

**GÜNEY BATI KARADENİZ'DE MEVCUT VE
ÖLÇEKLENDİRİLMİŞ DALGA ENERJİ
DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNDEN ENERJİ ÜRETİMİ**

Ajab Gul MAJIDI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEY BATI KARADENİZ'DE MEVCUT VE ÖLÇEKLENDİRİLMİŞ DALGA
ENERJİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNDEN ENERJİ ÜRETİMİ**

Ajab Gul MAJIDI
ORCID ID: 0000-0003-0006-5843

Prof. Dr. Adem AKPINAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ajab Gul MAJIDI tarafından hazırlanan “Güney Batı Karadeniz’de Mevcut ve Ölçeklendirilmiş Dalga Enerji Dönüştürücülerinden Enerji Üretimi” 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 : Prof. Dr. Adem AKPINAR

Başkan : Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Ü. Bergüzar ÖZBAHÇECİ
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik
Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Yukarıdaki sonucu onaylarım

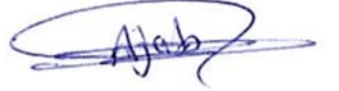
Prof. Dr. Hüseyin Aksef EREN
Enstitü Müdürü
/09/2020

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

- 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.

02/09/2020



Ajab Gul MAJIDI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEY BATI KARADENİZ'DE MEVCUT VE ÖLÇEKLENDİRİLMİŞ DALGA ENERJİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNDEN ENERJİ ÜRETİMİ

Ajab Gul MAJIDI

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adem AKPINAR

Bu çalışmanın ana hedefi; Karadeniz'in enerji potansiyeli yüksek olan Güney batı sahillerinde mevcut 15 adet DED sisteminin (WaveDragon, Pelamis, AquaBuoy, Oyster, Oyster 2, WaveStar, Bottom-fixed Heave Buoy Array, SSG, AWS, Langlee, Oceantec, OE Buoy, Pontoon, Seabased AB ve Wavebob) hangilerinin kurulmasının uygun olduğu, hangi DED sisteminin daha yüksek bir kapasite faktörüne ve uygulanabilirliğe sahip olduğu, hangi derinliklerde hangi sistemin uygun olduğu ve diğerlerine kıyasla daha yüksek bir enerji eldesi sağladığının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle çalışma alanında belirlenen her bir istasyonda farklı dalga yükseklik ve farklı periyot aralıklarında dalgaların oluşma olasılık matrisleri üretilmiş ve bu saçılım tabloları DED sistemlerinin güç matrisleri ile ilişkilendirilerek ve her bir istasyonda kurulabilecek her bir DED sisteminin elde edilebilecek dalga enerji çıktısı hesaplanmıştır. Ayrıca, DED sistemlerinin dikkate alınan istasyonlarda uygulanabilirliğinin bir göstergesi olarak kapasite faktörü, verimlilik indeksi ve zaptetme genişliği hesaplanmış ve farklı DED sistemleri için kıyaslanmıştır. Bununla birlikte, mevcut DED sistemlerinin tasarım esaslarından dolayı mevcut dalga koşullarıyla daha uyumlu olması açısından ölçeklendirilmiştir. Cihazların yeniden boyutlandırılmasında Froude ölçeklendirme yasası dikkate alınmış ve bütün cihazlar, 1,0'dan 0,1'e kadar on kez küçültülmüştür. Daha sonra, en yüksek kapasite faktörüne sahip ölçeklendirme faktörü belirlenip, orijinal cihazın performansı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, enerji üretim miktarı açısından SSG, WaveDragon, Oyster, Oceantec ve Pontoon ve kapasite kullanımı açısından Oyster ve Oceantec diğer dikkate alınan DED sistemlerine kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca, DED sistemlerin boyutları küçüldüğünde kapasite faktörlerinin yükseldiği, enerji üretimlerinin azaldığı ve Oyster ve Oceantec makinelerinin en uygun cihaz olarak öne çıktığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz, dalga enerji dönüştürücüler, kapasite faktörü, performans
2020, x + 134 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ENERGY PRODUCTION FROM EXISTING AND SCALED WAVE ENERGY CONVERTERS IN THE SOUTH-WESTERN BLACK SEA

Ajab Gul MAJIDI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Adem AKPINAR

The main goal of this study is to determine which of the 15 existing WECs (WaveDragon, Pelamis, AquaBuoy, Oyster, Oyster 2, WaveStar, Bottom-fixed Heave Buoy Array, SSG, AWS, Langlee, Oceantec, OE Buoy, Pontoon, Seabased AB and WaveBob) has a higher capacity factor and applicability, more suitable at which depths and provides a higher energy yield compared to the other evaluated devices in the high energy potential regions of the Black Sea. For this purpose, the probability of waves occurring at different wave heights and different period intervals was determined at each station, and the scatter tables were produced. The wave energy output that can be obtained by correlating the power matrices of the WECs with the scatter tables were calculated. The capacity factor, efficiency index, and capture width as the indicators of the applicability of the WECs at the considered stations were calculated and compared for different WECs. In addition, due to the design principles of the existing WECs, they are scaled to be more compatible with present wave conditions. Froude scaling law was taken into consideration when resizing the devices, and all devices were downsized from 1.0 to 0.1 ten times. Then, the scaling factor with the highest capacity factor was determined and compared with the performance of the original device. After all, SSG, WaveDragon, Oyster, Oceantec, and Pontoon in terms of energy output and Oyster and Oceantec in terms of capacity factor utilization, offer higher values compared to the other considered WECs. As a result, when the size of the WECs decreased, the capacity factors increased and, it has been determined that Oyster and Oceantec machines stand out as the most suitable devices.

Keywords: Black Sea, wave energy converters, capacity factor, performance
2020, x + 134 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 Prof. Dr. Adem AKPINAR’a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında ihtiyaç duyduğum her anda fikirlerini ve önerilerini aldığım, hiçbir zaman benden yardımlarını esirgemeyen ve daima yanımda olan Öğr. Gör. Bilal Bingölbali, Doç. Dr. Murat KANKAL, Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN, Araş. Gör. Recep Emre ÇAKMAK ve diğer değerli tüm hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bu çalışma kapsamında dalga enerji dönüştürücülerin performanslarını belirlemek için ihtiyaç duyulan bütün dalga verisi 214M436 No’lu TÜBİTAK’ın Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı 1001 projesi kapsamında üretilmiştir. Bundan dolayı, hem bir önceki projeyi hem de bu tez çalışmasını Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı (1001) bünyesinde 118R024 No’lu araştırma projesi kapsamında destekleyen TÜBİTAK’a teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamda, destekleriyle her zaman yanımda olan aileme (özellikle, buraya kadar beni getiren anneme) ve dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ajab Gul MAJIDI
02/09/2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
3.MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1.Çalışma alanı ve dalga verileri	12
3.2.Dalga Enerji Dönüştürücüleri (DED)	12
3.3.Dalga Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi	18
4.BULGULAR ve TARTIŞMA	31
4.1.Dalga parametrelerinin istatistiksel göstergeleri	32
4.2.Dalga parametrelerinin yıl içi değişimleri	46
4.3.Dalga gücü değişkenlik indeksleri	52
4.4.Mevcut dalga enerji dönüştürücü sistemlerin performansları	55
4.5.Ölçeklendirilmiş dalga enerji dönüştürücü sistemlerin performansları	67
5.SONUÇ	77
KAYNAKLAR	82
EKLER	87
EK 1. Ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücünün yıl içi ve aylık değişimleri	88
EK 2. Çalışmada kullanılan 15 DED sistemlerinin güç matrisleri	105
EK 3. Ölçeklendirilmiş DED sistemlerin enerji ve kapasite faktörünün değişim grafikleri	111
EK 4. Tam ve optimum ölçekli cihazların ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve çalışma saatleri (O_h)	115
EK 5. DED sistemlerinin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü, kapasite faktörü, beklenen elektrik enerjisi , nominal kapasite faktörü ve DED sisteminin yükleme saatlerin karşılaştırılması	121
ÖZGEÇMİŞ	134

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
E	Enerji
E_k	Kinetik enerji
E_p	Potansiyel enerji
$\bar{E}$	Enerji yoğunluğu
ρ	Deniz suyu yoğunluğu
C_g	Dalga grup hızı
n	Dalga grup hızı denkleminde bir sabit
C	Dalga hızı
C_{g0}	Derin denizlerde grup hızı
g	Yer çekimi ivmesi
L_o	Açık deniz dalga boyu
T	Dalga periyodu
$\bar{P}$	Ortalama güç
P	Güç
H_{rms}	Ortalama kare kök dalga yüksekliği
π	Pi, Arşimet sabiti (3,14)
H_s	Belirgin dalga yüksekliği
H_{m0}	Spektral dalga yüksekliği
T_e	Dalga enerji periyodu
T_{m-10}	Dalga enerji periyodu
T_m	Ortalama dalga periyodu
T_p	Pik dalga periyodu
T_{m2}	Ortalama su seviyesi kesme periyodu
f_p	Pik frekans
m_{-1}	-1'inci derece moment
m_0	Sıfırıncı derece moment
m_1	Birinci derece moment
m_2	İkinci derece moment
$S(f)$	Spektral enerji yoğunluğu
F	Frekans
T_z	Ortalama periyodu / Ortalama su seviyesi kesme periyodu
α	Dalga spektrumunun katsayısı
E_w	Terorik dalga enerjisi
P_w	Teorik dalga gücü
$\bar{P}_{M1}$	Yılın en enerjik ay ortalama dalga gücü
$\bar{P}_{M12}$	Yılın en az enerjik ayın ortalama dalga gücü
$\bar{P}_{S4}$	Yılın en az enerjik mevsiminin ortalama dalga gücü
$\bar{P}_{S1}$	Yılın en enerjik mevsiminin ortalama dalga gücü
$\bar{P}_w$	Yılın ortalama dalga gücü
f_{Toplam_zaman}	2 kW/m'den daha büyük dalga güçlerinin olasılığı
P_E	Elektrik gücü
E_0	Elektrik enerjisi

n_T	Periyot sınıflarının sayısı
n_H	Belirgin dalga yükseklik sınıflarının sayısı
f_{ij}	i. ve j. sınırlar arasındaki dalgaların oluşma frekansları
P_{ij}	Güç matrisinin i. ve j. sınıflarını temsil eden elektrik gücü
C_f	Kapasite faktörü
C_w	Zaptetme genişliği / yakalama genişliği
P_r, P_n	DED sistemin nominal gücü /kurulu gücü
P_{EN}	Boyutsuz normalleştirilmiş dalga gücü
P_{Emax}	Bütün coğrafik lokasyonlardan maksimum dalga elektrik gücü
R_{EP}	Ortalama yıllık dalga gücünün nominal güce oranı
E_i	Verimlilik endeksi
λ_L	Froude ölçeklendirme faktörü
$L_{DED,d}$	Boyutu küçültülmüş DED sistemin uzunlukları
$T_{DED,d}$	Boyutu küçültülmüş DED sistemin dalga periyodu
$P_{DED,d}$	Boyutu küçültülmüş DED sistemin güç matrisi
L_{DED}	Orjinal DED sistemin uzunlukları
T_{DED}	Orjinal DED sistemin dalga periyodu
P_{DED}	Orjinal DED sistemin güç matrisi
R_f	Nominal kapasite faktörü
O_h	Yıllık yükleme saatleri

