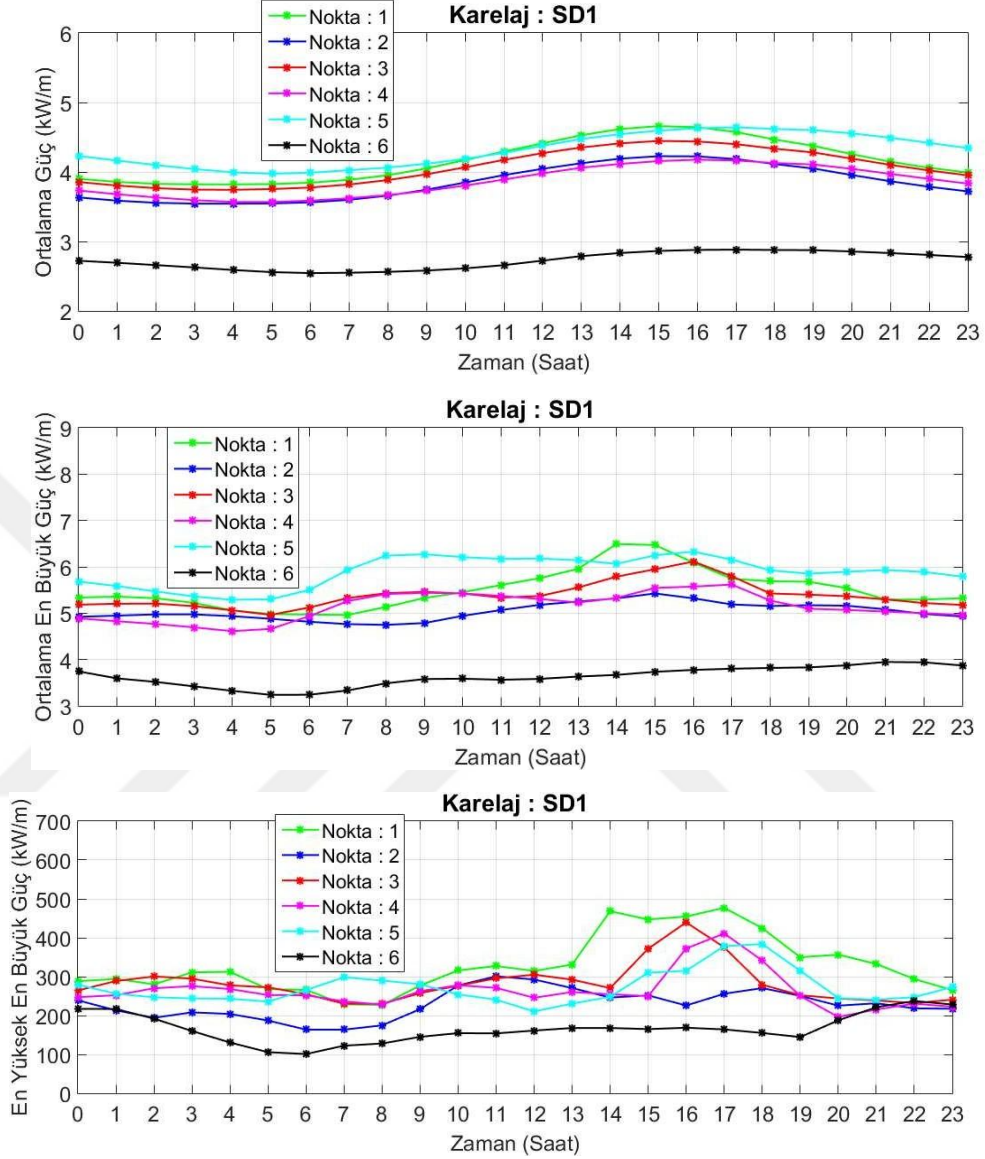
Şekil 4.15. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri



Şekil 4.16. SD2 (Filyos) sayısal ağna ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri

Filyos sayısal ağında, ortalama güç değeri bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda sabah 7:00'den sonra artış göstermiş ve 16:00 'dan sonra da düşüş göstermiştir (Şekil 4.16). Bu sayısal ağda da ortalama güç batıdan doğuya doğru azalırken 4 No'lu ve daha sonra da 5 No'lu istasyonlarda diğerlerine kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, Karaburun sayısal ağındaki 6 No'lu istasyonun ortalama güç değerleri bu sayısal ağdaki 1 No'lu istasyondaki ortalama güç değerlerinden daha düşüktür. Ancak, Karaburun sayısal

ağındaki diğer bütün istasyonlardaki ortalama güç Filyos sayısal ağındaki bütün istasyonlardaki ortalama güçten daha büyüktür.

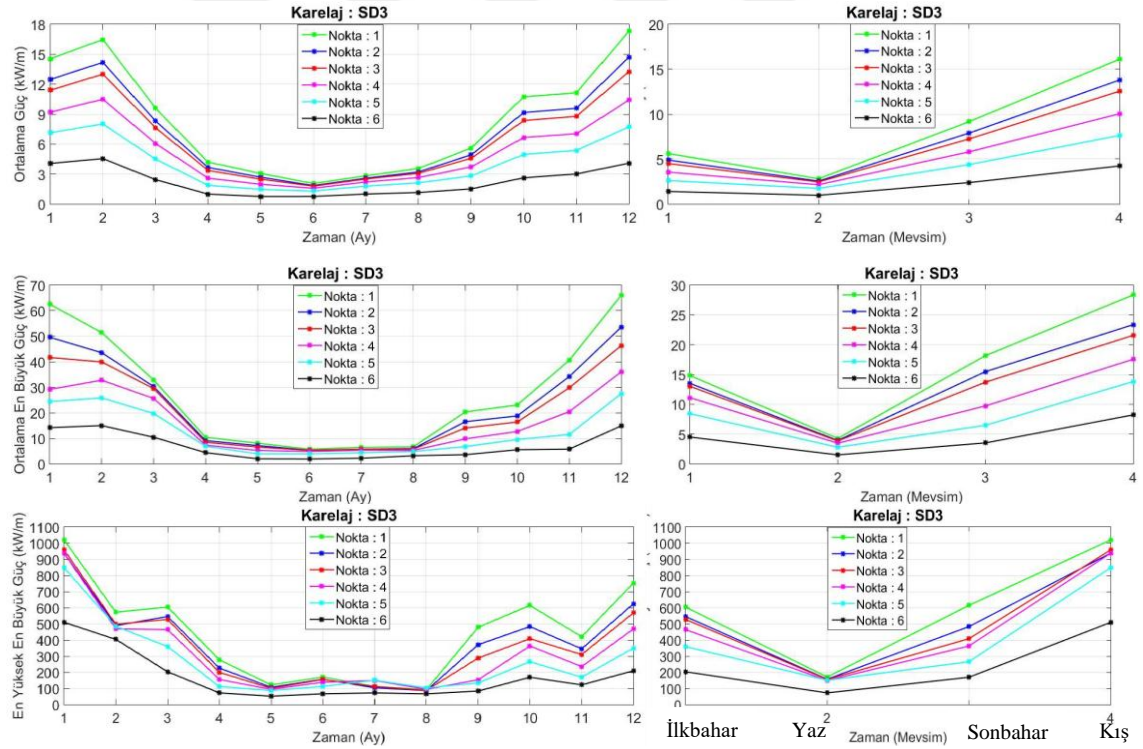


Şekil 4.17. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin gün içerisinde saatlik değişimleri

Filyos sayısal ağında gün boyunca en düşük ortalama güç ve ortalama en büyük güç değeri 3 No'lu istasyonda gözlenmektedir. En yüksek en büyük güç 1 No'lu istasyonda yaklaşık 550 kW/m civarında istasyonlar arasında en yüksek değerdedir. Bu sayısal ağda, en düşük en yüksek en büyük güç değeri 200 kW/m civarındadır. Şekil 4.17'e

göre; Sinop sayısal ağında, 6 No'lu istasyon hariç ortalama güç 3,5 – 4,5 kW/m arasındadır. 6 No'lu istasyonda ortalama güç 2,5 - 3 kW/m aralığındadır. Bütün istasyonlarda 10:00 – 19:00 zaman aralığında daha yüksek ortalama güç oluşmaktadır. Sinop sayısal ağı istasyonları (6 No'lu istasyon hariç), Filyos sayısal ağı istasyonlarından daha yüksek ve Karaburun sayısal ağı istasyonlarından (6 No'lu istasyon hariç) daha düşük saatlik ortalama güç sunmaktadır. Ortalama en büyük güç, 6 No'lu istasyon hariç diğer istasyonlarda 5 - 6,5 kW/m aralığında değerler almıştır. 6 No'lu istasyonda 4 kW/m'nin altındadır. En yüksek en büyük güç, 1 No'lu istasyonda 14:00 – 17:00 aralığında yaklaşık 490 kW/m civarındadır.

Dalga gücünün saatlik değişimlerinin incelenmesinden sonra, her alt sayısal ağıdaki her bir istasyon için aylık ve mevsimlik ortalama güç, ortalama en büyük güç, en yüksek en büyük güç değerleri de belirlenerek bu değerlerin aylık ve mevsimlik değişimleri de irdelenmiş ve grafiksel kıyaslaması Şekil 4.18 – Şekil 4.20'de sunulmuştur.



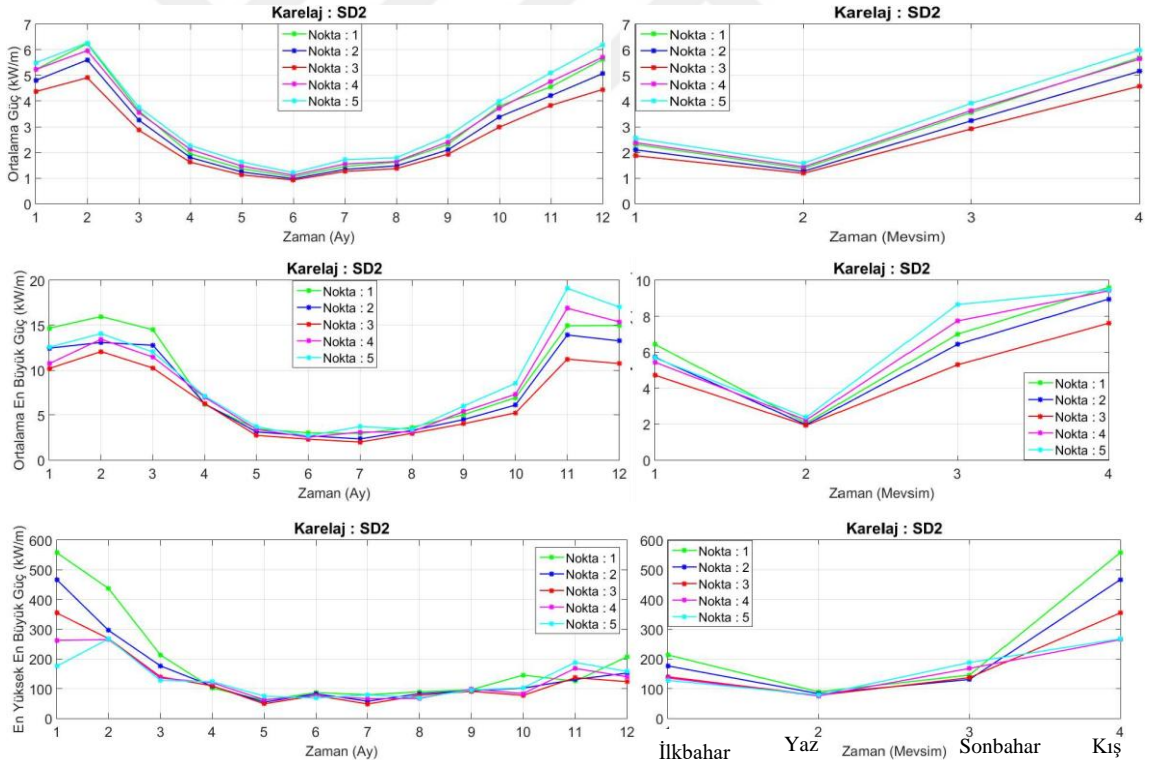
Şekil 4.18. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri

Şekil 4.18'den da görülebileceği gibi, Karaburun sayısal ağında bütün istasyonlarda yaz mevsiminde ve yaz mevsimini temsil eden aylarda (Mayıs, Haziran ve Temmuz) ortalama dalga gücü en düşük seviyede iken kış mevsiminde ve kış mevsimini temsil eden aylarda (Aralık, Ocak ve Şubat) en yüksek seviyededir. Ortalama dalga gücünün aylık ve mevsimlik değişimlerinde de sayısal ağın en batısından doğusuna doğru ortalama güçte azalışın olduğu görülmektedir. En büyük ortalama güç, 1 No'lu istasyonda Aralık ayında yaklaşık 18 kW/m ve kış mevsiminde 16 kW/m iken en düşük ortalama güç 6 No'lu istasyonda Nisan – Temmuz aylarında ve yaz mevsiminde 1 kW/m'den daha düşük bir değerdedir. Ortalama en büyük gücün istasyonlar bazında aylık ve mevsimlik değişimi, ortalama dalga gücünün ki ile benzerlik göstermektedir. Ortalama en büyük gücün en büyük değeri 1 No'lu istasyonda Aralık ayında yaklaşık 65 kW/m civarında iken en düşük değeri 6 No'lu istasyonda Mayıs – Temmuz aylarında sıfıra çok yakındır. Ayrıca, ortalama en büyük güç 1 No'lu istasyonda kış mevsiminde yaklaşık 28 kW/m civarında diğer istasyonlara kıyasla en yüksek iken 6 No'lu istasyonda yaz mevsiminde sıfıra çok yakındır.