Kısaltmalar Açıklama

WECs	Wave Energy Converter system
WEC	Wave Energy Converter
DED	Dalga Enerji Dönüştürücüsü
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis (İklim Tahmin Sistemi Analizi)
EMEC	European Marine Energy Center (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi)
MVI	Monthly Variability Index (Aylık Değişkenlik Endeksi)
SVI	Seasonal Variability Index (Sezonluk Değişkenlik Endeksi)
JONSWAP	Joint North Sea Wave Observation Project
PTO	Power Take Off (Güç Çıkışı)
OWC	Oscillating Water Column (Salınımlı Su Sütunu)
med	Medyan değer
maks	Maksimum değer
ort	Ortalama
DIR	Direction (Yön)
m	Metre
s	Saniye
h	Hour (saat)
MWh	Mega watt saat (Enerji birimi)
GWh	Gega watt saat (Enerji birimi)
kW	Kilo watt (Güç birimi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Ekonomik dalga enerji potansiyelinin belirleneceği kıyıya dik hatlar şeklinde seçilen istasyonlar, kaba tanımlı dalga modelleme alanı, ince tanımlı dalga modelleme alanı, yüksek çözünürlüklü dalga modelleme alt alanları (SD3, SD2 ve SD1) ve tüm Karadeniz ve alt alanların batimetrisi.....	5
Şekil 3.1. Örnek DED sistemler: AquaBuoy (üst sol), Pelamis (üst sağ), WaveBob (alt sol) ve Oyster (alt sağ).....	14
Şekil 4.1. Kıyıya dik hatlarda seçilmiş beş farklı derinlikte belirgin dalga yüksekliğinin uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama ve maksimum değerlerinin kıyaslaması	37
Şekil 4.2. Kıyıya dik hatlarda seçilmiş beş farklı derinlikte ortalama periyodun (T_{m02}), pik periyodun (T_{pik}) ve enerji periyodunun (T_e veya T_{m-10}) uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama değerlerinin kıyaslaması	38
Şekil 4.3. Kıyıya dik hatlarda seçilmiş beş farklı derinlikte teorik dalga gücünün uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama değerlerinin kıyaslaması.....	38
Şekil 4.4. 1979 – 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun dönemli SWAN tahminlerinden elde edilmiş Karaburun'dan Sinop'a kadar kıyı boyunca ve kıyıdan açık denize doğru 5 farklı derinlikte (5, 25, 50, 75 ve 100 m) kıyıya dik 13 hatta 62 istasyon için belirgin dalga yüksekliğinin (H_{m0}) kutu grafiği (aşağıdaki panel), kutu grafiği üzerindeki mavi çizgi ortalama H_{m0} , orta panelde renk çubuğu maksimum H_{m0} ve üst panelde belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m'den daha düşük olma olasılığı ($H_{m0} < 0,5$ m, mavi histogram) ve belirgin dalga yüksekliğinin 2 m'den daha büyük olma olasılığı (kırmızı çizgi).	41
Şekil 4.5. 1979 – 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun dönemli SWAN tahminlerinden elde edilmiş Karaburun'dan Sinop'a kadar kıyı boyunca ve kıyıdan açık denize doğru 5 farklı derinlikte (5, 25, 50, 75 ve 100 m) kıyıya dik 13 hatta 62 istasyon için dalga enerji periyodunun (T_e veya T_{m-10}) kutu grafiği (aşağıdaki panel), kutu grafiği üzerindeki mavi çizgi ortalama T_{m-10} , orta panelde renk çubuğu maksimum T_{m-10} ve üst panelde dalga enerji periyodunun 5 saniyeden daha düşük olma olasılığı ($T_{m-10} < 5$ s, kahverengi histogram)	42
Şekil 4.6. 1979 – 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun dönemli SWAN tahminlerinden elde edilmiş Karaburun'dan Sinop'a kadar kıyı boyunca ve kıyıdan açık denize doğru 5 farklı derinlikte (5, 25, 50, 75 ve 100 m) kıyıya dik 13 hatta 62 istasyon için dalga gücünün kutu grafiği (aşağıdaki panel), kutu grafiği üzerindeki mavi çizgi ortalama dalga gücü, orta panelde renk çubuğu maksimum dalga gücü ve üst panelde dalga gücünün 10 kW/m'den daha yüksek olma olasılığı (kahverengi histogram).....	45
Şekil 4.7. Kıyı şeridinde dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimleri.....	48
Şekil 4.8. Kıyı şeridinde dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık maksimum H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimleri.....	49
Şekil 4.9. Kıyı şeridinde dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık ortalama dalga gücünün değerlerinin yıl içi değişimleri	50

Şekil 4.10. Kıyı şeridine dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık maksimum dalga gücünün değerlerinin yıl içi değişimleri	51
Şekil 4.11. Kıyıya dik olan 13 hat üzerinde 62 farklı nokta için 1979 - 2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli SWAN simülasyonu sonucundan elde edilen aylık ve mevsimsel değişkenlik indeksleri	52
Şekil 4.12. Karaburun'dan Sinop'a kadar kıyı çizgisine dik 13 hat boyunca seçilmiş 62 istasyon için 1979 - 2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli SWAN simülasyonunun sonuçlarından elde edilmiş dalga gücünün 2 kW/m değerine eşit veya daha büyük olma olasılığının (üst sol grafik), dalga gücünün aylık değişkenlik indeksinin (MVI) (üst sağ grafik), mevsimlik değişkenlik indeksinin (SVI) (sol alt grafik) ve optimum şiddetli bölge indeksinin (OHI) (sağ alt grafik).	54
Şekil 4.13. Kıyıya paralel birinci hat (4 - 16 m derinlik) üzerinde olan 10 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).	58
Şekil 4.14. Kıyıya paralel ikinci hat (22 - 31 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).	58
Şekil 4.15. Kıyıya paralel üçüncü hat (49 - 54 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).	59
Şekil 4.16. Kıyıya paralel dördüncü hat (68 - 77 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).	59
Şekil 4.17. Kıyıya paralel beşinci hat (98 -106 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).	60
Şekil 4.18. Kıyıya ilk paralel hattaki (4 - 16 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri	62
Şekil 4.19. Kıyıya paralel ikinci hattaki (22 - 31 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri	63
Şekil 4.20. Kıyıya paralel üçüncü hattaki (49 - 54 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri	65
Şekil 4.21. Kıyıya paralel dördüncü hattaki (68 - 77 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri	66

Şekil 4.22. Kıyıya paralel beşinci hattaki (98 - 106 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri	67
Şekil 4.23. 15 farklı DED'lerinin ortalama (31 yıllık uzun vadeli dalga modeli) beklenen dalga enerjisi (MWh, kesik çizgiler, sağ y-ekseni) ve C_f (% , sürekli çizgiler, sol y-ekseni) KA1-KA4 konumları için ölçeklendirme faktörüne (λ_L) karşı değişimi ..	69
Şekil 4.24. Oyster DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.25. Oceantec DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Bu çalışma kapsamında ilgi alanında düşünülen istasyonların koordinatları, derinlik ve kıyıya olan mesafeleri.	6
Çizelge 3.1. DED sistemlerinin bazı karakteristikleri (Carballo ve ark. 2014, Diaconu ve Rusu 2013, Lavidas ve Venugopal 2017, Reikard ve ark. 2015, L. Rusu ve Onea 2015, Silva ve ark. 2013).....	23
Çizelge 4.1. Karaburun sayısal ağında kıyıya dik beş farklı hat üzerinde olan 24 nokta için 1979-2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan bazı dalga parametrelerinin yıllık medyan ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması.	33
Çizelge 4.2. Filyos ağında kıyıya dik dört farklı hat üzerinde olan 19 nokta için 1979-2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan bazı dalga parametrelerinin yıllık medyan ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.3. Sinop sayısal ağında kıyıya dik dört farklı hat üzerinde olan 19 nokta için 1979-2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan bazı dalga parametrelerinin yıllık medyan ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması.	36
Çizelge 4.4. KA5 istasyonunda 2009 yılı SWAN simülasyon sonuçlarına dayanan belirgin dalga yüksekliği ve dalga enerji periyodunun ortak olasılık dağılımı	56
Çizelge 4.5. Pelamis dalga enerji dönüştürücü sisteminin güç matrisi.....	56
Çizelge 4.6. KA1 (4 m derinlik).konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED'ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)	70
Çizelge 4.7. KA2 (25 m derinlik). konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED'ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)	70
Çizelge 4.8. KA3 (54 m derinlik). konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED'ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)	71
Çizelge 4.9. KA4 (75 m derinlik). konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED'ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)	71

1. GİRİŞ

Antropojenik sera gazı azaltma konusunda küresel endişeler emisyonlar ve daha sürdürülebilir kalkınmaya yardımcı olma ihtiyacı, hem yenilenebilir enerji yatırımlarındaki genişlemeye hem de gelecekteki karbon içermeyen enerjinin payı için yenilenebilir enerji direktiflerinin oluşturulmasına yol açtı. 2015 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesi, küresel ısınmayı 2 derecenin altına düşürme taahhüdünün kabul edildiği Paris İklim Anlaşması'nı formüle etti (<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> 2015). Dünya genelindeki sera gazı emisyonlarının % 25'ini oluşturan elektrik üretimi ile birlikte, yenilenebilir enerji üretimine geçiş bu hedefi gerçekleştirmek için kritik bir bileşen olarak görülmektedir (Pachauri ve ark. 2014). Bu nedenle, tüm dünya ülkeleri, daha sürdürülebilir, yüksek kaliteli ve çevreye dost enerji üretmenin yollarını bulmaya çalışmaktadırlar. Nüfus artışı ve endüstrideki gelişmelere paralel olarak enerji tüketimi de tüm dünyada önemli ölçüde artmakta ve artmaya da devam etmektedir. Geleneksel enerji üretim yöntemlerinin ciddi çevre sorunlarına sebebiyet vermesi nedeniyle dünya ülkelerinin hükümetleri kirlilik içermeyen, çevre dostu, yerli, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar, güneş, su, jeotermal ve dalga enerjisi) enerji tüketimi içerisindeki payını artırmak için büyük çaba sarf etmektedirler. Bundan dolayı, enerji sektörü yenilenebilir enerjiye doğru zorunlu bir eğilim göstermiştir. Bu, genç nüfusa sahip dünyanın en hızlı büyüyen ekonomilerinden biri olan Türkiye için bir istisna değildir. Türkiye nüfusunun önümüzdeki birkaç on yıl içinde önemli ölçüde büyümesi beklenmektedir. Bu büyüme ve Türkiye'nin 2023 kalkınma planları ile birlikte, bu hedefleri gerçekleştirmek için kesinlikle daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacağı beklenmektedir. 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi içerisindeki payının en az %30 olması hedefinin sağlanabilmesi için de bir yandan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin artırılması ve diğer yandan yeni kaynakların devreye sokulması gerekmektedir (Erdin ve Ozkaya 2019). Küresel ısınma riskini azaltacak sera gazı salınımını önlemek amacıyla tüm dünyada yenilenebilir kaynaklardan enerji çıkarma konusunda sürekli bir artış eğilimi bulunmaktadır. Fosil yakıt rezervleri sınırlıdır ve bu nedenle ülkelerin alternatif enerji kaynaklarına geçmeleri büyük önem taşımaktadır.

Bilindiği gibi, Türkiye'nin enerjisinin yaklaşık %74'ü, ülkenin mevcut bütçesinin en büyük payını oluşturan ülke dışından ithal edilmektedir. Yabancı enerjiye olan bu bağımlılığın azaltılması, ülkenin refahı ve rekabet gücü açısından son derece önemlidir. Bunu başarabilmek için, en iyi seçenek yerli, alternatif ve çevre dostu enerji kaynaklarını değerlendirmektir. Son yıllarda, dünyanın pek çok yerinde daha fazla alternatif enerji kaynağı bulmak için birçok çalışma bulunmaktadır. Dalga enerjisi, dalgaların dalga enerjisi dönüştürücüleri (DED) olarak adlandırılan makineler kullanılarak sahip oldukları büyük enerji yoğunluğunun elektriğe dönüştürülebilmesinden dolayı ana alternatif enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. DED sistemleri hem kıyı hem de açık deniz alanlarında kurulum için geliştirilmiş bir teknolojidir. Türkiye'nin coğrafi konumu, üç tarafının denizlerle çevrili olmasından dolayı, onu dalgadan enerji üretimi için potansiyel bir alan haline getirmektedir. Dalga enerjisi, kayda değer miktarda yatırım çeken bir teknolojidir. Büyük ölçüde kullanılmayan dalga enerjisi kaynağından faydalanacak teknolojiler, gelecekteki küresel enerji karışımının bir parçası olarak, sera gazı konsantrasyonlarının gelecekteki gerekli azaltmalarına katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Ancak, ticari öncesi, tam ölçekli prototip testlerinden dalga enerjisi dönüştürücülerinin (DED) ticarileşmesine kadar olan ilerleme nispeten yavaştır. Bu, kısmen dalga enerjisi kaynağının değişkenliği ve müteakip potansiyel üretim performansının projelerin beklenen ömrü boyunca ortaya çıkan finansal riskleri nedeniyle olmuştur.

Bütün bu bilgiler ışığında, konu ile ilgili olarak toplanan bilgilere dayanarak bu çalışmanın temel amacı; Dalga enerji potansiyeli açısından Karadeniz'in yüksek potansiyelli bölgelerinde mevcut ve ölçeklendirilmiş dalga enerji dönüştürücülerinden elde edilebilecek enerjinin (ekonomik dalga enerji potansiyeli) ve bu sistemlerin ilgili bölgedeki performanslarının belirlenmesidir. Bu ana amaç doğrultusunda bu çalışmanın alt hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

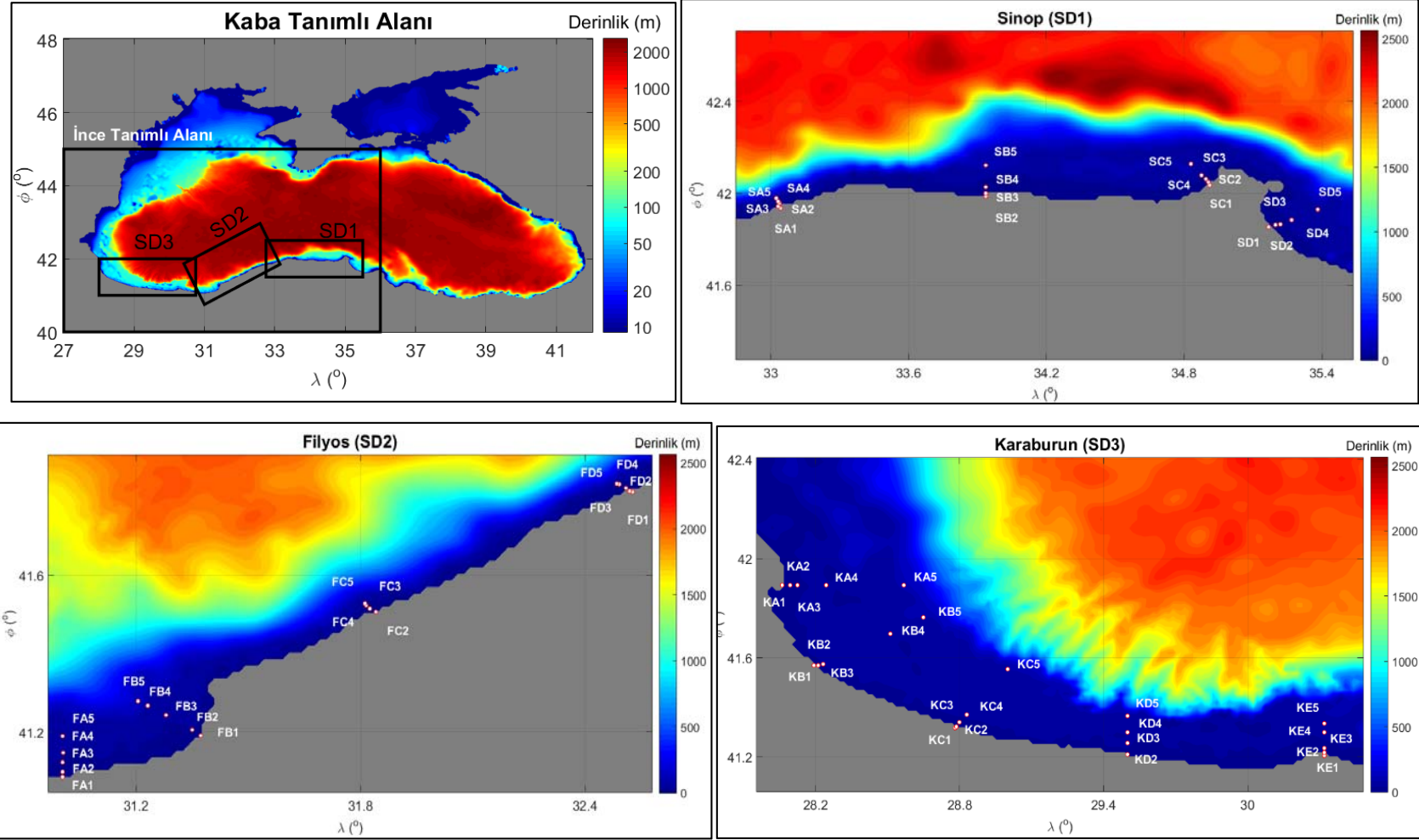
- İlgili bölgede seçilen istasyonlarda teorik dalga enerji potansiyelinin ortaya çıkartılması
- Seçilen dalga enerji dönüştürücüleri tarafından üretilebilecek ekonomik dalga enerji potansiyelinin belirlenmesi

- Seçilen istasyonlarda kurulacak dalga enerji dönüştürücü sistemlerinin kapasite faktörleri / verimliliklerinin (etkinliklerinin) belirlenmesi
- Dalga enerji dönüştürücülerinin kurulabilecekleri optimum derinlik ve konumlarının belirlenmesi
- Seçilen istasyonlarda kurulabilecek bütün sistemlerin Froude ölçeklendirme kanunu ile 10 kat küçültülmesi
- Kapasite faktörünü maksimum yapan ölçeklendirme faktörünün belirlenmesi
- Optimum ölçeklendirme faktörüne dayanarak her bir sistemin her bir istasyondaki ölçeklendirilmiş DED sistemlerinin performanslarının belirlenmesi
- Tam kapasite ve ölçeklendirilmiş sistem durumundaki enerji çıktılarının, kapasite faktörlerinin, nominal kapasite ve çalışma saatlerinin bütün istasyonlarda bütün DED sistemleri için kıyaslanması.

Elektrik üretmek amacıyla Karadeniz'de kurulması muhtemel çeşitli dalga enerji dönüşüm sistemlerinden elde edilebilecek enerjinin belirlenmesini konu edinen bu çalışma, seçilen bölgelerde hangi DED sisteminin kurulmasının daha uygun olacağını ortaya koymakta ve Karadeniz'deki dalgadan enerji üretiminde yüksek potansiyelli öncelikli alanların belirlenmesini sağlamaktadır. Bu bilgi, bu teknolojinin kurulumunun ve çalıştırılmasının maliyetli olması nedeniyle son derece hayati bir önem taşımaktadır.

Şu anki çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için daha önceden “Karadeniz’in Güneybatı Sahillerinin Sahip Olduğu Dalga Enerji Potansiyelinin Zamansal ve Mekansal Analizi” isimli 1001 TÜBİTAK Projesi (Akpınar ve ark. 2015) ile Karadeniz’in yüksek potansiyelli bölgeleri için uzun dönemli benzeştirilmiş dalga veri seti kullanılmıştır. Bu dalga veri seti, bölgenin dalga ikliminin ve dalga enerji akısının belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan bütün bilgiyi istenilen istasyonlar için sağlayabilmiştir. Çalışma alanı, Karadeniz’in yüksek dalga enerji potansiyelli güney batı bölümüdür. Bu bölgede kıyı çizgisine dik olarak seçilen 13 hat (lütfen Şekil 1.1’e bakınız) boyunca 5 farklı derinlikten (5 m, 25 m, 50 m, 75 m ve 100 m) (lütfen Çizelge 1.1’e bakınız) bazıları için ihtiyaç duyulan dalga bilgisi Akpınar ve ark. (2015) tarafından üretilen veri setinden çekilmiştir. Veri setinden çekilen veriler kullanılarak belirlenen her hatta seçilen her derinlik için belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga periyodu / pik dalga periyodu veya dalga enerji periyodu ile ortak olasılık dağılım tabloları elde edilmiştir. Daha sonra, bu tablolar

ile dikkate alınan her bir DED sistemi için sahip oldukları güç matrisleri ile her birinin kurulabilecekleri derinlik için belirlenen belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga periyodu / pik dalga periyodu veya dalga enerji periyodu ile ortak olasılık dağılım tabloları arasındaki ilişkiden yararlanarak her bir derinlikte DED sistemlerinin mevcut dalga iklimine göre üretebilecekleri dalga enerjisi belirlenmiştir. Böylelikle, hem farklı bölgelerdeki ekonomik dalga enerji potansiyellerinin kıyaslanması hem de hangi bölgede hangi DED sisteminin daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca, DED sistemleri okyanus dalga koşulları için tasarlandığı için Karadeniz gibi orta şiddetli denizlerde verimli çalışmama ihtimali bulunmaktadır. Bu yüzden, bu çalışmada mevcut DED sistemlerin boyutları Froude ölçeklendirme kanunu kullanılarak on defa küçültülmüş ve ölçeklendirilmiş DED sistemlerin enerji üretim performansları ve kapasite faktörleri belirlenmiştir. Kapasite faktörünü maksimum yapan ölçeklendirme faktörleri dikkate alınarak tüm DED sistemleri için optimum durum belirlenmiş ve tam kapasite ve ölçeklendirilmiş durumlardaki bütün DED sistemlerinin performansları bütün istasyonlarda kıyaslanmıştır.



Şekil 1.1. Ekonomik dalga enerji potansiyelinin belirleneceği kıyıya dik hatlar şeklinde seçilen istasyonlar, kaba tanımlı dalga modelleme alanı, ince tanımlı dalga modelleme alanı, yüksek çözünürlüklü dalga modelleme alt alanları (SD3, SD2 ve SD1) ve tüm Karadeniz ve alt alanların batimetrisi

Çizelge 1.1. Bu çalışma kapsamında ilgi alanında düşünülen istasyonların koordinatları, derinlik ve kıyıya olan mesafeleri.