Karaburun sayısal ağında en yüksek en büyük gücün maksimum değeri 1 No'lu istasyonda Ocak ayında yaklaşık 1050 kW/m civarında elde edilmiştir (Şekil 4.18). Bu parametrede de bütün istasyonlarda kış mevsiminde en yüksek değerler (1 No'lu istasyonda 1000 kW/m ve 6 No'lu istasyonda 550 kW/m) elde edilirken yaz mevsiminde en düşük değerler (1 No'lu istasyonda 200 kW/m ve 6 No'lu istasyonda 100 kW/m) elde edilmiştir.

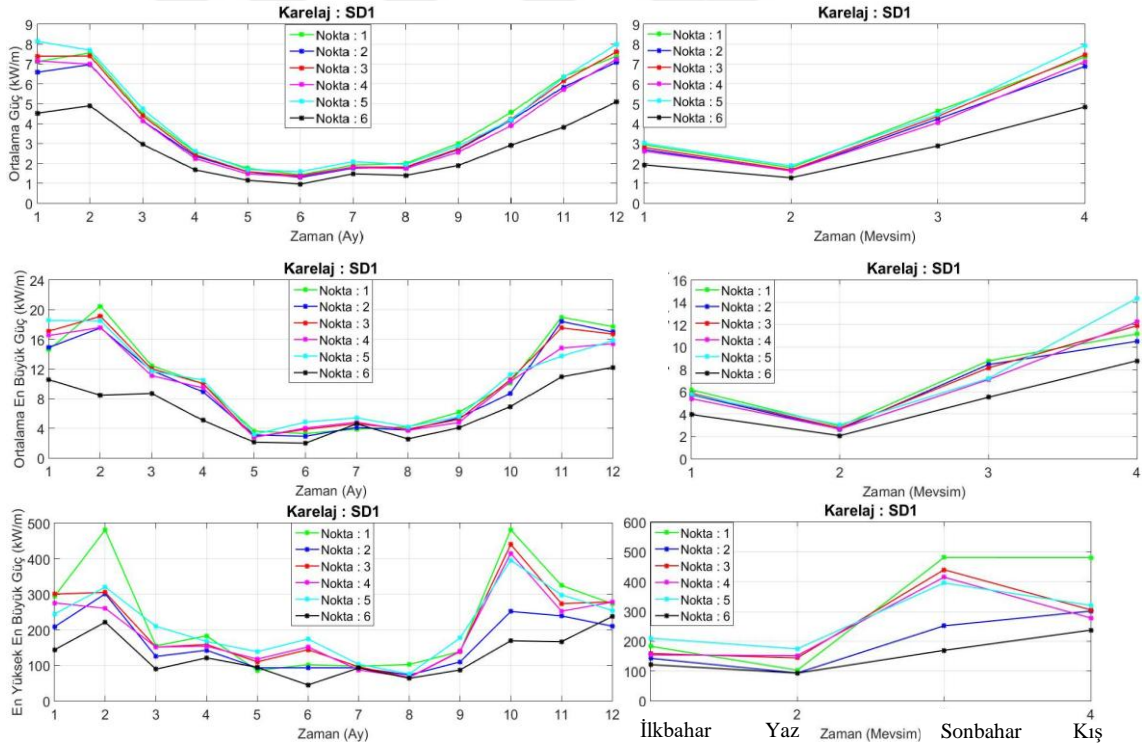
Filyos sayısal ağında ortalama gücün aylık değişimleri incelendiğinde (Şekil 4.19), ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ve bu mevsimleri temsil eden aylarda bütün istasyonlarda birbirine çok yakın ortalama güç elde edildiği görülmektedir. Bunun yanında, istasyonlar arasında sonbahar ve kış mevsimlerinde ve bu mevsimleri temsil eden aylarda ortalama gücün maksimum 2 kW/m'lik bir fark gösterdiği de anlaşılmaktadır. Ortalama güç, bütün istasyonlarda yaz, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde ve bu mevsimleri temsil eden aylarda sırasıyla yaklaşık 1,5 kW/m, 2,1 kW/m, 3,3 kW/m ve 5 kW/m civarında değerler almaktadır. Buradan da anlaşılabileceği üzere, bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda aylık ve mevsimlik ortalama dalga gücü değerleri birbirine çok yakındır. Ayrıca, sayısal ağdaki bütün istasyonlarda ortalama en

büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değerleri de birbirine çok yakındır. Ortalama en büyük güç, bütün istasyonlarda Mayıs – Ağustos aylarında yaklaşık 3 kW/m, Nisan, Eylül ve Ekim aylarında yaklaşık 5,5 kW/m ve diğer aylarda ise yaklaşık 12,5 kW/m değerindedir. En yüksek en büyük güç, bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda Nisan – Ekim aylarında 100 kW/m ve Mart, Kasım ve Aralık aylarında 150 kW/m civarında birbirine çok yakın değerler almaktadır. Ayrıca, Ocak ve Şubat aylarında bütün istasyonlar için ortalama 350 kW/m 'lik bir en yüksek en büyük güç değeri mevcutken maksimum değerinin 1 No'lu istasyonda yaklaşık 580 kW/m ve minimum değerinin 5 No'lu istasyonda 195 kW/m civarında olduğu da belirlenmiştir. En yüksek en büyük gücün maksimum değeri 1 No'lu istasyonda kış mevsiminde yaklaşık 550 kW/m olarak gözlenirken kış mevsiminde istasyon bazında en düşük değerinin ise 4 ve 5 No'lu istasyonlarda yaklaşık 260 kW/m olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.19. SD2 (Filyos) sayısal ağna ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri

Sinop (SD1) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri Şekil 4.20'de sunulmuştur. Bu şekildeki bulgulara göre; 6 No'lu istasyon hariç bütün istasyonlarda aylık ve mevsimlik ortalama dalga gücü, ortalama en büyük güçler birbirine çok yakın değerler almıştır. Ortalama dalga gücü ve ortalama en büyük dalga güçleri bütün istasyonlarda kış mevsimi ve bu mevsimi temsil eden aylarda maksimum değerler sunarken onu sonbahar mevsimi ve ayları, ilkbahar mevsimi ve ayları ve yaz mevsimi ve ayları takip etmektedir. Bütün istasyonlarda (6 No'lu istasyon hariç) ortalama dalga gücü yaz mevsiminde ve onu temsil eden aylarda yaklaşık 2 kW/m ve kış mevsiminde ve onu temsil eden aylarda yaklaşık 7 kW/m civarındadır. En yüksek en büyük güç değeri, 1 No'lu istasyonda Ekim ve Şubat aylarında yaklaşık 500 kW/m civarında diğer istasyonların aylık değerlerine kıyasla en büyük değere sahiptir.



Şekil 4.20. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş ortalama dalga gücü ve her yılın maksimum dalga gücü değerlerine dayanan ortalama en büyük güç ve en yüksek en büyük güç değerlerinin aylık ve mevsimlik değişimleri

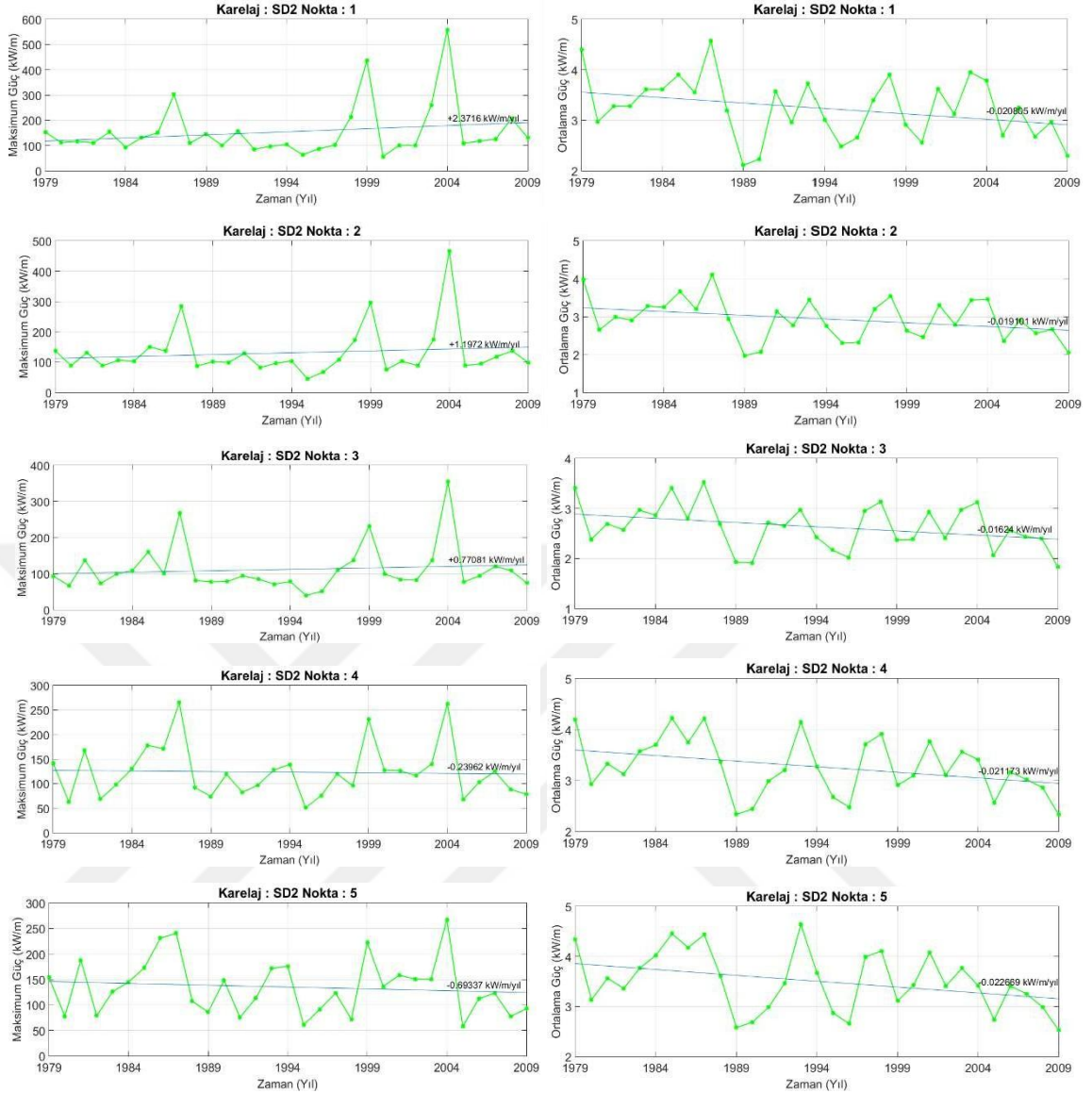
4.6. Yıllık Maksimum ve Ortalama Dalga Gücünün Lineer Eğilimleri

Yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri her bir alt sayısal ağ için seçilmiş istasyonlarda 1979-2009 yılları arası için üretilmiş uzun dönemli veriden yararlanarak belirlenmiş ve Şekil 4.21 – Şekil 4.23’de sunulmuştur. Burada, bütün seçilmiş istasyonlar için üretilmiş uzun dönemli veri setinden yararlanarak yalnızca yıllık maksimum ve ortalama değerler için en ideal doğru çizilmiş ve bu doğrunun eğiminden trendin hangi yönde (pozitif veya negatif) olduğu tespit edilmiştir. Veri, herhangi bir trend testine tabi tutulmamıştır. Bundan dolayı, burada belirlenen eğilimler anlamlı olmayabilir. Karaburun sayısal ağındaki bütün istasyonlarda yıllık maksimum güç için pozitif artış eğilimi söz konusu iken ortalama güç için negatif azalış eğilimi oluşmuştur (Şekil 4.21). Yıllık maksimum güç için en yüksek eğilim +1,345 kW/m/yıl ile 5 No’lu istasyonda görülürken, en düşük eğilim +1,116 kW/m/yıl ile 2 No’lu istasyonda gözlenmiştir. Yıllık ortalama güç için, en düşük eğilim -0,01 kW/m/yıl ile 6 No’lu istasyon da oluşurken, onu -0,02 kW/m/yıl ile 5 No’lu istasyon takip etmiş ve diğer istasyonlarda yaklaşık -0,03 kW/m/yıl ‘lık bir eğilimin olduğu görülmüştür. Bunların yanında, yıllık maksimum gücün 2004 yılında bütün istasyonlarda pik yaptığı görülmektedir. Yıllık ortalama gücün değişim aralığı sayısal ağın batısındaki istasyonlarda 6,5 kW/m/yıl iken doğudaki istasyonlara doğru azalarak 2 kW/m/yıl değerine inmektedir. Bu sayısal ağın doğusundaki istasyonlarda daha düşük yıllık ortalama dalga gücü mevcut olmasına karşın daha dar bir bantta yıllık ortalama dalga gücünün mevcut olduğunu göstermektedir. Daha yüksek yıllık ortalama dalga gücünün bulunduğu istasyonlarda daha yüksek bir değişim aralığının olduğu görülmektedir. Şekil 4.22’den de görülebileceği gibi, 4 ve 5 No’lu istasyonlar haricinde diğer istasyonlarda yıllık maksimum dalga gücünün artış eğiliminde ve 4 ve 5 No’lu istasyonlarda ise azalış eğilimindedir. Yıllık ortalama dalga gücünün değişiminde ise, bütün istasyonlarda azalış eğilimi olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık maksimum dalga gücü için, en yüksek artış eğilimi +2,37 kW/m/yıl ile 1 No’lu istasyonda iken 5 No’lu istasyonda -0,69 kW/m/yıl ‘lık bir azalış eğilimi olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama dalga gücü için, bütün istasyonlarda yaklaşık -0,02 kW/m/yıl değerinde bir azalış eğilimi olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık maksimum güç değerinin en büyük olduğu yıl bütün istasyonlarda 2004 yılı olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama gücün değişimleri genel olarak bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda benzer bir eğilim göstermiştir.



Şekil 4.21. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri

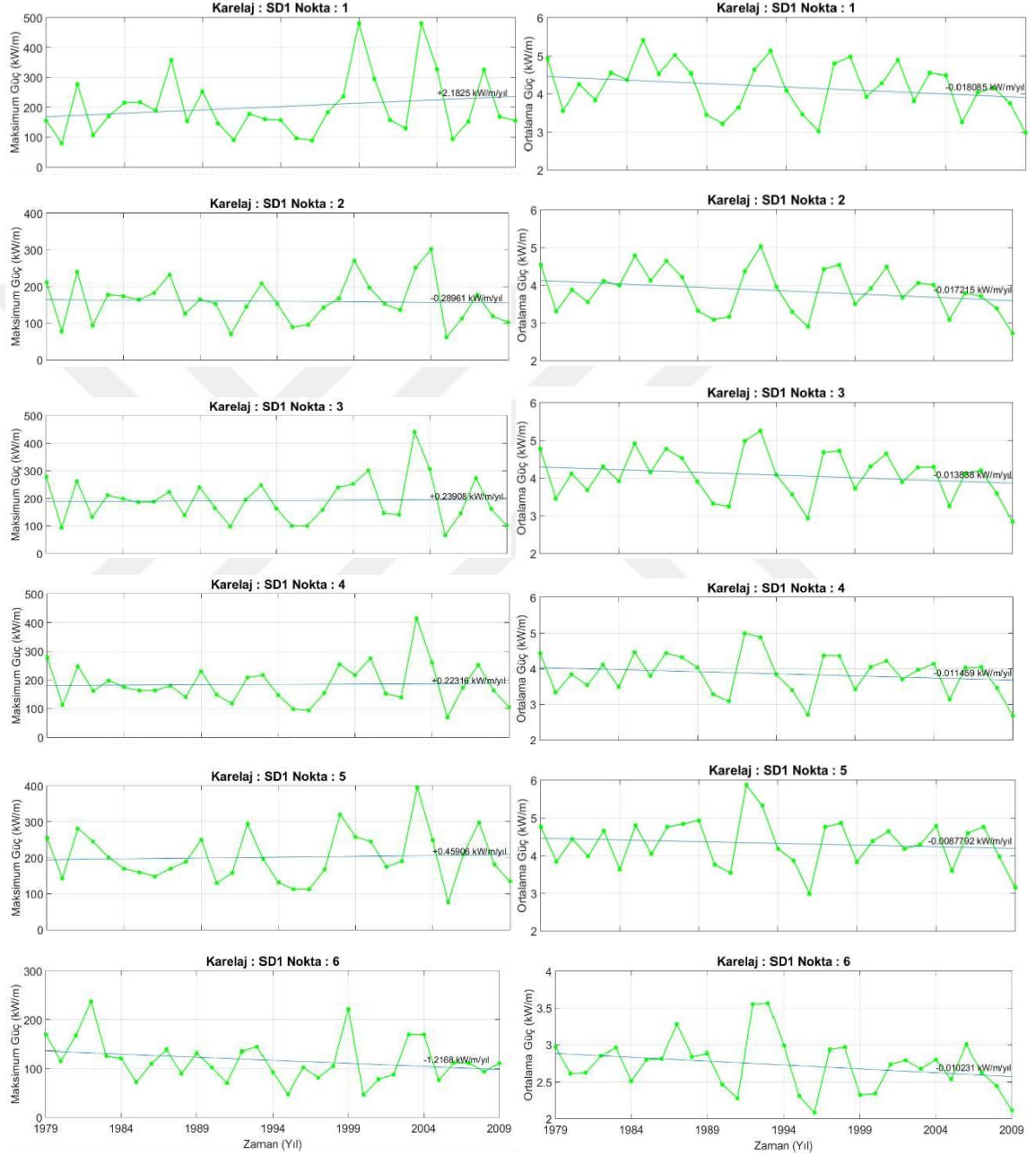
Sinop (SD1) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri Şekil 4.23'de verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, yıllık maksimum güç 2 ve 6 No'lu istasyonlarda azalış eğilimi gösterirken diğer istasyonlarda artış eğiliminin olduğu gözlenmektedir. En yüksek artış eğilimi 2,18 kW/m/yıl ile 1 No'lu istasyonda oluştuğu gözlenmektedir. En yüksek azalış eğilimi 1,22 kW/m/yıl ile 6 No'lu istasyonda gözlenmiştir.



Şekil 4.22. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri

Yıllık ortalama gücün yıllık değişimleri incelendiğinde, bütün istasyonlarda azalış eğiliminin olduğu anlaşılmaktadır. 1 ve 2 No'lu istasyonlarda yıllık ortalama güç 0,02 civarında bir azalış eğim değerine sahipken diğer istasyonlarda yaklaşık 0,01 değeri ile karşılaşılmaktadır. Yıllık maksimum güç; 1, 3 ve 4 No'lu istasyonlarda 50 – 500 kW/m/yıl arasında bir değişim göstererek yaklaşık 400 kW/m/yıl 'lık bir dalgalanmaya sahip olmaktadır. 5 No'lu istasyonda bu dalgalanma 50 – 400 kW/m/yıl arasında yaklaşık 350 kW/m/yıl, 2 No'lu istasyonda 50 – 300 kW/m/yıl arasında yaklaşık 250 kW/m/yıl ve 6 No'lu istasyonda 50 – 250 kW/m/yıl arasında yaklaşık 200 kW/m/ yıl

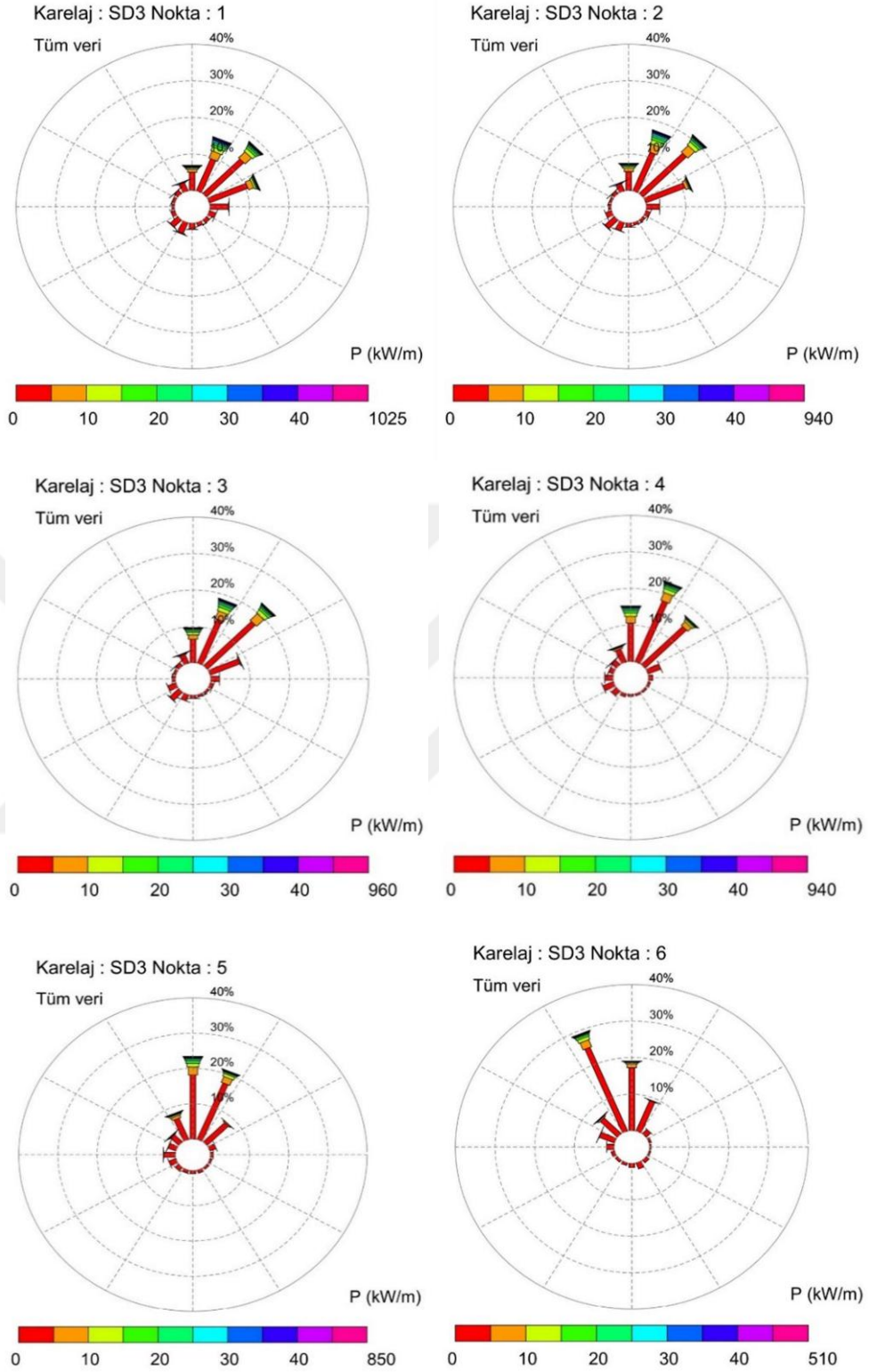
olmaktadır. Ortalama güç için bu durum; 1, 2 ve 4 No'lu istasyonlarda 2,5 – 5,5 kW/m/yıl arasında yaklaşık 2,5 kW/m/yıl iken 3 ve 5 No'lu istasyonlarda 2,5 – 6 kW/m/yıl arasında yaklaşık 3 kW/m/yıl ve 6 No'lu istasyonda 2 – 3,5 kW/m/yıl arasında yaklaşık 1,5 kW/m/yıl olarak ortaya çıkmaktadır.



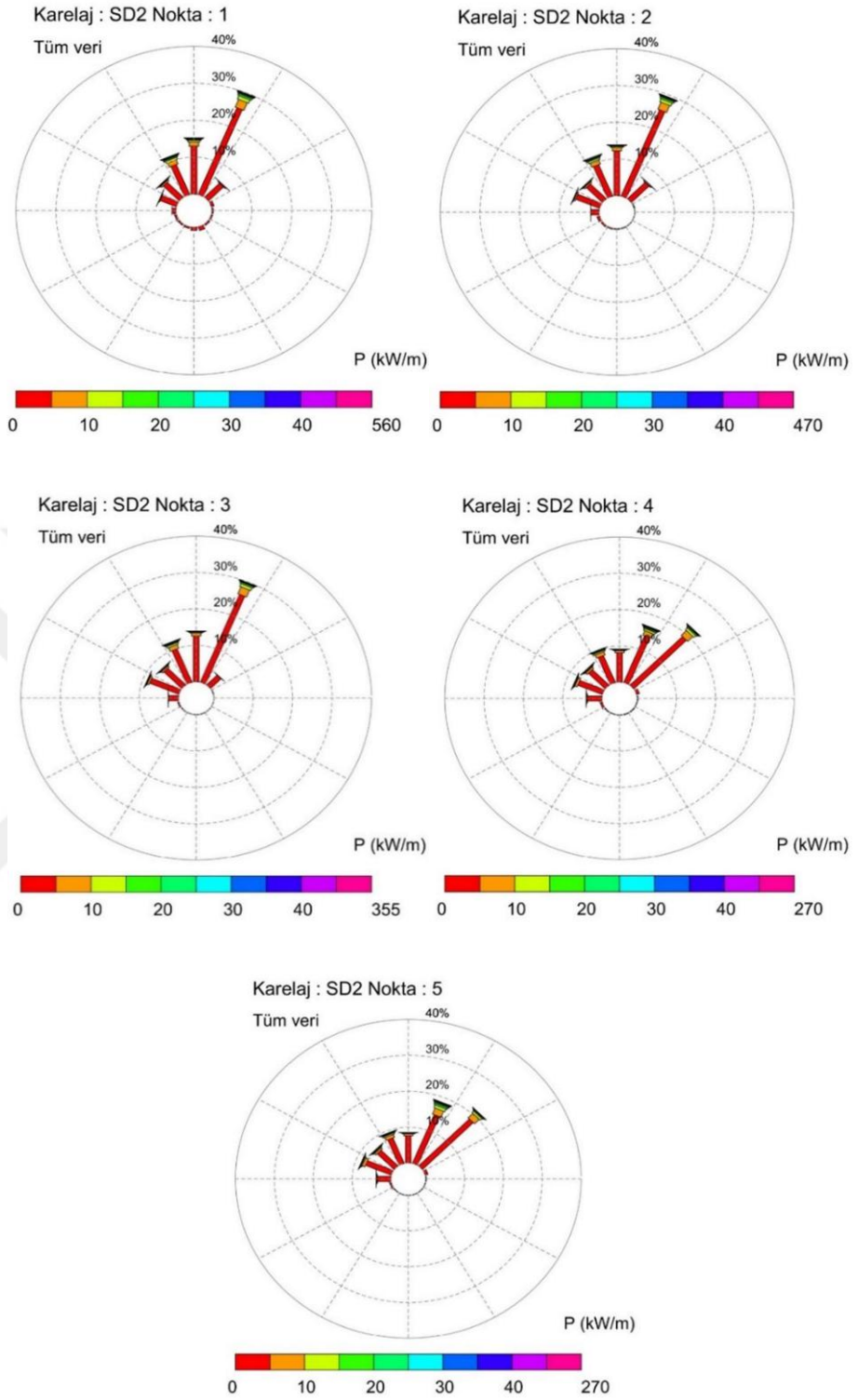
Şekil 4.23. SD1 (Sinop) sayısal ağna ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası için belirlenmiş yıllık maksimum ve ortalama dalga gücünün değişimleri ve lineer eğilimleri

4.7. Yıllık ve Mevsimlik Dalga Gücü Gülleri

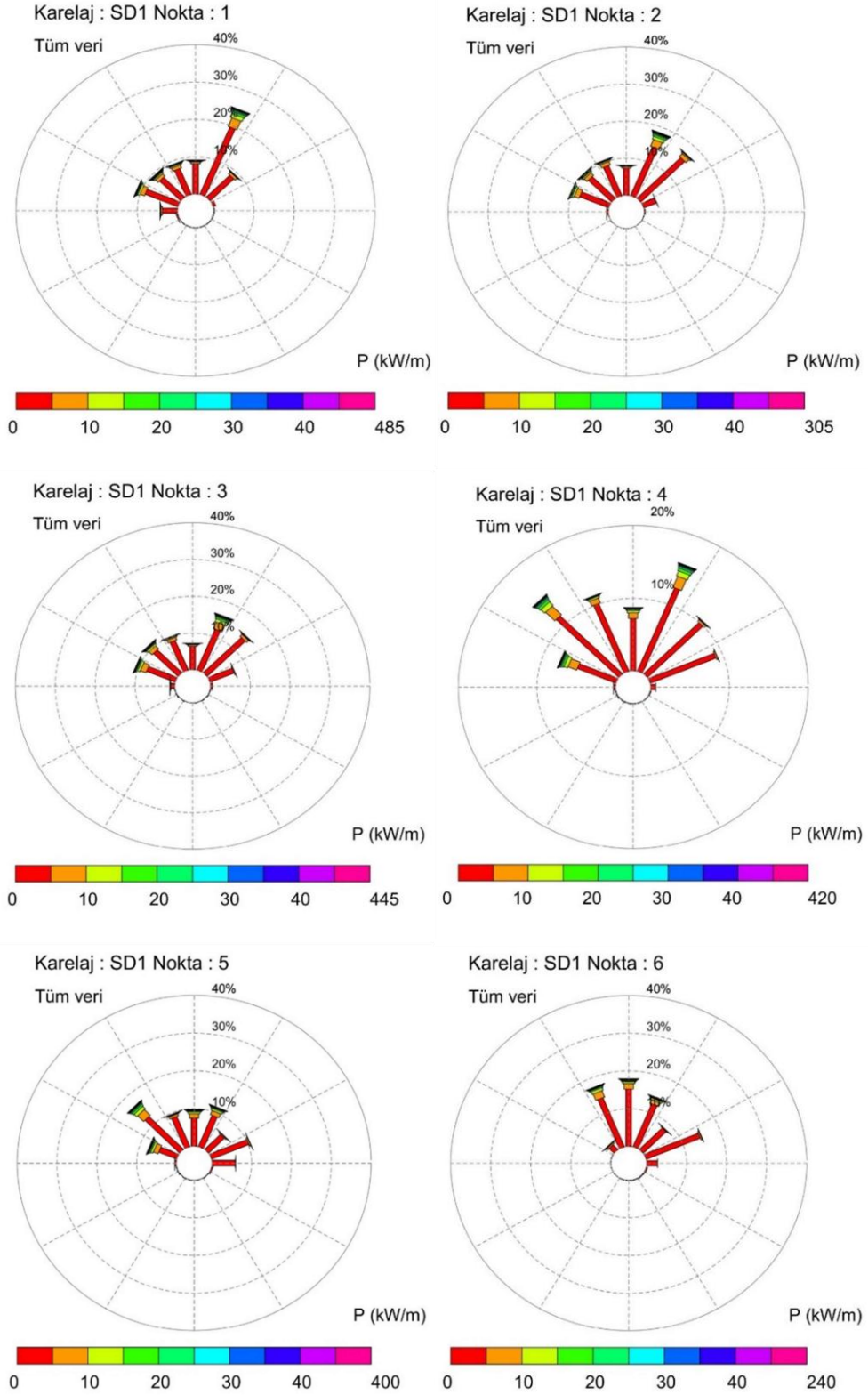
Bazı dalga enerji dönüşüm sistemleri, yerleştirildikleri konumda sabit bir şekilde kalmakta ve sisteme dalga girişinin ayarlandığı yönden gelen dalgalardan enerji dönüşümünü yapabilmektedir. Bu durumda, dalga enerji dönüşüm sisteminin arazide konumu ayarlanırken o bölgede oluşan dalgaların yönsel analizi son derece önemli olmaktadır. Bundan dolayı, her alt sayısal ağda seçilmiş bütün istasyonlarda bütün veriye dayanan yıllık dalga gücü gülleri elde edilmiş ve Şekil 4.24 – Şekil 4.26’da sunulmuştur. Şekil 4.24’den de görülebileceği gibi, Karaburun sayısal ağında 1 ve 2 No’lu istasyonlarda Kuzey (K) – Doğu Kuzeydoğu (DKD), 3 ve 4 No’lu istasyonlarda K – Kuzeydoğu (KD), 5 No’lu istasyonda Kuzey Kuzeybatı (KKB) – KD, 6 No’lu istasyonda Kuzeybatı (KB) – Kuzey Kuzeydoğu (KKD) yönleri arasından gelen dalgalardan enerji üretilebilecektir. Bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda dalga gücünün büyük bir çoğunluğu 0 – 5 kW/m arasındadır. 6 No’lu istasyon hariç (%10’dan daha düşük) diğer istasyonlarda yaklaşık %15 civarında 5 kW/m’den daha büyük dalga gücü ile karşılaşılmaktadır. Filyos sayısal ağında (Şekil 4.25), 1 – 3 No’lu istasyonlarda dalgaların hakim yönü KKD olmasına karşın Batı Kuzeybatı (BKB) – KD yön aralığından gelen dalgalardan enerji üretilebilecektir. 4 ve 5 No’lu istasyonlarda ise, Batı (B) – KD yön aralığından gelen dalgalardan enerji üretimi söz konusudur. Bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda dalgaların yaklaşık %10’u 5 kW/m’den daha büyük dalga gücü sunmaktadır. Sinop sayısal ağında (Şekil 4.26), 1 No’lu istasyonda B – KD yön aralığından gelen dalgalardan enerji elde edilebilirken 6 No’lu istasyonda KB – Doğu (D) yön aralığından gelen dalgalar enerji sunmaktadır. Bu sayısal ağda geri kalan istasyonlarda ise, BKB – D yön aralığı mevcut bütün enerjiyi sağlamaktadır. 6 No’lu istasyon hariç (%10 civarında) diğer bütün istasyonlarda oluşan dalgaların yaklaşık %15’i 5 kW/m’den daha büyük dalga gücüne sahip olmaktadır.



Şekil 4.24. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü gülleri



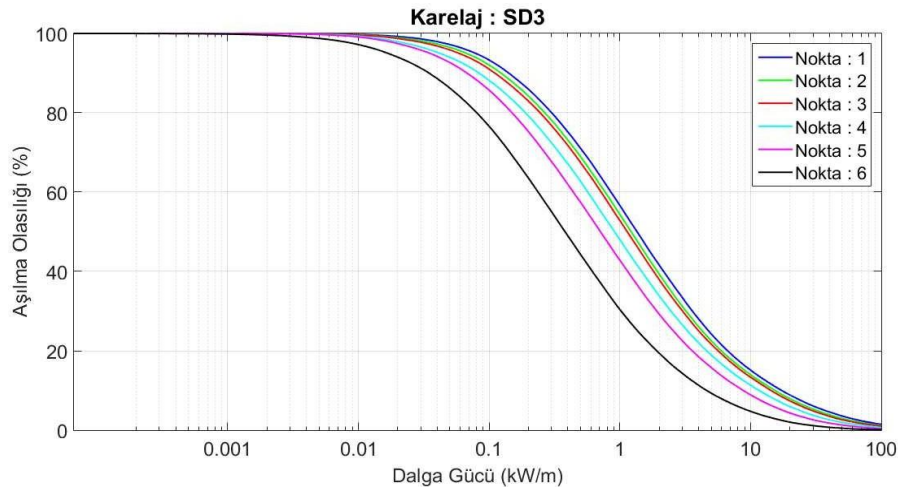
Şekil 4.25. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait 5 istasyon için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü gülleri