Hat	İstasyon	Xp (°)	Yp (°)	Mesafe (km)	Derinlik (m)	Hat	İstasyon	Xp (°)	Yp (°)	Mesafe (km)	Derinlik (m)
KA	KA1	28,063	41,891	0,7	4	FC	FC1	-	-	-	-
	KA2	28,094	41,891	3,3	25		FC2	31,842	41,506	1,0	27
	KA3	28,125	41,891	5,9	54		FC3	31,824	41,515	2,8	50
	KA4	28,244	41,891	15,7	75		FC4	31,814	41,522	3,9	75
	KA5	28,569	41,891	42,8	99		FC5	31,812	41,527	4,5	98
KB	KB1	28,194	41,570	0,7	7	FD	FD1	32,527	41,812	0,7	16
	KB2	28,213	41,570	2,3	26		FD2	32,519	41,815	1,2	31
	KB3	28,231	41,574	3,9	49		FD3	32,509	41,822	2,3	52
	KB4	28,513	41,696	31,0	75		FD4	32,492	41,831	3,5	68
	KB5	28,650	41,761	44,4	99		FD5	32,484	41,834	4,0	99
KC	KC1	28,781	41,317	0,5	13	SA	SA1	33,044	41,935	0,4	12
	KC2	28,788	41,322	1,1	22		SA2	33,031	41,944	1,8	24
	KC3	28,800	41,339	3,3	51		SA3	33,038	41,957	2,9	52
	KC4	28,831	41,370	7,6	75		SA4	33,031	41,965	4,0	70
	KC5	29,000	41,552	32,2	100		SA5	33,025	41,978	5,5	105
KD	KD1	-	-	-	-	SB	SB1	-	-	-	-
	KD2	29,500	41,209	2,7	26		SB2	33,938	41,987	1,5	27
	KD3	29,500	41,257	8,1	51		SB3	33,938	42,000	2,9	51
	KD4	29,500	41,300	13,2	75		SB4	33,938	42,026	5,8	75
	KD5	29,500	41,365	20,3	106		SB5	33,938	42,122	16,7	100
KE	KE1	30,319	41,204	1,0	7	SC	SC1	34,913	42,035	0,3	14
	KE2	30,319	41,217	2,6	26		SC2	34,906	42,048	1,5	26
	KE3	30,319	41,235	4,3	51		SC3	34,894	42,061	3,2	51
	KE4	30,319	41,300	11,6	76		SC4	34,875	42,078	5,7	77
	KE5	30,319	41,335	15,5	99		SC5	34,831	42,126	12,0	99
FA	FA1	31,003	41,086	1,6	14	SD	SD1	35,169	41,852	2,0	13
	FA2	31,004	41,098	3,0	25		SD2	35,198	41,861	4,6	26
	FA3	31,004	41,123	5,7	53		SD3	35,219	41,865	4,4	51
	FA4	31,004	41,147	8,4	76		SD4	35,269	41,883	11,0	76
	FA5	31,003	41,189	13,2	99		SD5	35,381	41,930	22,0	100
FB	FB1	31,373	41,191	1,0	13						
	FB2	31,350	41,205	3,4	24						
	FB3	31,281	41,243	10,0	49						
	FB4	31,231	41,267	14,5	74						
	FB5	31,206	41,278	16,0	103						

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma, elektrik üretmek amacıyla Karadeniz'de kurulması muhtemel çeşitli dalga enerji dönüşüm sistemlerinden elde edilebilecek enerjinin belirlenmesini konu edinmektedir. Bu çalışmada, seçilen bölgelerde hangi DED sisteminin kurulmasının daha uygun olacağı ortaya çıkartılmış ve Karadeniz'deki dalgadan enerji üretiminde yüksek potansiyelli öncelikli alanların belirlenmesini sağlamıştır. Bu bilgi, bu teknolojinin kurulumunun ve çalıştırılmasının maliyetli olması nedeniyle son derece hayati bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, farklı DED sistemleri ile üretilebilecek enerji miktarının önceden tahmini çok önemlidir. Yenilenebilir enerji endüstrisinin bu dinamik evriminde dalga enerji endüstrisi de teknolojisinin nispeten yeni olmasına karşın ortaya çıkmaktadır. Günümüzde, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki en gelişmiş ürünlerden biri olmamasına ve bu teknolojilerle ekonomik olarak rekabetçi olamamasına karşın, son yıllarda hükümetlerin ve endüstrinin dalga enerjisi üzerine olan ilgisi hızlı bir şekilde artmış ve artmaya da devam etmektedir. Bu da, hükümetlerin ve endüstrinin bu enerji kaynağına olan ilgilerinin nedenini ortaya koymaktadır.

Deniz dalgalarının enerjisini farklı bir enerji formuna dönüştürme fikri yeni değildir. 1799 yılının başlarında Fransa'da Girard adında baba ve oğlu (Falcão 2010) tarafından ilk patentlenen teknikler sunulmuştur. Leishman ve Scobie (1976), 340 patentin olduğu 1855 yılından 1973 yılına kadarki süreçte ilk İngiliz patentinden dalga ile çalışan cihazların gelişimini dikkatli bir şekilde belgelemiştir. Bu dönemde, dalga enerji dönüştürücülerinin bazı konfigürasyonları model ölçeğinde tasarlanmış ve test edilmiş ve bazıları da denizde işletmeye alınmıştır. Bununla birlikte, Avrupa'da, 1973'te petrol fiyatlarının dramatik bir şekilde artmasıyla birlikte, dalga enerjisinin dönüştürülmesine yönelik yoğun araştırma ve geliştirme çabaları başlamıştır. Böylelikle, çoğunlukla İngiltere, Portekiz, İrlanda, Norveç, İsveç ve Danimarka'da orta ve uzun vadede endüstriyel olarak keşfedilebilir dalga güç dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesini hedefleyen hükümet ve özel sektör destekli birkaç araştırma programı başlatılmıştır. Son 30 yıl boyunca, dalga enerjisi coşku, hayal kırıklığı ve yeniden değerlendirme aşamaları arasında döngüsel bir süreç içerisine girmiştir. Ancak, Ar-Ge'deki ısrarlı çabalar ve geçmiş yıllardaki birikmiş deneyim, DED tekniklerinin performanslarının sürekli geliştirilmesine ve günümüz itibari ile dalga enerjisini her zamankinden daha fazla ticari bir olgu olmaya doğru

yaklaştırmıştır. Farklı sistemler zorlu işletme koşulları altında uygulanabilirliklerini kanıtlamış ve şu anda Avrupa, Avustralya, İsrail ve diğer bölgelerde pek çok ticari santral inşa edilmiş ve inşa edilmeye devam edilmektedir. Diğer sistemler ise, başarılı bir şekilde uygulanmaları için Ar-Ge safhalarının son aşamalarına gelmişlerdir (Clément ve ark. 2002). Mevcut kurulu sistemlere örnek olarak, Danimarka'da Aalborg Üniversitesi'nde geliştirilen ve test edilen ve daha sonra 57 x 27 m ebatlarında ve 237 ton ağırlığında ve her birim, dalga kuvvetine bağlı olarak 4-10 MW civarında bir güç üretebilme kabiliyetinde olan bir WaveDragon DED sistemi Mayıs 2003'te devreye sokulmuştur (Kofoed ve ark. 2006). 2002'de İskoçya'da LIMPET adı verilen bir kıyı şeridi salınımlı su sütunu (OWC) ve 2008'de Pelamis DED sistemi Kuzey Portekiz'de kurulmuştur (Drew ve ark. 2009).

DED sistemlerinin devreye sokulması ile birlikte, son yıllarda araştırmacılar mevcut dalga enerji dönüşüm sistemlerinin bir bölgede kurulması durumunda ne kadarlık bir enerjinin elde edilebileceğine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Örneğin; Babarit ve ark. (2011), tarafından Avrupa sahillerindeki beş farklı lokasyonda farklı çalışma prensibine sahip 4 farklı dalga enerjisi dönüştürücüsünden enerji üretimi üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Çalışılan DED sistemlerinin farklı çalışma prensibine sahip olmalarına karşın, ıslak yüzeyin birim başına emilen güç değerlerinin ve güç çekme kuvvetlerinin her DED sistemi için oldukça benzer olduğunu belirlemişlerdir. Aynı zamanda, çalışma kapsamında ünite başına ve kütle başına emilen güç değerlerinin çok farklı olduğu da tespit edilmiştir. Portekiz'in kıyılarında gerçekleştirilen bir başka araştırma (Silva ve ark. 2013), bir dalga tahmin modelinden üretilen 3 yıllık simülasyon sonuçlarını kullanarak, dalga enerjisi dönüşümü için beş değişik dalga enerji dönüşüm teknolojisinin enerji çıktısının bir değerlendirilmesi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, en uygun teknolojiyi seçebilmek için, DED sistemlerin güç matris karakteristiği ile ilgili kıyı bölgesinin deniz durumunun iki değişkenli dağılımları arasında bir ilişki kurulmuş ve bu ilişki sonucunda belirlenen enerji çıktıları kıyaslanarak en yüksek enerji çıktısını veren sistemin ilgili kıyı bölgesi için en iyi sistem olduğuna karar verilmiştir. Dalga enerji dönüştürücülerinin çıktısının yalnızca ortalama dalga enerjisine bağlı olmadığı aynı zamanda farklı periyotlardaki deniz durumları arasındaki dalga enerjisinin dağılımına da bağlı olduğu gösterilmiştir. Bundan dolayı, dikkate alınan bölgedeki sorumlu deniz durumlarının farklı belirgin dalga yüksekliği ve dalga periyodu aralıklarındaki oluşma

olasılıkları ile dalga enerji dönüştürücü sisteminin güç matrisi arasındaki iyi uyumun dalga enerji dönüşümü için en uygun teknolojiyi seçmede önemli bir husus olduğu belirtilmiştir. Diaconu ve Rusu (2013), Karadeniz'in kuzey batı kıyısında Gloria açıklarında işletilecek dalga enerji dönüşümü için değişik teknolojilerin performansının değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Bu lokasyon için belirgin dalga yüksekliği ve dalga enerji periyodu ile tanımlanan deniz durumlarının oluşma dağılımları belirlenmiş ve 10 farklı DED sistemlerinin güç matrisleri ile bu dağılımlar arasındaki ilişkiye dayanarak üretilebilecek elektrik enerjisi tahmin edilmiş ve kıyaslanmıştır. Hedeflenen lokasyon için WaveDragon DED sistemi daha fazla enerji üretebilmesine karşın daha etkin olduğu belirlenen Oceantec DED sisteminin en uygun olduğu önerilmiştir. Alamian ve ark. (2014), Hazar Denizi'nde kullanılabilme ihtimalleri düşünülerek dalga enerjisini elektriğe dönüştüren teknolojilerin performanslarını değerlendirmeyi hedeflemiştir. En uygun cihaz, batmışlık ve kıyı şartlarının yanında denizin derinliği, dalgaların genliği, boyu, ve frekansını içeren Hazar Denizi'nin şartlarını dikkate alarak seçilmiştir. Ayrıca, cihazların performans ve bakım masrafları da son kararı vermede dikkate alınmıştır. Sonuçta, Point Absorber (Nokta Emici) DED sisteminin Hazar Denizi'nde dalga enerjisini elde etmede en uygun araç olduğu tespit edilmiştir. E. Rusu (2014), Batı İberian yakın kıyı bölgesinde dalga enerji dönüşüm etkinliğini değerlendirmiştir. Dalga verileri sayısal dalga tahminlerinden sağlanmış ve dalga enerjisinden elektriğe dönüşüm etkinliği yük faktörü ve yakalama genişliği (zaptetme genişliği) ile değerlendirilmiştir. Iuppa ve ark. (2015), Sicilya'nın batı kıyısında yer alan üç istasyonda kurulması muhtemel birkaç DED sisteminin performansını değerlendirmiştir. Bütün dikkate alınan DED sistemlerinin orijinal konfigürasyonlarında, bu cihazların yüksek enerjili dalgalar için optimize edilmesi nedeniyle düşük bir kapasite faktörünün elde edildiği belirtilmiştir. Carballo ve ark. (2015), Kuzey Batı İspanya'nın kuzey kıyı bölgesinde 2 lokasyonda farklı DED sistemlerinin yıl içi güç performansının analizini sunmuştur. Bu lokasyonlardaki farklı DED sistemlerinin aylık performansları, analiz edilen DED sistemlerin etkinliği ve elde edilen güç karakterizasyon matrislerinin kombinasyonu açısından değerlendirilmiştir. L. Rusu ve Onea (2015; 2017), 10 farklı DED sisteminin sırasıyla Avrupa ve Dünya kıyıları boyunca etkinliklerini ortaya koymuştur. Sırasıyla, Avrupa'nın ve dünyanın farklı bölgelerinde seçilen lokasyonlarda dalga şartları ve deniz dalga durumları belirlenmiş ve