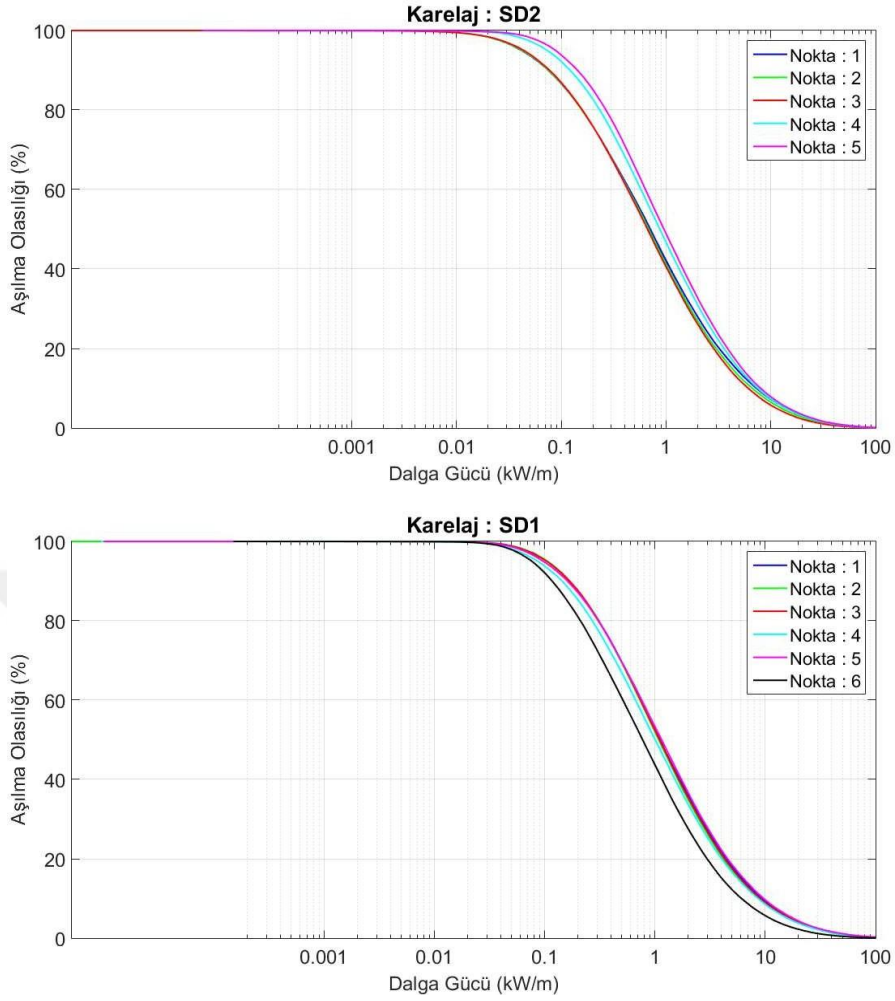
Şekil 4.26. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait 6 istasyon için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü gülleri

4.8. Dalga Gücü Aşılma Olasılık Eğrileri

Bir bölgedeki dalga gücünün hangi değerler arasında ne kadar sıklıkla olduğunu veya hangi değerlerin ne kadar olasılıkla aşıldığını gösteren kümülatif olasılık yoğunluk eğrileri her alt sayısal ağda seçilen bütün istasyonlar için 31 yıllık bütün veriye dayanarak elde edilmiş ve Şekil 4.27’de sunulmuştur. Bu şekilden de görülebileceği gibi, Karaburun sayısal ağında 1 No’lu istasyondan 6 No’lu istasyona doğru dalga gücü azalmakta, bu azalış Filyos sayısal ağında devam etmekte, ancak Filyos sayısal ağında 4 ve 5 No’lu istasyonlarda tekrar artış söz konusu olmaktadır. Sinop Burnundan sonraki 6 No’lu istasyon da dalga gücü potansiyeli tekrardan düşmektedir. Dalga gücünün 1 kW/m ve 10 kW/m değerlerinden daha büyük olma olasılığı sırasıyla 6 No’lu istasyonda %30 ve %2,5 iken 5 No’lu sayısal ağda %41 ve %8,5 ve 1 No’lu sayısal ağda %58 ve % 17,5 civarındadır. Filyos sayısal ağında 1 – 3 No’lu istasyonlarda dalga gücünün 1 kW/m değerinden daha büyük olma olasılığı %40 iken 4 ve 5 No’lu istasyonlarda %47 ve 10 kW/m değerinden daha büyük olma olasılığı bu sayısal ağdaki bütün istasyonlarda yaklaşık %3,5 civarındadır. Son olarak, Sinop sayısal ağında 4 ve 5 No’lu istasyonlarda dalga gücünün 1 kW/m’den daha büyük olma olasılığı %52 ve 10 kW/m’den daha büyük olma olasılığı %9 civarındadır. 6 No’lu istasyonda ise, bu değerler sırasıyla yaklaşık %41 ve %5’dir.



Şekil 4.27. SD3 (Karaburun), SD2 (Filyos) ve SD1 (Sinop) sayısal ağlarına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş dalga gücü aşılma olasılık eğrileri



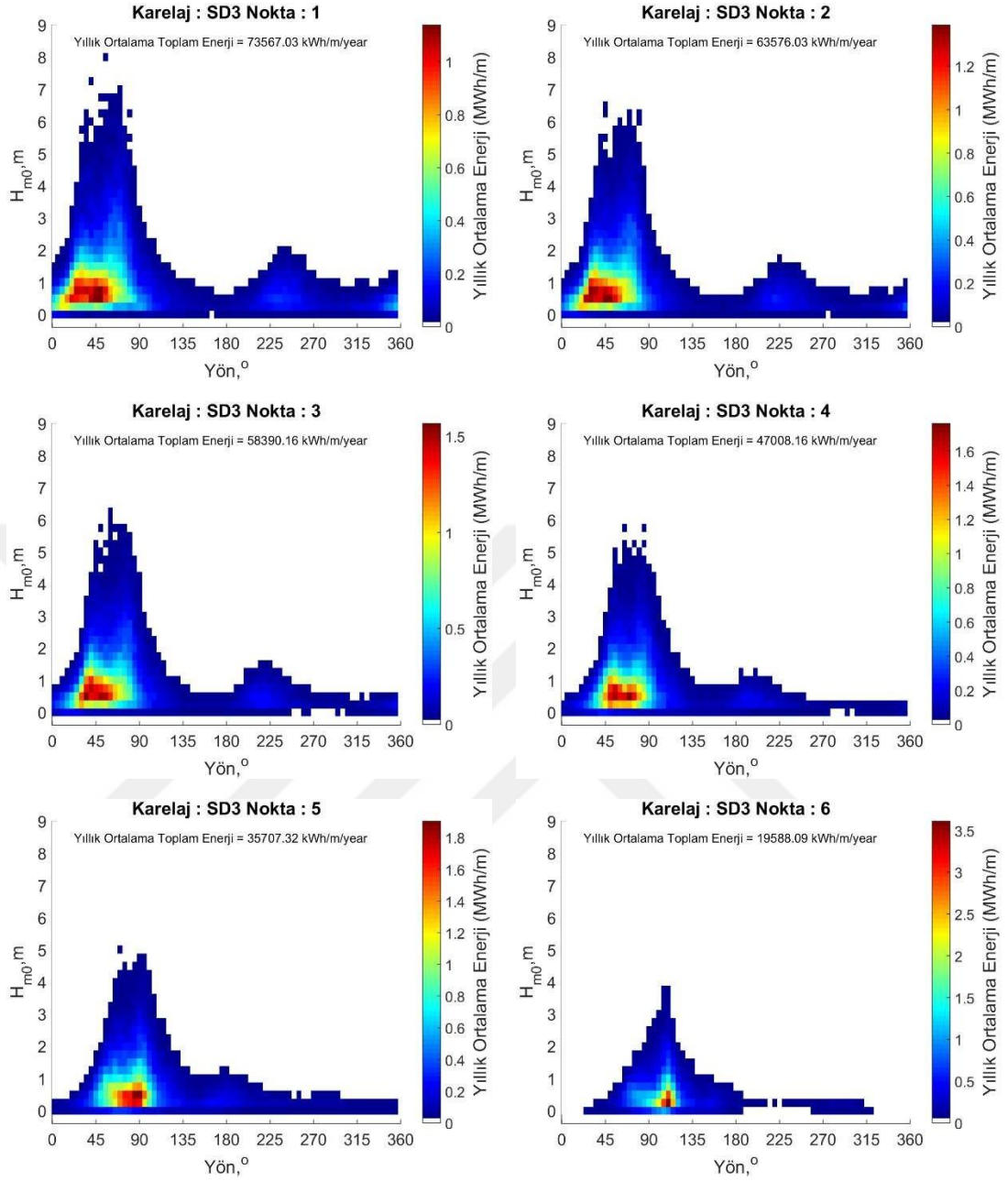
Şekil 4.27. Devam

4.9. Yıllık Farklı Dalga Yönü ve Yüksekliği Aralıklarında Yıllık Ortalama Dalga Enerjisi

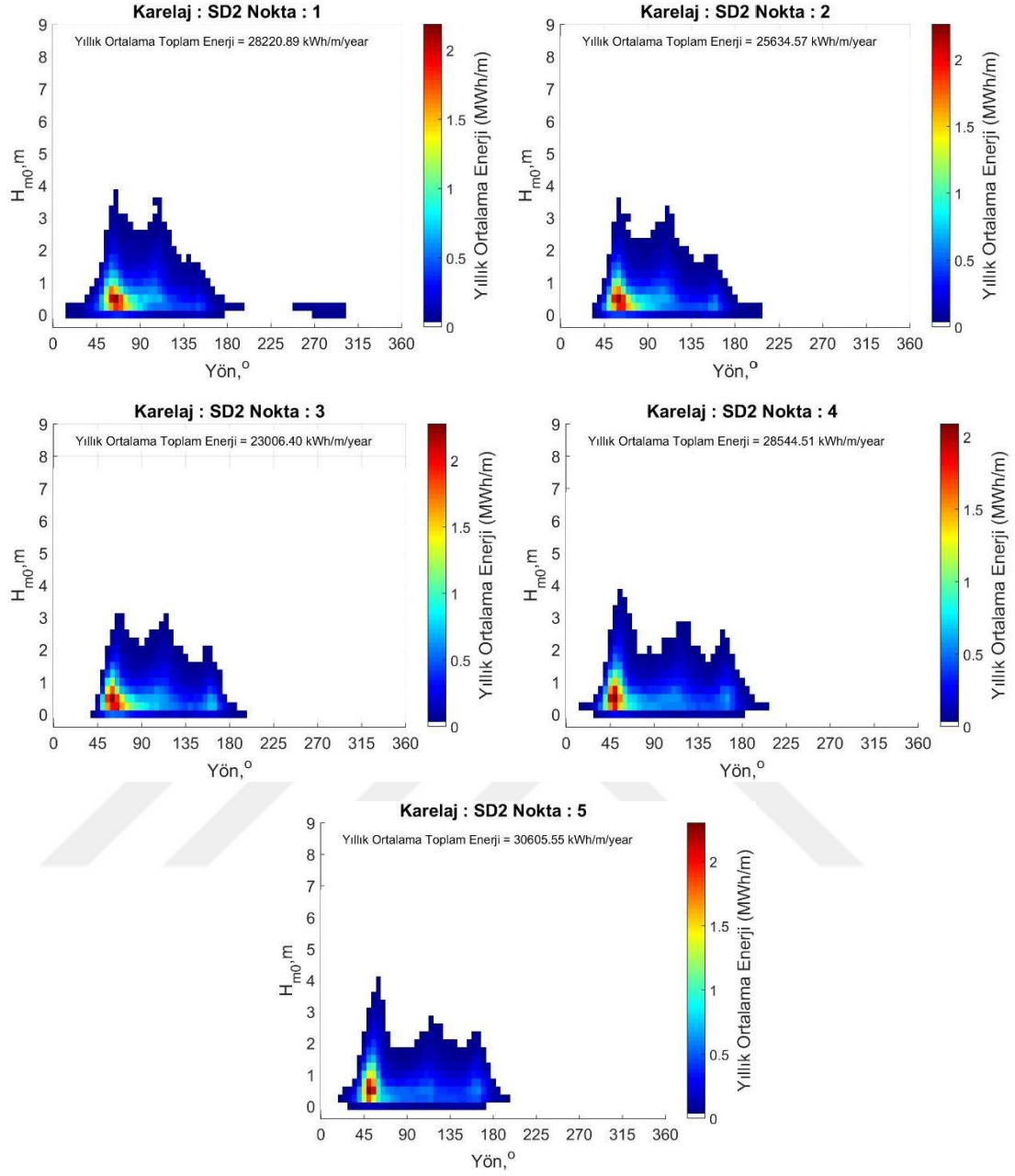
Her alt sayısal ağda belirlenen bütün istasyonlarda farklı dalga yüksekliği ve yönü aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerji miktarının alansal dağılımları 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak belirlenmiş ve Şekil 4.28 – Şekil 4.30’da sunulmuştur. Şekil 4.28’den de görülebileceği gibi, 6 No’lu istasyon hariç bu sayısal ağdaki diğer bütün istasyonlarda yıllık ortalama dalga enerjisi 0,2 – 2 m belirgin dalga yüksekliği aralığında en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yön olarak ise, 1 ve 2 No’lu istasyonlarda $0^{\circ} - 90^{\circ}$, 3 ve 4 No’lu istasyonlarda $22,5^{\circ} - 90^{\circ}$, 5 No’lu istasyonda $45^{\circ} - 112,5^{\circ}$ ve 6 No’lu istasyonda $90^{\circ} - 112,5^{\circ}$ aralığında yıllık ortalama dalga enerjisi

maksimum değerler sunmaktadır. Karaburun sayısal ağında seçilmiş istasyonlar arasında en yüksek yıllık ortalama toplam enerji 73,57 MWh/m/yıl ile 1 No'lu istasyonda ve en düşük 19,59 MWh/m/yıl ile 6 No'lu istasyonda mevcuttur. Filyos sayısal ağında (Şekil 4.29), yıllık ortalama enerji bütün istasyonlarda 0,2 – 1 m belirgin dalga yüksekliği ve $45^0 - 90^0$ dalga yönü aralığında en büyük seviyeye ulaşmaktadır. Bu sayısal ağda en yüksek yıllık ortalama toplam enerji 5 No'lu istasyonda yaklaşık 30,61 MWh/m/yıl ve en düşük 3 No'lu istasyonda 23 MWh/m/yıl civarındadır. Filyos sayısal ağındaki bütün istasyonlar için belirlenen yıllık ortalama toplam enerji değerleri Karaburun sayısal ağındaki 6 No'lu istasyonu hariç diğer istasyonların yıllık ortalama toplam enerji değerlerinden daha düşük değerdedir. Sinop sayısal ağındaki istasyonlarda yıllık ortalama dalga enerji 0,2 – 1,5 m belirgin dalga yüksekliği aralığında yoğunlaşmıştır. Bunun yanında, 1 No'lu istasyonda yıllık ortalama dalga enerjisi $45^0 - 157,5^0$ aralığında en yüksek değerlere ulaşmışken, 2 – 4 No'lu istasyonlarda $22,5^0 - 157,5^0$ aralığında ve 5 ve 6 No'lu istasyonlarda sırasıyla $0^0 - 157,5^0$ ve $0^0 - 112,5^0$ aralığında maksimum yıllık ortalama dalga enerjisi ile karşılaşılmıştır. Sinop sayısal ağında en yüksek yıllık ortalama toplam enerji 37,74 MWh/m/yıl ile 5 No'lu istasyonda iken en düşük 6 No'lu istasyonda 23,85 MWh/m/yıl civarındadır.

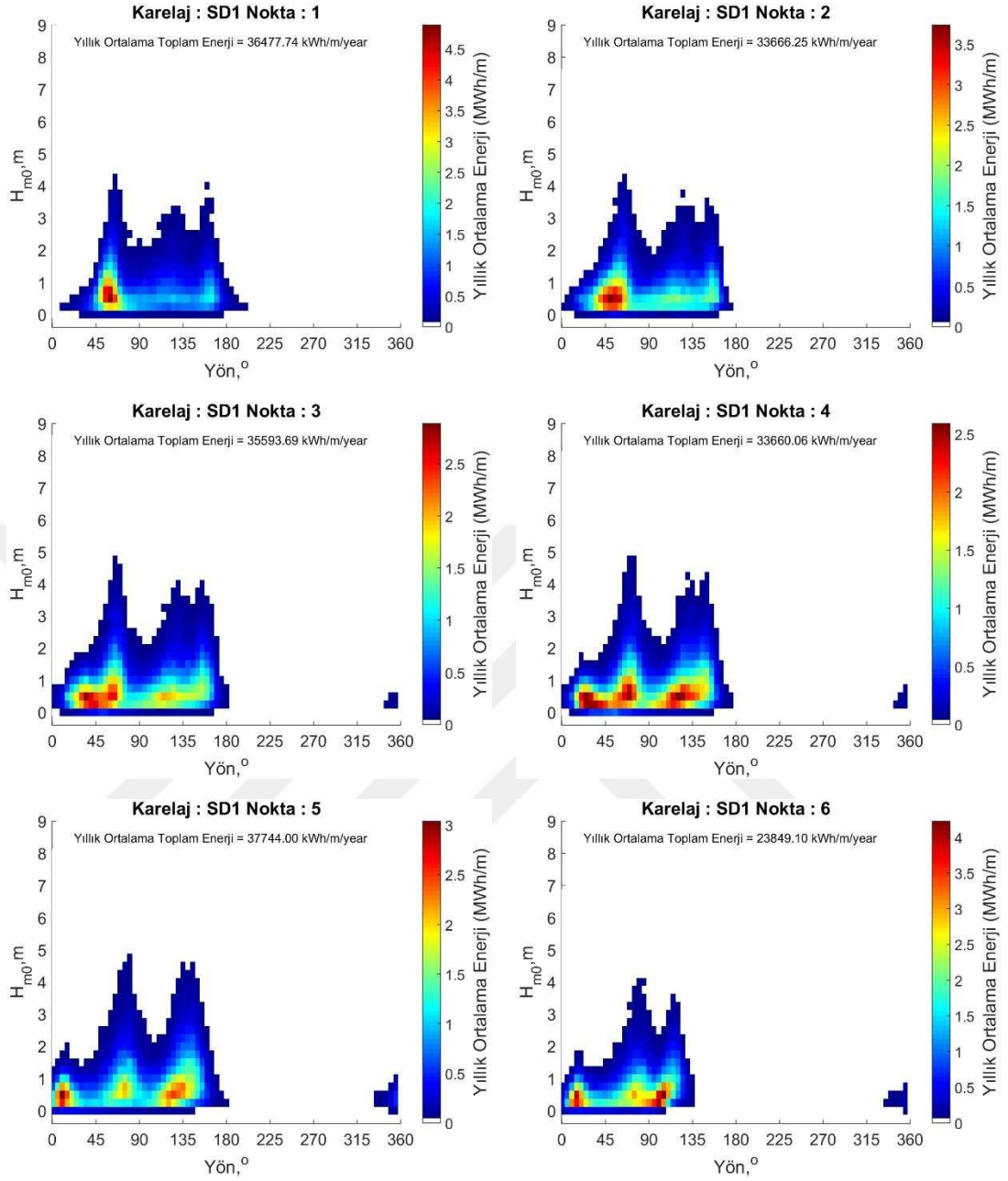
Yukarıdaki bu bölüm iğerisindeki değerlendirmelerden görülebileceği üzere, Sinop sayısal ağının Sinop Burnunun doğusunda kalan 6 No'lu istasyonu haricindeki diğer istasyonlarında yıllık ortalama toplam enerji Filyos sayısal ağındaki bütün istasyonlarınkinden daha büyük ve Karaburun sayısal ağındaki 6 No'lu istasyon hariç diğer bütün istasyonlarınkinden daha düşüktür.



Şekil 4.28. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi



Şekil 4.29. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi

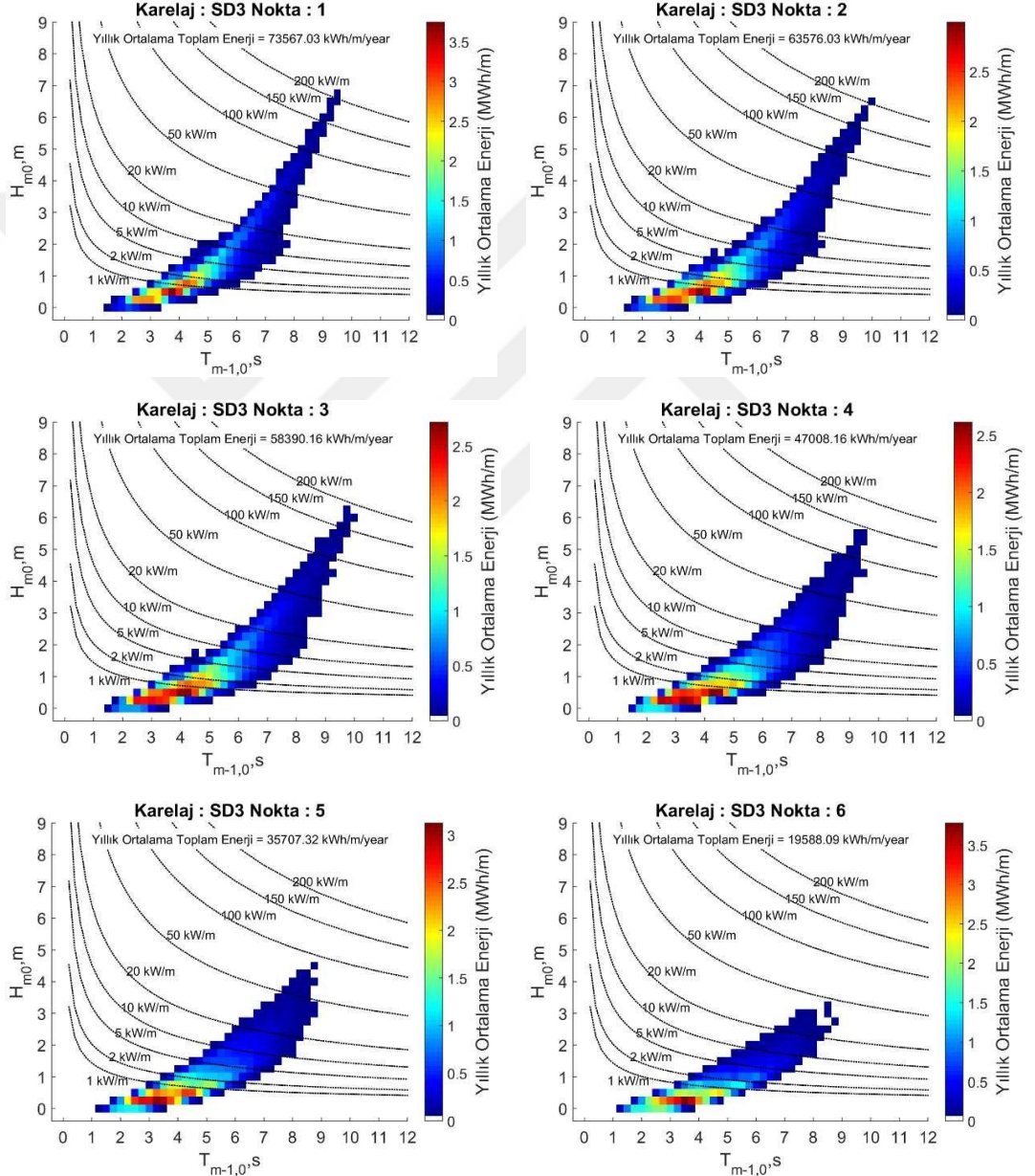


Şekil 4.30. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga yönü ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi

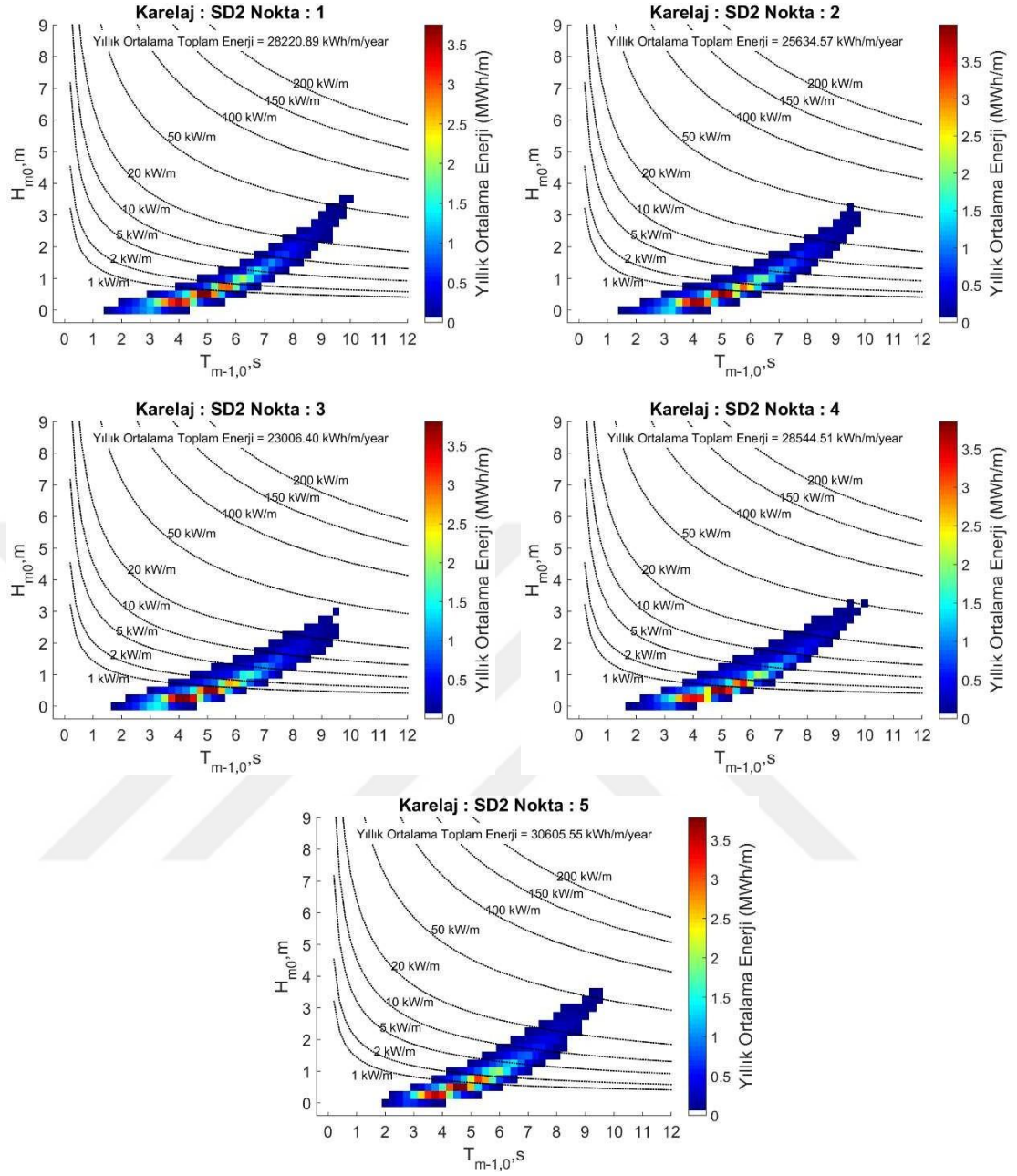
4.10. Yıllık Farklı Dalga Yüksekliği ve Periyodu Aralıklarında Yıllık Ortalama Dalga Enerjisi

Dalga enerji dönüştürücüleri dalgadan enerji dönüşümü için farklı belirgin dalga yüksekliği ve enerji periyodu aralıkları için bir güç matrisine sahip olmaktadır. Böylelikle,

dalgadan enerji dönüşümü bu farklı dalga yüksekliği ve enerji periyodu aralıkları için sunulan güç matrisi değerleri ile mevcut dalga iklimi arasında bir ilişki kurularak belirlenmektedir. Bundan dolayı, bir bölgedeki farklı belirgin dalga yüksekliği ve enerji periyodu aralıklarındaki yıllık ortalama enerji miktarının belirlenmesi son derece önemlidir. Bu maksatla, her alt sayısal ağdaki bütün seçilmiş istasyonlar için bu ilişki belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 4.31 – Şekil 4.33'te sunulmuştur.



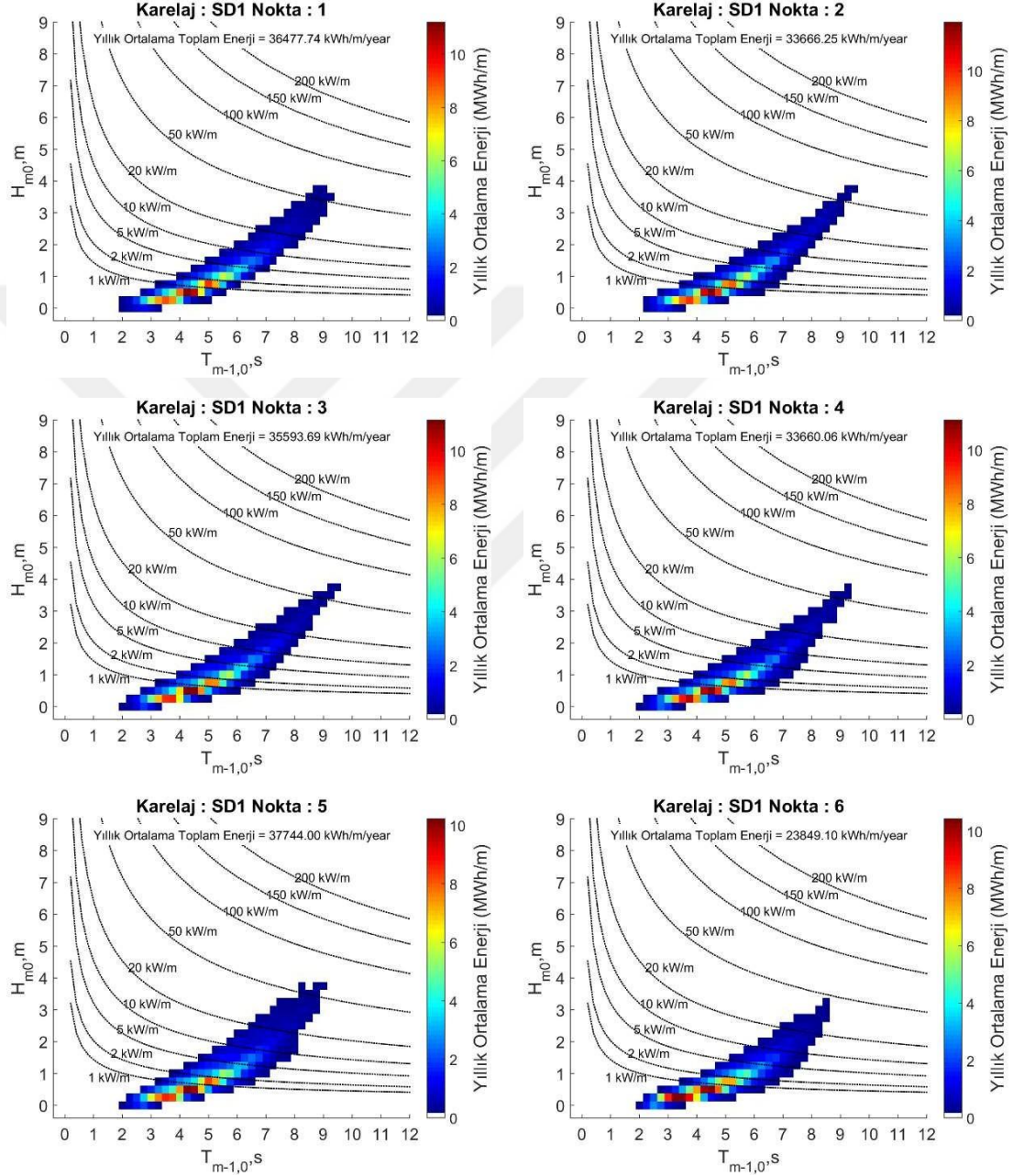
Şekil 4.31. SD3 (Karaburun) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi



Şekil 4.32. SD2 (Filyos) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi

Şekil 4.31'den de görülebileceği gibi, Karaburun sayısal ağındaki bütün istasyonlarda yıllık ortalama dalga enerjisi 0,2 – 2 m belirgin dalga yüksekliği ve 2 – 5 s enerji periyodu aralıklarında yoğunlaşmıştır. İstasyonlar arasında en yüksek ve en düşük yıllık ortalama enerji sırası ile 1 ve 6 No'lu istasyonlarda gözlenmiştir. Filyos sayısal ağındaki istasyonlarda 0,2 – 1,5 m belirgin dalga yüksekliği ve 3 – 7 s enerji periyodu

aralıklarında en yüksek yıllık ortalama dalga enerjisinin bulunduğu görülmektedir (Şekil 4.32). Sinop sayısal ağındaki istasyonlarda 0,2 – 1,5 m belirgin dalga yüksekliği ve 2,5 – 6,5 s dalga enerji periyodu aralıklarında yıllık ortalama dalga enerjisinin pik yaptığı gözlenmektedir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. SD1 (Sinop) sayısal ağına ait seçilmiş bütün istasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı dalga periyodu ve yüksekliği aralıklarında mevcut yıllık ortalama dalga enerjisi

5. SONUÇ

Karadeniz'in güney batı sahillerinin dalga enerji potansiyeli ve değişkenliğinin analizine odaklanan bu çalışmada, öncelikle önceden 31 yıllık uzun dönemli bir simülasyon gerçekleştirilerek biriktirilen rüzgar/dalga parametrelerinden çalışma bölgesinin dalga enerji akısı hesaplanmıştır. Daha sonra, bu uzun dönemli veriye dayanarak bölgenin dalga enerji potansiyeli ve değişkenliği farklı açılardan ortaya çıkartılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Karaburun SD3 sayısal ağının doğusundan batısına doğru dalga enerji akısı artış göstermiştir. Karaburun ölçüm istasyonundan Bulgaristan sınırına kadar 5 kW/m 'lik bir ortalama dalga gücüne sahip olduğu görülmüştür. Filyos ve Sinop sayısal ağlarında ise, kıyı çizgisinden açıklara doğru dalga enerji akısı artış eğilimindedir. Filyos sayısal ağı yakın kıyı bölgesinde 4 kW/m ve daha düşük dalga enerji akısı mevcutken Sinop sayısal ağı yakın kıyı bölgesinde bu değerden daha düşük dalga enerjisinin mevcut olduğu belirlenmiştir.
- Bütün sayısal ağlarda en düşük dalga enerji akısı yaz mevsiminde 2 kW/m ve/veya daha düşük bir değerde ve en yüksek dalga enerji akısının bütün sayısal ağlarda kış mevsiminde ve takiben sonbahar mevsiminde olduğu tespit edilmiştir. Kış mevsiminde Sinop sayısal ağında kıyı boyunca 6 kW/m ortalama dalga enerji akısı mevcutken Filyos sayısal ağında kıyı boyunca biraz daha düşük bir enerjinin var olduğu gözlenmiştir. En yüksek ortalama dalga enerji akısının, Karaburun sayısal ağının batı bölgesinde 10 kW/m civarında oluşabildiği belirlenmiştir.
- Ortalama dalga enerji akısının yüksek olduğu bölgelerde dalga enerji akısının değişim katsayısının da yüksek olduğu ve böylelikle dalga enerji akısı yüksek olmayan bölgelerin kararlı bir dalga enerji akısına sahip olmasından dolayı dalgadan enerji elde edilmesinde daha elverişli olabileceği anlaşılmaktadır. Karaburun ve Filyos sayısal ağlarında ilkbahar ve Sinop sayısal ağında sonbahar mevsiminde diğer mevsimlere kıyasla dalga enerji akısının daha yüksek değişim katsayısı gösterdiği belirlenmiş ve böylelikle bu mevsimlerde kararlı bir dalga enerji akısına sahip olunamadığı tespit edilmiştir.