DED sistemlerinin bu kıyı alanlarındaki tahmini elektrik enerjisi, kapasite faktörü normleştirilmiş boyutsuz güç, yakalama genişliği (zaptetme genişliği) değerleri hesaplanmış ve kıyaslanmıştır. L. Rusu ve Onea 2015'in çalışma sonuçlarına göre, analiz edilen DED sistemleri arasında kapasitesi ve büyüklüğü açısından en büyük olan WaveDragon DED sistemi en iyi performansı göstermiştir. 1000 kW altında kurulu güce sahip DED sistemlerinden WaveBob DED sistemi İskandinavya, Birleşik Krallık, İrlanda, Fransa, İspanya ve Portekiz kıyılarında ve Oceantec DED sistemi ise Akdeniz'de tahmini elektrik gücü açısından daha yüksek değerler sunduğu tespit edilmiştir. L. Rusu ve Onea 2017 ise, büyük kurulu güçteki santraller arasında WaveDragon DED sisteminin uygun olduğunu ve 1000 kW'tan daha küçük kurulu güçteki sistemler arasında WaveBob, Pelamis ve Oceantec DED sistemlerinin birbirine yakın çıktılar sunduğunu ortaya çıkarmıştır. Fransa kıyılarındaki en enerjik bölgelerden biri olan Batı Brittany'de Guillou ve Chapalain 2018 tarafından yapılan çalışmada en iyi bilinen DED sistemlerinden (Pelamis, AquaBuoy ve WaveDragon) üretilen güce odaklanarak zamansal değişkenliklerin enerji üretimi ve cihazların performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Mevcut kaynakla karşılaştırıldığında, üretilen güç azaltılmış yıllık ve mevsimsel değişimlerle karakterize edilmiştir. Bu etkiler özellikle kış ve yaz dönemleri arasında enerji üretiminde kesintili bir azalma gösteren Pelamis için ortaya çıkartılmıştır. Enerjik koşulların yanı sıra, esas olarak 10,5 ila 12,5 s arasındaki enerji periyotları ve 2,75 ile 4,25 m arasındaki berlirgin dalga yükseklikleriyle ilgili cihazların güç çıkışına sınırlı bir katkısı olduğu ortaya konmuştur. DED cihaz performansları, kış aylarında, aylık olarak Wave Dragon için % 65'e varan kapasite faktörünün ortalama değerleriyle yüksek değişkenlik göstermiştir. Bozzi ve ark. 2018b, Akdeniz'in açık deniz kıyısı için dalgadan elektrik üretimi potansiyelini araştırmış ve bu maksatla, bir dizi açık deniz dalgası enerji dönüştürücüsünün performansı, tüm Akdeniz kıyı şeridinde 37 yıllık bir tahmin dalga verisi ve DED performansı verileri dikkate alınarak değerlendirmiştir. Analiz edilen teknolojiler daha enerjik dalga iklimleri için tasarlandığından, Akdeniz dalga koşullarını eşleştirmek için Froude benzerlik kriterine göre küçültülmüş cihazlar düşünülmüştür. Her istasyonda en iyi cihaz büyüklüğü, DED sisteminin farklı ölçeklendirilmiş versiyonlarını benzeştirilerek ve ardından ortalama yıllık kapasite faktörünü maksimize eden ölçeklendirme faktörünü seçerek belirlenmiştir. Sonuçlar, Akdeniz kıyı şeridinin büyük bir kısmının DED cihazlarının uygun şekilde küçültülmüş versiyonları ile başarılı bir

şekilde yararlanılabileceğini göstermiştir. Daha spesifik olarak, çalışılan dalga enerjisi teknolojilerinin altısı kıyı şeridinin %40'ı boyunca 0.2'den daha yüksek bir kapasite faktörüne erişebilir ve üç DED sistemi (AquaBuoy, Pelamis ve WaveBob) çalışılan yerlerin %8'inde 0.3'ü aşan bir kapasite faktörü ile çalışabilir olduğunu açıklamıştır. Morim ve ark. 2019, ticari öncesi 10 farklı DED cihazının güç dönüşüm matrislerini ve mevcut 31 yıllık bir dalga tahmin veri setini kullanarak Avustralya'daki New South Wales, merkezi sahanlığında, potansiyel üretim performansında yıl içi ve yıllar arası değişkenliğini araştırmıştır. Potansiyel üretim performansındaki yıl içi ve yıllar arası zaman ölçeğindeki değişkenliğin karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları, DED cihazın üretim performansındaki yıllara göre değişikliklerin, yerel deniz durumu koşullarına göre farklı DED cihazlarının verimliliği nedeniyle, dalga enerjisi kaynağından önemli ölçüde daha yüksek olabileceğini göstermiştir. Bunların yanında, birkaç çalışma (örneğin Carballo ve ark. 2014, de Andres ve ark. 2016, Lavidas ve Venugopal 2017, Mota ve Pinto 2014, Naty ve ark. 2016, Reikard ve ark. 2015, Sierra ve ark. 2016, Vannucchi ve Cappietti 2016) ise, ana hedefi DED sistemlerinden enerji elde edilmesi olmamasına karşın, bu konu üzerine kısaca odaklanmıştır. Burada izah edilen literatür taramasından da görülebileceği üzere, Karadeniz'de DED sistemlerinden enerji üretimi üzerine yalnızca 1 çalışma mevcuttur. Ayrıca, bu çalışma da Karadeniz'in kuzey batısında yalnızca 1 istasyon için gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, DED sistemlerinden dalga enerji çıktısının belirlenmesi üzerine çalışmalar 2011 yılından itibaren mevcuttur, bu da çalışmanın ne kadar güncel ve özgün olduğunu ortaya koymaktadır. Yukarıdaki literatür çalışmasından da görülebileceği gibi mevcut dalga enerji dönüşüm sistemlerinin performansları büyük çoğunlukla okyanuslarda irdelenmiştir. Ancak, Karadeniz gibi kapalı denizlerde ve ılıman dalga iklimine sahip olan denizlerde bu dalga enerji dönüşüm sistemlerinin performansları değerlendirilmemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma alanı ve dalga verileri

Karadeniz'in güney batı sahillerinin enerji varlığının ortaya çıkartılabilmesi için ihtiyaç duyulan dalga bilgisi, katmanlı bir dalga tahmin modeli kullanılarak, her bir sayısal ağ içerisinde denk gelen ölçüm istasyonu verileri ile kalibre edilmiş ve doğrulanmış model yardımıyla üretilmiştir (Bilal Bingölbali, 2018). Bu katmanlı ağ sisteminde öncelikle dalgalar tüm Karadeniz'i içine alan bir düzenli hesaplamalı sayısal ağ üzerinde üretilmekte, daha sonra, bu düzenli sayısal ağdan alınan sınır şartları ile Karadeniz'in batı bölümünü kaplayan daha ince bir düzenli sayısal ağda hesaplamalar yaptırılmakta ve bu ince sayısal ağdan sağlanan sınır şartları ile de Karaburun (SD3), Filyos (SD2) ve Sinop (SD1) kıyılarına ayrı ayrı odaklanan yüksek çözünürlükte üç yerel alt sayısal ağ alanında (Şekil 1.1) üretilmiş ve uzun dönemli bir dalga veri tabanı oluşturulmuştur. 2 saatlik zamansal çözünürlükte ve 0,005°'lik alansal çözünürlükte 1979 – 2009 yılları arası için 31 yıl boyunca biriktirilmiş bu veri tabanından çekilen belirgin dalga yüksekliği, dalga pik periyodu ve dalga enerji periyodu parametrelerinin değerleri bölgenin dalga ikliminin ve dalga enerji akısının belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan bütün bilgiyi istenilen istasyonlar için sağlamıştır.

Bu veriler kullanılarak Karaburun sayısal ağında kıyı çizgisine dik bir hat boyunca 5 farklı derinlik (5 m, 25 m, 50 m, 75 m ve 100 m) seçilmiştir (Şekil 1.1). Bu farklı noktalar için veri setinden çekilen belirgin dalga yüksekliği, dalga enerji periyodu (pik periyot) ve ortalama dalga periyodu aralıkları için dalgaların oluşma olasılıkları tespit edilmiştir. Bu seçilen derinlikler için belirlenen noktaların koordinat ve derinlik bilgileri Çizelge 1.1'de gösterilmektedir.

3.2. Dalga Enerji Dönüştürücüleri (DED)

Bu çalışmada, 15 dalga enerji dönüştürücü teknolojisi ele alınmıştır. Bunlar; AquaBuoy, AWS, Langlee, OE Buoy, Pelamis, Pontoon, SeaPower, WaveBob, Heave buoy, OceanTec, Oyster, Oyster2, Seabased AB, SSG, WaveDragon ve WaveStar'dır. Bu DED sistemleri farklı derinliklerde farklı çalışma prensipleri ile karakterize edilmiştir. Örnek olarak Şekil 3.1'de AquaBuoy, Pelamis, WaveBob ve Oyster DED sistemleri

gösterilmiştir. EMEC (European Marine Energy Center) sınıflandırmasına göre, analizde dikkate alınan DED'ler üç noktalı emiciler, bir çok noktalı emici, iki zayıflatıcı, bir salınımlı su kolonu ve bir salınımlı dalga dalgalanma dönüştürücüsünden oluşmaktadır.

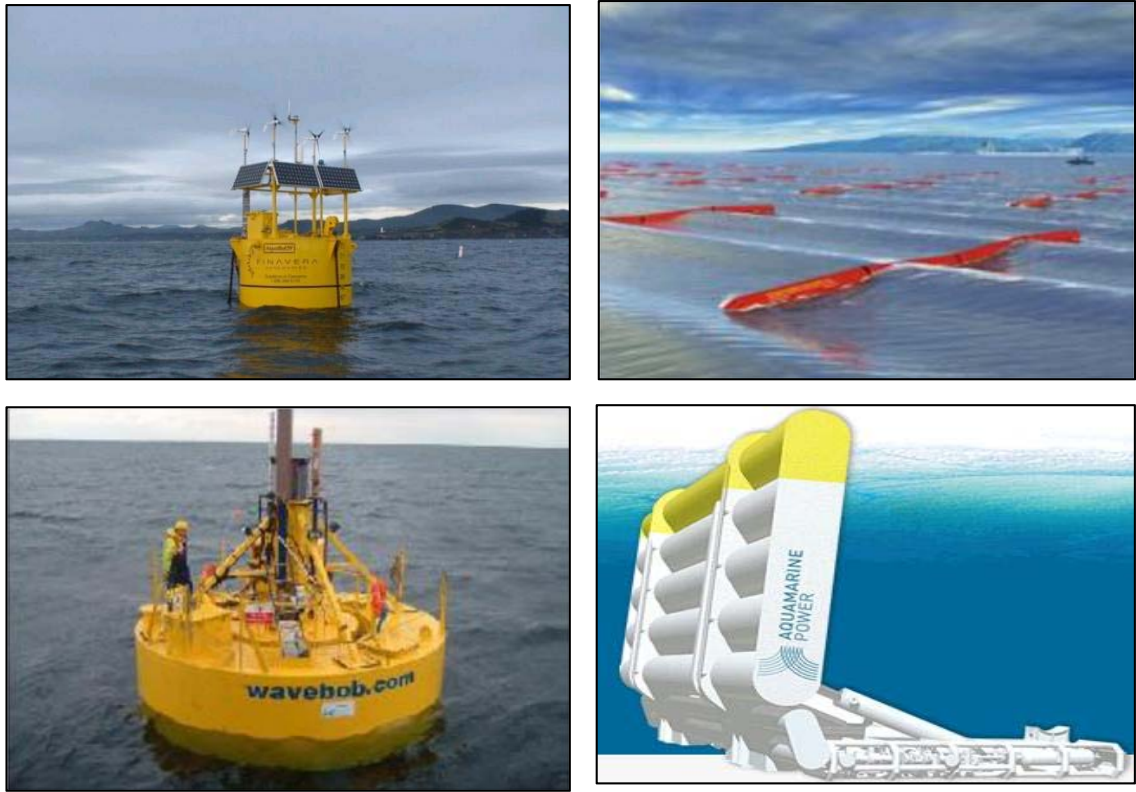
Dalgalardan enerjinin çıkartılmasına imkan veren ve enerjiyi elektriğe dönüştüren sistemler DED olarak adlandırılmaktadır. DED sistemleri için 1000'den daha fazla patent mevcuttur (Falcão, 2010). Denizel yenilenebilir enerji kurulumları kıyı alanlarının ekonomisine önemli katkılar yapabilmektedir. Ancak, bu gibi sistemlerin başarısı fiyat etkinliği ve etkin olan DED sistemlerin gelişimi üzerine güçlü bir şekilde bağlıdır (Azzellino ve ark. 2013). DED sistemleri kuruldukları derinliklere bağlı olarak kıyı önü, yakın kıyı veya kıyı çizgisi cihazları olarak sınıflandırılabilirler. Açık denizde daha yüksek dalga enerji yoğunluğunun bir sonucu olarak kurulum masrafları daha fazla olmasına rağmen açık denizde bu gibi sistemlerin kurulumu daha yararlı olabilmektedir. Kıyı çizgisinde dalga enerjisinden yararlanılması DED sisteminin yapımı, bakımı ve elektrik ağ şebekesine bağlantısı açılarından dolayı daha cazibedici. Ancak, kıyı çizgisindeki mevcut dalga enerjisi kıyı önü dalga enerjisinden daha düşüktür. Ayrıca, DED sistemi kırılan dalgalar nedeniyle üretilmiş çok aşırı yüklemelere maruz kalmaktadırlar (Iuppa ve ark. 2015). Bu tip avantaj ve dezavantajlar kullanılacak her tip DED sistemi için mevcuttur. DED sistemleri üzerine detaylı bir değerlendirme (Drew ve ark. 2009) tarafından sunulmaktadır. Birkaç DED sisteminin görünüşü Şekil 3.1'de sunulmaktadır.

DED sistemleri, okyanus dalgalarının potansiyel ve kinetik enerjisini elektriğe dönüştüren cihazlar olarak çalışma prensiplerine göre aşağıdaki üç ana kategoriye ayrılmaktadırlar:

1. Salınımlı Su Sütunları (*Oscillating Water Columns*): Bu tür bir cihaz, deniz yüzüne bir boşluk bırakarak bir kütle suyunu kapatan keson dalgakıran gibidir. Dalgalarla su seviyesinin düşmesi ve yükselmesi durumunda havayı sıkıştırıp basınçsızlaştırır, ardından Wells Türbin yardımıyla salınımlı hava akış gücünü elektrik gücüne dönüştürmektedirler (Vicinanza ve ark. 2012).
2. Dalga Aşması Cihazları (*Overtopping Devices*): Bu makineler, dalgaların eğimli bir yüzey üzerinden ortalama deniz seviyesinden daha yüksekte olan bir hazneye

aşmasına neden olmaktadır, daha sonra düşük yük türbinleri aracılığıyla depolanan suyun potansiyel enerjisini elektriğe dönüştürmektedir (Vicinanza ve ark. 2012).

3. Dalga Aktif Gövdeleri (*Wave Activated Bodies*): Bu tür teknolojilerde dalgalar, gövde parçalarının birbirlerine veya tüm gövdeye sabit bir referansa karşı nispeten salınmasına neden olmaktadır. Genel olarak, bir elektrik jeneratörünü çalıştırmak için yağ, hava veya su sıkıştıran hidrolik sistemler kullanılmaktadır (Vicinanza ve ark. 2012).



Şekil 3.1. Örnek DED sistemler: AquaBuoy (üst sol), Pelamis (üst sağ), WaveBob (alt sol) ve Oyster (alt sağ)

Bu çalışmada farklı su derinliklerinde çalışabilen 15 farklı DED sistemi kısaca aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

Pontoon DED sistemi, bir hidrolik PTO (power take off, güç çıkışı) sistemi yardımıyla paylaşılan bir batık yapıya bağlı birçok kaldırma şamandırasından oluşan çok noktalı bir emici sistemidir. Bu analizde kullanılan güç matrisi (A. Babarit ve ark. 2012), nominal gücü 3619 kW olan 10 kaldırma şamandırasını ele almaktadır. Cihaz hem kısa hem de

uzun dalgalarda iyi bir performans gösteremez, bu nedenle güç matrisi 0,4'ten daha yüksek normalleştirilmiş güç çıkışına sahip kutularının sadece % 12'sine sahiptir.

WaveDragon yüzer gevşek demirli dalga enerjisi dönüştürücü sistemidir. Mevcut çalışmada tam ölçekli makinenin nominal gücü 7000 kW'tır. WaveDragon, okyanus dalgalarının bir rampayı aşmasını ve su kütlesini deniz seviyesinin üzerindeki bir rezervuara yükseltmesini sağlayan bir su musluğu sonlandırıcısıdır. Rezervuardan çoklu türbinlere salınan suyun yükü elektrik üretmektedir. Gelen dalgalardan gelen su kütlesini yoğunlaştıran iki adet dalga yansıtan kanatları vardır (<http://www.wavedragon.co.uk/technology-2/> 2020).

WaveStar, okyanus dalgalarının yukarı ve aşağı hareketleriyle yüzer yükseliş ve düşüşlerle elektrik enerjisi çeken salınlı bir gövdedir. Hareketli şamandıralar, deniz yatağına bacaklar ile desteklenen bir platforma bağlanır. Hareketler hidrolik ile aktarılır ve elektrik jeneratörünün dönme hareketine dönüştürülür. Bu çalışmada dikkate alınan WaveStar'ın nominal gücü 2709 kW'tır (<http://wavestarenergy.com/concept> 2020).

Oceantec bir zayıflatıcı nokta emicidir ve 500 kW nominal güce sahip salınlı su sütunu dalga enerjisi dönüştürücü sistemi prensibine dayanmaktadır (<http://www.oceantecenergy.com/> 2020).

Langlee (nominal gücü 1665 kW) DED sistemi, su yüzeyinin hemen altında yer alan bir dizi menteşeli kanat vasıtasıyla su partiküllerinin yörünge hareketlerindeki mevcut kinetik enerjiyi çeken bir açık deniz salınlı dalgalanma dönüştürücüsüdür. Cihaz, simetrik olarak birbirine zıt olarak yerleştirilmiş ve demirli yüzer referans çerçevesi ile desteklenen bir çift hareketli klapeye sahiptir (Pecher et al. 2010).

Seabased AB, dalgalardan gelen enerjiyi basit bir mekanik yolla emen 15 kW nominal güce sahip küçük boyutlu bir DED sistemidir. Su yüzeyindeki şamandıralar, deniz tabanına sabitlenmiş lineer bir jeneratör ile bağlantılıdır. Şamandıraların dalgaların yukarı ve aşağı hareketleri ile elektrik enerjisi üretir (<https://seabased.com/seabased-wave-parks> 2020).

SSG (Seawave Slot-cone Generator), gelen dalgaların suyunu potansiyel enerji olarak depolayan, birbiri üzerine yerleştirilmiş bir dizi rezervuara sahip bir üst üste binme cihazıdır. Rezervuarlarda toplanan su çok kademeli bir türbin üzerinden yönlendirilir ve elektrik enerjisi üretir. Çoklu rezervuarlar genel enerji üretim verimliliğini artırır.(Vicinanza et al. 2012) Bu çalışmada SSG'nin nominal gücü 20000 kW.

Oyster, menteşeli kaldırma kanadının dalgaların hareketi ile ileri geri hareket ettiği, alttan sabit salınımlı bir flap cihazıdır ve iki hidrolik piston, yüksek basınçlı suyu bir elektrik üretim jeneratörünü çalıştıran kıyıda hidroelektrik istasyonuna pompalar (Cameron ve ark. 2010). Bu çalışmada bu cihazın nominal gücü 291 kW'tır.

Oyster2 (BO-OF), deniz tabanına demirlenmiş sabit bir eksen etrafında salınan eğme kanatlarından oluşan, alttan sabit bir salınımlı kanat cihazıdır. Bu DED sistemi, basınçlı hidrolik yağı veya suyu kıyıda olan bir istasyona zorlayan dönen bir şaftta sabitlenmiş bir pompa kullanır. Kıyı şeridinde, hidrolik güç, elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Reikard ve ark. 2015). Maksimum güç hücresi 3332 kW'tır.

Alttan sabitlenmiş şamandıra dizisi (HeaveBuoy) DED sistemi, sabit bir köprü yapısının üç çerçevesinin iki tarafı boyunca dağıtılan 60 yarım küre şeklindeki yulaftan oluşur. Yulaf, destek menteşesi ile destek kollarına monte edilen bir kola düzenli olarak bağlanır. Hidrolik PTO, dönme kinetik enerjisini elektrik gücüne dönüştürür. Bu cihazın nominal gücü 2192 kW (Reikard ve ark. 2015).

AquaBuoy, her iki ucunda açılan ve her iki ucuna da bir hortum pompası takılı bir tüpün içine yerleştirilmiş bir pistonun üzerine monte edilmiş yüzer bir şamandıradan oluşan bir nokta emicidir. Şamandıra salınırken, hortum pompaları bir jeneratöre bağlı bir Pelton türbini çalıştıran basınçlı su akışı üretir. Nominal gücü 250 kW'tır ve güç matrisi, nominal kapasitede geniş bir güç bandına sahiptir ve operasyonel aralığın yaklaşık %15'i, maksimum gücün 0,8'inden daha yüksek bir güç üretimini göstermektedir (Bozzi ve ark. 2018b).

Archimedes Wave Swing (AWS) bir çıkış noktası emicidir. Deniz tabanına sabitlenmiş, bodrum katına göre dikey olarak hareket edebilen bir kapaklı, tamamen suya daldırılmış, hava ile doldurulmuş bir boşluktan oluşur. Dalga cihazın üzerinden geçerken su

basıncındaki değişiklikler, hareketi elektrik enerjisine dönüştüren doğrusal bir jeneratöre bağlı olan kapağın hareketini tetikler. Maksimum güç 2470 kW'dır. Bununla birlikte, diğer cihazların aksine, bu DED'nin etkili bir nominal güç seviyesi yoktur, ancak güç çıkışı hem dalga yüksekliği hem de periyot boyunca yükselmeye devam eder (Bozzi ve ark. 2018b).

OEBuoy yüzen bir salınlımlı su kolonu cihazıdır. Deniz yüzeyinin altında açık su altında bir su cebinin üzerinde sıkışmış bir hava cebi tutan yarı batık bir odaya sahiptir. Kolon, iki yönlü bir türbin içerisinden havayı zorlayan gelen dalgaları tarafından salınmaya zorlanarak hava akışını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Nominal güç 2880 kW'dır. Güç çıkışı, maksimum $H_s = 7\text{m}$ değerinde dalga yüksekliği ile birlikte sürekli olarak artar. Dalga periyodu ile ilgili olarak, güç üretimi $T_p = 11\text{ s}$ 'de zirve yapar ve tepe noktasından uzağa düşer, daha yüksek dalga periyotlarından daha düşük bir hız için daha dik bir şekilde düşer. Operasyonel aralığın sadece %3'ü, maksimum gücün 0.8'den daha yüksek bir enerji üretimini göstermektedir (Bozzi ve ark. 2018b).

Pelamis, menteşeli mafsallarla birbirine bağlanmış bir dizi yarı daldırılmış silindirik bölümden oluşan bir zayıflatıcı cihazıdır. Eklemlerin dalga kaynaklı hareketine (ısınma veya sallanma), elektrik jeneratörlerini çalıştıran motorlardan yüksek basınçlı yağ pompalayan hidrolik koçlar tarafından dirençlidir. Pelamis 750 kW gücündedir. Diğer cihazlara kıyasla, nominal güçte %16, operasyonel aralığın yaklaşık %30'unda 0,8'den yüksek normalize güçte en yüksek güç bandına sahiptir (Bozzi ve ark. 2018b).

WaveBob, yüksek ataletli bir gövde gibi davranan bir su altı tankına bağlı dikey bir şamandıra boyunca kayan bir kas veya kabartıdan oluşan, eksenel simetrik kendiliğinden reaksiyona giren bir nokta emicidir. Güç, bir hidrolik PTO (Power Take Off) sistemi tarafından iki gövde arasındaki nispi hareketler tarafından üretilir ve nominal değeri 1000 kW'tır. Güç üretimi hem dalga süresine hem de yüksekliğe bağlıdır, ancak döneme göre monotonik değildir. Güç çıkışı, dönemin orta değerlerinde zirve yapar ve daha düşük ve daha yüksek değerlerde düşer. Güç matrisi, nominal gücün yaklaşık %13'ünü, nominal gücün %80'inden fazlasını üreten geniş bir güç bandına sahiptir (Bozzi ve ark. 2018b).