- Karaburun ve Filyos sayısal ağlarının batı bölgelerinden doğusuna doğru aylık değişkenlik katsayısı azalmaktadır. Sinop sayısal ağında Filyos sayısal ağındakinden daha yüksek Karaburun sayısal ağındakinden daha düşük aylık değişkenlik katsayısı gözlenmiştir.
- Her yılın aylık ortalama dalga gücü haritalarından yola çıkılarak belirlenen aylık değişkenlik indekslerine göre, en yüksek değişkenlik Filyos sayısal ağında, onu takiben Sinop ve daha sonra Karaburun sayısal ağlarında gözlenmiştir.
- Aylık ve mevsimlik değişkenlik indekslerine göre, dalga enerji akısı düşük olan bölgelerde değişkenlik indeks değerleri de düşük çıkmakta ve dalgadan enerji elde edilmesi daha elverişli olmaktadır.
- Karaburun sayısal ağının en batısında toplam potansiyel 40 MWh/m/yıl iken doğuya doğru azalmakta ve 30 MWh/m/yıl olmakta, Filyos ve Sinop sayısal ağlarında da bu değer veya biraz daha düşük bir değer gözlenmektedir.
- Elde edilebilir dalga enerji potansiyeli, toplam potansiyelle benzer bir alansal dağılım göstermesine karşın Karaburun ölçüm istasyonunun biraz açıklarına doğru 25 MWh/m/yıl'lık bir elde edilebilir potansiyelin olduğu diğer bölgelerde ise daha düşük bir potansiyelin mevcut olduğu belirlenmiştir. Filyos ve Sinop sayısal ağlarında bütün kıyı boyunca 20 MWh/m/yıl'dan daha düşük bir elde edilebilir dalga enerji potansiyelinin mevcut olduğu görülmüştür.
- Bütün istasyonlarda saatlik ortalama güç ve ortalama en büyük gücün değişimleri oldukça düşüktür. Aylık ortalama, ortalama en büyük ve en yüksek en büyük dalga gücü Nisan – Eylül periyodu boyunca birbirine yakın ve diğer aylara kıyasla daha düşük değerler sunmaktadır. Bu üç parametre için de yaz mevsimi ve bu mevsimi temsil eden aylar en düşük ve kış mevsimi ve bu mevsimi temsil eden aylar en yüksek değerler sunmaktadır.
- Yıllık ortalama dalga gücünün değişimindeki dalgalanma yaklaşık 7 kW/m ile Karaburun sayısal ağının en batısındaki istasyonda en yüksek gözlenirken doğuya doğru bu dalgalanmanın azalarak 1,5 kW/m olduğu belirlenmiştir. Karaburun sayısal ağındaki bütün istasyonlarda yıllık maksimum dalga gücünde artış eğilimi gözlenirken yıllık ortalama dalga gücü azalış eğilimi göstermiştir. Ayrıca, Filyos ve Sinop sayısal ağlarındaki bütün istasyonlarda yıllık ortalama dalga gücü azalış eğilimi göstermiştir.

- Karaburun sayısal ağında seçilmiş istasyonlar arasında en yüksek yıllık ortalama toplam enerji 73,57 MWh/m/yıl ile sayısal ağın en batısındaki 1 No'lu istasyonda ve en düşük 19,59 MWh/m/yıl ile sayısal ağın en doğusundaki 6 No'lu istasyonda mevcuttur. Filyos sayısal ağında en yüksek yıllık ortalama toplam enerji 5 No'lu istasyonda yaklaşık 30,61 MWh/m/yıl ve en düşük 3 No'lu istasyonda 23 MWh/m/yıl civarındadır. Sinop sayısal ağında en yüksek yıllık ortalama toplam enerji 37,74 MWh/m/yıl ile 5 No'lu istasyonda elde edilebilirken en düşük değer 23,85 MWh/m/yıl ile 6 No'lu istasyonda sağlanmıştır.
- Her üç alt sayısal ağlardaki bütün istasyonlarda yıllık ortalama dalga enerjisi 0,2 – 1,5 m belirgin dalga yüksekliği aralığında yoğunlaşmışken Karaburun sayısal ağında 2 – 5 s, Filyos sayısal ağında 3 – 7 s ve Sinop sayısal ağında 2,5 – 6,5 s dalga enerji periyodu aralıklarında yıllık ortalama dalga enerjisinin yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Tüm bu sonuçlar, üretilebilecek enerji, kurulum değeri, tasarım, enerji kapasitesi, ilgili alanda kurulacak bir dalga enerji santralinin yeri ile ilgili gerekli tüm bilgileri sağlayabilir ve bu sektörle ilgilenen herkese rehberlik edebilir. Tükettiği enerjinin önemli bir bölümünü ithal eden Türkiye için, dalga enerjisinin bir rezerv olarak dikkate alınmasının, bu kaynaktan yararlanmanın yollarını araştıran çalışmalara olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, şu anki çalışma son zamanlarda öne çıkan bir konu olan açık deniz rüzgar enerji santrallerinin kurulabileceği uygun alanlarının belirlenmesine yönelik ve açık deniz rüzgar enerji potansiyel ve değişkenliğinin belirlenmesine yönelik çalışmalara bir altyapı oluşturabilecektir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour, M., Rahimi, R. 2011.** Iran atlas of offshore renewable energies, *Renewable Energy*, 36: 388–398.
- Akpınar, A., Kömürcü, M.İ. 2012.** Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea, *Energy*, 42: 289–302.
- Akpınar, A., Kömürcü, M.İ. 2013.** Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data, *Applied Energy*, 101: 502–512.
- Akpınar, A., Bekiroglu, S., Van Vledder, G.Ph., Bingölbalı, B., Jafali, H. 2015.** Temporal and Spatial Analysis of Wave Energy Potential Along the Southern west Coasts of the Black Sea, Project Number: 214M436, *TUBITAK Project*.
- Akpınar, A., Bingölbalı, B., Jafali, H., 2016a.** Wave hindcasting for wave energy assessments in the Black Sea, International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS2016), 520 – 528, 24 – 28 May, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- Akpınar, A., Bingölbalı, B., Van Vledder, G.Ph., 2016b.** Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds, *Ocean Engineering*, 126: 276 – 298.
- Anonim, 2016.** Installed capacity and consented projects for wave energy worldwide in 2016, by country (in kilowatts), <https://www.statista.com/statistics/498077/installed-wave-power-capacity-and-consented-projects-globally-by-country/> (Erişim tarihi: 31.12.2018)
- Arinaga, R.A., Cheung, K.F. 2012.** Atlas of global wave energy from 10 years of reanalysis and hindcast data, *Renewable Energy*, 39: 49–64.
- Ayat, B. 2013.** Wave power atlas of Eastern Mediterranean and Aegean Seas, *Energy*, 54: 251–262.
- Aydoğan, B., Ayat, B. Yüksel, Y. 2013.** Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data, *Renewable Energy*, 57: 436–447.
- Bingölbalı, B., 2018.** Karadeniz’in Güney Batı Kıyıları İçin İç İç Geçmiş Karelej Sistemli Dalga Tahmin Modelinin Geliştirilmesi ve Dalga İklim Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- Cornett, A.M. 2008.** A global wave energy resource assessment, Proceedings of the Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Canada, 318–326.
- Cornett, A.M. 2009.** A global wave energy resource assessment, *Sea Technology*, 50: 59–64.
- Goda, Y. 2000.** Random Seas and Design of Maritime Structures, Advanced Series on Ocean Engineering, 15, World Scientific Publishing Co., No. 9789810232566, Singapore, 451 s.
- Gonçalves, M., Martinho, P., Soares, C.G., 2014.** Wave energy conditions in the western French coast, *Renewable Energy*, 62: 155-163.
- Henfridsson, U., Neimane, V., Strand, K., Kapper, R., Bernhoff, H., Danielsson, O., Leijon, M., Sundberg, J., Thorburn, K., Ericsson, E., Bergman, K. 2007.** Wave energy potential in the Baltic Sea and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak, *Renewable Energy*, 32: 2069–2084.
- Hughes, M.G., Heap, A.D. 2010.** National-scale wave energy resource assessment for Australia, *Renewable Energy*, 35: 1783–1791.
- Iglesias, G., Carballo, R. 2010a.** Wave energy resource in the Estaca de Bares area (Spain), *Renewable Energy*, 35: 1574–1584.

- Iglesias, G., Carballo, R. 2010b.** Offshore and inshore wave energy assessment: Asturias (N Spain), *Energy*, 35: 1964–1972.
- Lenee-Bluhm, P., Paasch, R., Özkan-Haller, H.T. 2011.** Characterizing the wave energy resource of the US Pacific Northwest, *Renewable Energy*, 36: 2106–2119.
- Liberti, L., Carillo, A., Sannino, G. 2013.** Wave energy resource assessment in the Mediterranean, the Italian perspective, *Renewable Energy*, 50: 938-949.
- Mirzaei, A., Tangang, F., Juneng, L., 2015.** Wave energy potential assessment in the central and southern regions of the South China Sea, *Renewable Energy*, 80: 454-470.
- Özsoy, E., Ünlüata, Ü., 1987.** Oceanography of the Black Sea: a review of some recent results. *Earth Sci Rev*, 42: 231-272.
- Pontes, M.T., Aguiar, R., Oliveira Pires, H. 2005.** A Nearshore Wave Energy Atlas for Portugal, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 127: 249-255.
- Rusu, E. 2009.** Wave energy assessments in the Black Sea, *Journal of Marine Science Technology*, 14: 359-372.
- Rusu, L., Guedes Soares, C. 2012a.** Wave energy assessments in the Azores islands, *Renewable Energy*, 45: 183–196.
- Rusu, E., Guedes Soares, C. 2012b.** Wave energy pattern around the Madeira Islands, *Energy*, 45: 771–785.
- Rusu, E., Onea, F. 2013.** Evaluation of the wind and wave energy along the Caspian Sea, *Energy*, 50: 1–14.
- Rusu, L., 2015.** Assessment of the Wave Energy in the Black Sea Based on a 15-Year Hindcast with Data Assimilation, *Energies*, 8: 10370-10388.
- Saket, A., Etemad-Shahidi, A. 2012.** Wave energy potential along the northern coasts of the Gulf of Oman, Iran, *Renewable Energy*, 40: 90–97.
- Sierra, J.P., González-Marco, D., Sospedra, J., Gironella, X., Mösso, C., Sánchez-Arcilla, A. 2013.** Wave energy resource assessment in Lanzarote (Spain), *Renewable Energy*, 55: 480–489.
- Sierra, J.P., Martín, C., Mosso, C., Mestres, M., Jebbad, R., 2016.** Wave energy potential along the Atlantic coast of Morocco, *Renewable Energy*, 96: 20-32.
- Stopa, J.E., Filipot, J-F., Li, N., Cheung, K.F., Chen, Y-L., Vega, L. 2013.** Wave energy resources along the Hawaiian Island chain, *Renewable Energy*, 55: 305–321.
- U.S. Army, 2003.** Coastal Engineering Manual, Chapter II-2, Meteorology and Wave Climate, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, No. EM 1110-2-1100, Washington (DC), USA, 77 s.
- Vicinanza, D., Contestabile, P., Ferrante, V. 2013.** Wave energy potential in the north-west of Sardinia (Italy). *Renewable Energy*, 50: 506–521.
- WMO, 1998.** Guide to Wave Analysis and Forecasting, World Meteorological Organization (WMO), WMO- No. 702, Geneva, Switzerland, 152 s.
- Zheng, C-w., Pan, J., Li, J-x. 2013.** Assessing the China Sea wind energy and wave energy resources from 1988 to 2009, *Ocean Engineering*, 65: 39-48.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Halid JAFALI
Doğum Yeri ve Tarihi : Malawi,Lilongwe / 09.12.1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Lilongwe High, 2007
Lisans : Osmangazi Üniversitesi, 2008

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Bursa Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü Proje Asistanı 2015-2017

İletişim (e-posta) : halidjfone@gmail.com

Yayımları :

Uluslararası Makaleler (SCI ve SCI-E)

Bingölbali, B., Akpınar, A., Jafali, H., Van Vledder, G.Ph., 2018. Downscaling of wave climate in the western Black Sea. *Ocean Engineering*, 172: 31-45.

Bingölbali, B., Jafali, H., Akpınar, A., Bekiroğlu, S., 2018. Wave energy potential and variability for the South West coasts of the Black Sea: The WEB-based wave energy atlas. *Renewable Energy*, under review.

Uluslararası Bildiriler

Çakmak, R.E., Akpınar, A., Bingölbali, B., Jafali, H., 2018. The Recent Extreme Sea Waves affecting the Black Sea, (ISHAD2018), 4-6 May 2018, Sakarya, Turkey.

Bingölbali, B., Jafali, H., Akpınar, A., 2017. Wave Energy Potential in and around Sinop, (ICENS2017), 3-7 May 2017, Budapest, Hungary.

Çakmak, R.E., Bingölbali, B., Jafali, H., Akpınar, A., 2017. Comparison of three different wave climate studies along the south western Black Sea coasts, (ICENS2017), 3-7 May 2017, Budapest, Hungary.

Akpınar, A., Çakmak, R.E., Jafali, H., 2017. Investigation of existing coastal problems of Bursa province in the Sea of Marmara, (ICENS2017), 3-7 May 2017, Budapest, Hungary.

Akpınar, A., Bingölbali, B., Jafali, H., 2016. Spatial distribution of mean wave energy flux over the Black Sea, International Conference on Sustainable Development (ICSD2016), 19 – 23 October, Skopje, Macedonia.

Akpınar, A., Bingölbali, B., Jafali, H., 2016. Wave Hindcasting for Wave Energy Assessments in the Black Sea, International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2016), 24 – 28 May, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.