3.3. Dalga Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi

Dalgadan elektrik enerjisi dönüşümü için ihtiyaç duyulan iki veriden birincisi, DED sistemlerinin kurulması planlanan bölgenin mevcut deniz dalga durumunu temsil eden belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) ve dalga enerji periyodunun (T_e), ortalama dalga periyodu veya pik dalga periyodu ortak dağılımlarının saçılım diyagramlarının belirlenmesidir. Bu diyagramların Karadeniz'in güney batı sahilleri boyunca dikkate alınan her bir lokasyonda irdelenebilmesi için her iki dalga parametresinin uzun dönemli (31 yıllık) tahminleri bir önceki TÜBİTAK Projesi (Akpınar ve ark. 2015) kapsamında üretilmiş olan ve yoğun bir rüzgar ve dalga verisi içeren veri tabanından her bir lokasyon için ayrı ayrı çekilmiştir. Bu veri seti, CFSR rüzgarlarını kullanan ve iç içe geçmiş tanımlı alanı sistemi ile Karadeniz'in güney batısındaki 3 alt bölgeye (Karaburun, Filyos, Sinop) odaklanan, kaba, orta ve her bir alt tanımlı alanı da ayrı ayrı kalibre edilen ve akabinde de kalibrasyonda kullanılmayan dalga ölçümleri ile doğrulanan üçüncü nesil sayısal dalga tahmin modeli (SWAN) kullanılarak üretilmiştir. Kaba tanımlı alanın kalibrasyonu ve doğrulanmasına ilişkin detaylı bilgiler (Akpınar ve ark. 2016a)'da bulunabilir. Ayrıca, iç içe geçmiş tanımlı alan sisteminin detaylı kalibrasyonu ve doğrulanması Akpınar ve ark. 2016b ve Bingölbalı ve ark. 2019'de sunulmuştur. Dolayısıyla, belirtilen bu veri setinden her bir lokasyon için ihtiyaç duyulan bütün dalga parametreleri 31 yıl boyunca 2 saatlik bir zamansal çözünürlükte çekilmiştir. Daha sonra, her lokasyonun sahip olduğu teorik dalga enerji potansiyeli aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Dalga sisteminin toplam enerjisi onun 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 kütlenin oluşturduğu enerjidir. Bir okyanus dalgasının toplam enerjisi (E),

$$E = E_k + E_p \quad (0.1)$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Burada; E_k kinetik enerji (Joule) ve E_p potansiyel enerji (Joule)'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.

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (3.2)$$

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (3.3)$$

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (3.4)$$

Her birim yüzey alanındaki toplam ortalama dalga enerjisi, özgül enerji ya da enerji yoğunluğu ($\bar{E}$) olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\bar{E} = \frac{E}{L} \quad (3.5)$$

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (3.6)$$

Dalga enerjisi yayılmasının oranı doğrudan dalganın grup hızına bağlıdır. Grup hızı (C_g) aşağıdaki formülle ifade edilebilmektedir.

$$C_g = n C \quad (3.7)$$

Bu denklemdeki n katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilen bir sabittir.

$$n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{(4 \pi d / L)}{\sinh(4 \pi d / L)} \right] \quad (3.8)$$

Derin denizlerde grup hızı (C_{g0}), Denklem 3.8'den $n = 0,5$ olacağından,

$$C_{g_o} = \frac{0.5 L_o}{T} \quad (3.9)$$

olarak sadeleşmektedir.

Dalga enerjisi akısı (dalga gücü), 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 (CEM, 2002),

$$\bar{P} = \bar{E} C_g \quad (3.10)$$

$$\bar{P} = \frac{\rho g}{8} H^2 C_g \quad (3.11)$$

Bu durumda, derin deniz şartlarında dalga gücü,

$$\bar{P} = \bar{E} C_{g_o} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8} \frac{g T_e}{4\pi} = \frac{\rho g^2 H_{rms}^2 T_e}{32\pi} \quad (3.12)$$

formülüyle tanımlanabilmektedir. Karadeniz için deniz suyu yoğunluğu tipik bir değer olarak 1015 kg/m³ alındığında ve H_{rms} yerine aşağıdaki verilen denklemdeki (Goda 2010, WMO 1998) değeri konduğunda derin deniz şartı için dalga gücü aşağıdaki şekilde Karadeniz'e uyarlanabilmektedir.

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}} \quad (3.13)$$

$$\bar{P} \text{ (kilowatt/metre)} = 0.486 H_s^2 T_e \quad (3.14)$$

Daha sonra, farklı DED sistemleri farklı dalga parametreleri arasındaki ilişkiye dayanarak güç matrislerini sunduklarından dolayı, her bir lokasyon için H_s – T_e, H_s – T_p, H_s – T_{m02} vb ikili ilişkileri için farklı yükseklik ve periyot aralıklarında deniz durumunun yıllık ortalama oluşma sayıları ve olasılıkları belirlenmiştir. İlgi alanında bütün

istasyonlardaki ekonomik dalga enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için, $H_s - T_e$ ortak dağılımlarının saçılım diyagramları (alternatif olarak aynı zamanda $H_s - T_{m02}$ ve $H_s - T_p$ ortak dağılımlarının saçılım diyagramları) için ihtiyaç duyulan veriler (Akpınar ve ark. 2015) tarafından geliştirilmiş iç içe geçmiş karelaj sistemli SWAN modelle simülasyonları yürütülerek üretilmiş 2 saatlik zaman çözünürlüğünde biriktirilmiş dalga veri setinden 1979 – 2009 yılları arası için her bir istasyon için çekilmiştir. Bu iki değişkenli dağılımlar bütün istasyonlar için elde edilmiştir. Bu gibi bir diyagram, farklı deniz durumlarının toplam içerisindeki oluşma olasılıklarını sunmaktadır. Deniz durumları, örneğin $0,5 \text{ s} \times 0,5 \text{ m}$ ($\Delta T_e \times \Delta H_s$) aralıklarında (bazı DED sistemlerinde bu aralıklar değişmekte) ve ihtiyaç duyulduğu için farklı yükseklik ve periyot aralıklarında yapılandırılmıştır. Dolayısıyla, dalgadan elektrik enerji dönüşümüne ilişkin ihtiyaç duyulan ilk parametre belirlenmiştir.

Dalga model simülasyonları, gücü sağlayan dalgaların karakteristiğini sunan deniz durumları açısından mevcut teorik dalga enerji potansiyelini vermektedir. Ancak, gerçek elde edilebilir dalga enerji miktarı DED sistemlerinin karakteristiğine bağlıdır. Her bir DED teknolojisi farklı işletme aralıklarına ve aynı zamanda değişik deniz durumları altında farklı etkinliklere sahiptir. Herhangi bir bölgede en uygun DED sistemi toplam oluşma sağlayan $H_s - T_e$ aralıklarında maksimum etkinliğe sahip olan sistemdir. DED imalatçıları, H_s ve bir dalga periyodunun bir fonksiyonu olarak sahip oldukları DED sistemlerinin performans verisini sağlamaktadır. Dikkate alınan dalga periyodu her imalatçıya bağlı olarak değişmekte, bazı DED imalatçıları enerji periyodunu bazıları ise pik periyot veya sıfırı kesme periyodu olarak herhangi bir diğer periyodu kullanmaktadır. Performans tablosu belirgin dalga yüksekliği ve dalga periyodu ile indekslenen tahmini güç çıktısını sağlamaktadır. Dalgadan elektrik enerji dönüşümüne ilişkin ihtiyaç duyulan ikinci parametre, DED sistemlerinin sahip oldukları bu dalga güç matrisleridir. Bu matris, farklı yükseklik ve periyot aralıklarındaki sistemin gücünü sunmakta ve her bir DED sistemi için farklı olmaktadır. Bundan dolayı, ihtiyaç duyulan bu güç matrisleri dikkate alınacak her bir DED sistemi için toplanmıştır. Mevcutta, 15 farklı DED sisteminin (AquaBuoy (Weinstein ve ark. 2004), Wave Dragon (Kofoed ve ark. 2006), Pelamis (Henderson, 2006), Oyster (Whittaker ve ark. 2007), Seawave Slot-Cone Generator-SSG (Vicinanza ve ark. 2012), Archimedes Wave Swing (Diaconu ve Rusu, 2013), Langlee (A. Babarit ve ark. 2012), Oceantec (Diaconu ve Rusu, 2013), OE Buoy (A. Babarit ve

ark. 2012), Pontoon (A. Babarit ve ark. 2012), Seabased AB (A. Babarit ve ark. 2012), WaveBob (A. Babarit ve ark. 2012), Oyster 2 (Lavidas ve Venugopal, 2017), WaveStar (Lavidas ve Venugopal, 2017) güç matrisleri temin edilmiştir.

DED sistemlerinin işletilebilirlikleri açısından, AquaBuoy ve Pelamis DED sistemleri açıkdeniz cihazları olarak düşünülebilir. WaveDragon DED sistemi orta derinlikli sularda (genellikle 25 m ve 40 m arasında) işletilmekte ve 15 m su derinliğinde işletilen Oyster DED sistemi ile birlikte yakın kıyı dönüştürücüsü olarak dikkate alınabilir. SSG DED sistemi ise, kıyı çizgisi dalga enerji dönüşüm sistemidir. Dolayısıyla, açıkdeniz lokasyonlarında SSG, WaveDragon ve Oyster DED sistemleri, yakın kıyı lokasyonlarında tam ölçekli AquaBuoy ve Pelamis DED sistemleri için dalga enerji hesabının yapılması anlamsızdır. Dolayısı ile her DED sisteminin işletilebileceği derinlikler için hesap yapılacaktır. Dahası, dikkate alınan cihazlar güç kapasiteleri ve boyutları açısından geniş bir aralık kapsamaktadır. SSG ve WaveDragon büyük boyutlara sahiptir. Oyster ve Pelamis orta boyutta ve AquaBuoy daha küçük büyüklüğe sahiptir. DED sistemlerinin karakteristiklerine ilişkin bazı bilgiler Çizelge 3.1’de sunulmaktadır. Pelamis, Oyster ve SSG DED sistemleri için işletilebildikleri derinliklerde 0,5 s x 0,5 m aralıklarda $H_s - T_e$ açısından deniz durumları belirlenecektir. AquaBuoy ve WaveDragon için ise, yine işletilebildikleri derinliklerde sırasıyla 1 s x 0,5 m ve 1 s x 1 m aralıklarında $H_s - T_p$ açısından deniz durumları ortaya çıkartılmıştır. Diğer DED sistemleri için de üreticileri tarafından sunulan dalga güç matrislerindeki yükseklik ve periyot aralıkları dikkate alınarak deniz durumları ortaya çıkartılmıştır.

Çizelge 3.1. DED sistemlerinin bazı karakteristikleri (Carballo ve ark. 2014, Diaconu ve Rusu 2013, Lavidas ve Venugopal 2017, Reikard ve ark. 2015, L. Rusu ve Onea 2015, Silva ve ark. 2013)

DED sistemi	Prensip	Büyüklik	Kurulu kapasite (kW)	Tavsiye edilen derinlik (m)	Güç matris çözünürlüğü [m x s]	
WaveDragon	Overtopping (Terminator)	Büyük	7000	25 - 40	0,5 x 0,5	$[H_s \times T_e]$
Pontoon (Floating heave buoy array)	(Point absorber)	Büyük	3619	>100	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_p]$
OE Buoy	(Point absorber)	Orta	2880	>100	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_p]$
WaveStar	Oscillating body (floating) (attenuator)	Büyük	2709	30 - 50	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_e]$
Wave Bob (F-2HB)	Oscillating body (floating) (Point absorber)	Orta	1000	>50	0,5 x 0,5	$[H_s \times T_p]$
Pelamis	Oscillating body (floating) (attenuator)	Orta	750	>50	0,5 x 0,5	$[H_s \times T_e]$
Oceantec	(attenuator)	Orta	500	50 – 100	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_p]$
AquaBuoy	(Point absorber)	Küçük	250	>50	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_p]$
Oyster	Terminator	-	291	15	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_e]$
SSG	Overtopping (terminator)	-	20000	Kıyı önü	0,5 x 0,5	$[H_s \times T_e]$
Archimedes Wave Swing (AWS)		Orta	2470	100	0,5 x 0,5	$[H_s \times T_e]$
Langlee	Floating three-body oscillating flap	-	1665	Açık deniz	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_p]$
Seabased AB		-	15	30 - 50	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_p]$
Oyster 2 (B-OF)	Oscillating body (bottom-fixed) (Point absorber)	-	3332	<50	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_e]$
Bottom-fixed Heave Buoy Array	Bottom-fixed	-	2192	Sığ su	0,5 x 1,0	$[H_s \times T_{ort}]$

Sayısal dalga tahmin modelleri, dalga enerji spektrumundan çıkartılan spektral dalga yüksekliği (H_{m0}) ve aşağıda formülleri verilen dalga periyotlarını dalga parametreleri olarak vermektedir. DED imalatçıları ise DED sistemlerinin güç matrislerini belirgin dalga yüksekliği (H_s) ve enerji periyodu (T_e), pik periyot (T_p) ve ortalama dalga periyodu (T_{m02}) bağlı olarak sunmaktadır. Bu parametreler arasında aşağıdaki ilişkiler tanımlanabilir (CEM 2002, Cornett 2008, Diaconu ve Rusu 2013).

$$\text{Belirgin dalga yüksekliği } (H_{m0}) = 4 \sqrt{m_0} \quad (3.15)$$

$$\text{Spektrumun ortalama frekansına karşı gelen dalga periyodu } (T_{m01}) = \frac{m_0}{m_1} \quad (3.16)$$

$$\text{Aşağı doğru sıfırı kesme periyodu } (T_{m02}) = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (3.17)$$

$$\text{Dalga enerji periyodu } (T_{m-10} \text{ veya } T_e) = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (3.18)$$

$$\text{Pik periyot } (T_p) = (f_p)^{-1} \quad (3.19)$$

Yukarıdaki ifadelerde farklı momentler dikkate alınmaktadır. Bu momentler, aşağıda verilen n. spektral moment denkleminde yararlanılarak hesaplanabilmektedir.

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (3.20)$$

Burada; n değeri 0, 1, 2 ve 4 değerleri almakta ve sıfıncı, birinci, ikinci ve dördüncü momentler hesaplanabilmektedir. S(f) ifadesi spektral enerji yoğunluğunu ve f frekansı temsil etmektedir (Goda 2000, WMO 1998).

Ölçülmüş olan deniz durumları, sıklıkla belirgin dalga yüksekliği veya pik periyot yada ortalama periyot (T_z) ifadeleri kullanılarak özelleştirilmektedir. Enerji periyodu nadiren tercih edilmekte ve spektral şeklin bilinmediği durumlarda diğer değişkenlerden tahmin edilmek zorunda kalınmaktadır. Örneğin, İngiltere'nin deniz kökenli yenilenebilir enerji kaynakları atlasının hazırlanmasında enerji periyodu (T_e) ile ortalama periyot (T_z) arasında,

$$T_e = 1,14 \times T_z \quad (3.21)$$

gibi bir ilişkinin olduğu varsayılmıştır (ABP Marine Environmental Research 2004). Pik periyodun (T_p) bilinmesi durumunda diğer bir yaklaşım ise,

$$T_e = \alpha \times T_p \quad (3.22)$$

olarak kabul edilmektedir. Burada; α katsayısı dalga spektrumunun şekline bağlıdır. Pearson-Moskowitz spektrumu için bu katsayı 0,86'dır. Güney İngiltere'nin dalga enerji kaynağının değerlendirilmesi çalışmasında ise (Hagerman 2001) enerji periyodu ile pik periyodun birbirine eşit olduğunu varsaymıştır. Cornett 2008 ise, pik artırma faktörünün 3,3 olduğu bir standart JONSWAP (Joint North Sea Wave Observation Project) spektrumu için daha doğru bir yaklaşım olduğunu savunduğu aşağıdaki eşitliği baz almıştır.

$$T_e = 0,9 \times T_p \quad (3.23)$$

Derin deniz teorik dalga gücü (P_w) ve dalga enerjisi (E_w) aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmaktadır.

$$P_w = \frac{\rho g^2 T_e H_s^2}{64\pi} \quad (3.24)$$

$$E_w = \frac{\rho g^2 T_e H_s^2}{64\pi} \times \Delta t \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denklemlerde, P_w derin suda dalga gücü, ρ su yoğunluğu (1015 kg / m^3), g yerçekimi sabiti (9.81 m/s^2), T_e dalga enerji periyodu ve H_s belirgin dalga yüksekliğidir. Dalga enerjisi çiftliklerinin ömürlerini sürdürebilmeleri ve bakımlarının yapılabilmesi adına en uygun alanın belirlenmesi için aylık ve mevsimsel değişkenlik indeksleri çok önemlidir. Aylık değişkenlik endeksi (MVI) aşağıdaki denkleme göre hesaplanmaktadır (Alonso ve ark. 2015):

$$MVI = \frac{\overline{P_{M1}} - \overline{P_{M12}}}{\overline{P_w}} \quad (3.26)$$

Mevsimsel değişkenlik endeksi (SVI) aşağıdaki denkleme göre hesaplanmaktadır (Alonso ve ark. 2015):

$$SVI = \frac{\overline{P}_{S1} - \overline{P}_{S4}}{\overline{P}_w} \quad (3.27)$$

Bura; $\overline{P}_{M1}$ ve $\overline{P}_{S1}$ sırasıyla yılın en enerjik ay ve mevsiminin ortalama dalga gücüdür (bu çalışmada sırasıyla her ay ve mevsim için 31 yılın ortalaması kullanılmaktadır). $\overline{P}_{M12}$ ve $\overline{P}_{S4}$ sırasıyla yılın en az enerjik ayın ve mevsiminin ortalama dalga gücüdür (bu çalışmada sırasıyla her ay ve mevsim için 31 yılın ortalaması kullanılmaktadır). $\overline{P}_w$ ise yıllık ortalama dalga gücüdür (31 yılın ortalaması).

MVI ve SVI parametreleri sadece deniz durumlarının kararlılığı hakkında gerekli bilgileri sunabilmektedir, halbuki bir değerlendirme yaparken aynı zamanda konumun potansiyelini de dikkate almak gerekmektedir. Bu nedenle, (Kamranzad ve ark. 2017) ortalama dalga gücü, 2 kW/m'den yüksek dalga güçlerinin frekansı ve aylık değişkenlik indeksinin (MVI) bir kombinasyonunu kullanarak Optimum Hotspot Göstergesi (OHI) diye bir yeni parametre önermişlerdir. OHI parametresi, ortalama dalga gücü ($\overline{P}_w$) ve 2 kW/m'den daha büyük dalga güçlerinin olasılığı (f_{Toplam_zaman}) ile doğrudan bir ilişkiye ve MVI ile dolaylı bir ilişkiye sahiptir, bu nedenle daha yüksek OHI değeri DED kurulumu için daha iyi bir yer seçimi anlamına gelmektedir. OHI parametresi aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$OHI = \frac{\overline{P}_w \times f_{Toplam_zaman(>=2kW/m)}}{MVI} \quad (3.28)$$

Belli bir bölgedeki bir DED sisteminin elektrik üretimini tahmin etmek için en yaygın kullanılan yöntem belirlenmiş bir zaman aralığında ilgili lokasyon için dalga aktivitesini veren matrisler ve her bir DED sisteminin güç matrisleri arasında ilişki kurmaktır. Bu yaklaşım dalga şartlarını temsil eden matris ile ilişkilendirilen zaman aralığında tahmin edilebilen ortalama elektrik gücü (P_E) Denklem 3.29 ile ve elektrik enerjisi (E_0) Denklem 3.30 ile hesaplanmaktadır:

$$P_E = \sum_{i=1}^{nH} \rho_{ij} \times P_{ij} \quad (3.29)$$

$$E_0 = \sum_{i=1}^{n_T} \sum_{j=1}^{n_H} f_{ij} \times P_{ij} \quad (3.30)$$

Burada; n_T , periyot sınıflarının sayısı, n_H , belirgin dalga yükseklik sınıflarının sayısı, f_{ij} , i. ve j. sınırlar arasındaki dalgaların oluşma frekanslarını ve P_{ij} , dikkate alınan DED sistemi için sunulan güç matrisinin i. ve j. sınıflarını temsil eden elektrik gücünü ifade etmektedir (Diaconu ve Rusu 2013, Iuppa ve ark. 2015, L. Rusu ve Onea 2015, Silva ve ark. 2013).

Dikkate alınan her bir dalga enerji dönüştürücü sistemi için tahmin edilen elektrik gücünün coğrafik değişimlerinin daha kapsamlı analizini sağlamak için boyutsuz normalleştirilmiş dalga gücü (P_{En}) dikkate alınan her lokasyonda her bir DED cihazı için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Normalleştirilmiş dalga gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$P_{En} = \frac{P_E}{P_{E_{max}}} \quad (3.31)$$

Burada; P_E , dikkate alınan cihaz için temsili lokasyonlarda tahmini elektrik güçtür ve $P_{E_{max}}$, aynı cihaz için tahmin edilmiş bütün coğrafik lokasyonlardan maksimum değeri temsil etmektedir (L. Rusu ve Onea 2015, Silva ve ark. 2013).

Diaconu ve Rusu (2013) tarafından maksimum üretim kapasitesine ilişkin bir verimlilik indeksi tanımlanmaktadır. Bu indeks elde edilen gücün maksimum güce oranı olarak belirlenebilmektedir. Bu katsayı da, her bir lokasyon ve her bir cihaz için ayrı ayrı hesaplanmış ve aralarında bir kıyaslama gerçekleştirilmiştir.

Her bir DED sistemi için, cihazın üretebildiği maksimum elektrik gücünü temsil eden nominal güç (P_n), cihaz tarafından üretilmiş ortalama yıllık elektrik gücünü temsil eden ortalama güç, cihaz tarafından üretilmiş toplam elektrik gücü ve nominal güç arasındaki oranı temsil eden kapasite faktörü (C_f), cihaz tarafından üretilmiş yıllık ortalama enerji ve cihazın işletim saatinin sayısı ve bir yıldaki saatler arasındaki oran olarak ifade edilen bir yıldaki işletim saatleri belirlenecektir.

Kapasite faktörü aşağıdaki gibi belirlenebilmektedir (Iuppa ve ark. 2015, L. Rusu ve Onea 2015):

$$c_f = \frac{P_E}{P_n} \times 100 [\%] \quad (3.32)$$

Başka bir önemli parametre enerji zaptetme ile ilişkilidir ve sıklıkla zaptetme genişliği (c_w) olarak ifade edilmektedir. Bu parametre, elektrik gücünün dalga gücüne oranı olarak belirlenmekte ve bütün enerjinin çıkartıldığı dalga önü genişliği olarak tanımlanmaktadır. Boyutu metre cinsindedir ve aşağıdaki denklemle hesaplanabilmektedir (L. Rusu ve Onea 2015):

$$c_w = \frac{P_E}{P_w} \quad (3.33)$$

Dikkate alınan farklı DED sistemleriyle üretilmiş toplam yıllık enerji kurulu güce (P_r) bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden, farklı lokasyonlarda tek bir DED sistemi ile üretilmiş toplam yıllık enerjinin kıyaslanmasından sonra, enerji üretimi kurulu gücün bir birimi başına düşen enerji çıktısı (E_o) açısından da kıyaslanmıştır. Bu parametre aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir (Carballo ve ark. 2014):

$$R_{EP} = \frac{E_o}{P_r} \quad (3.34)$$

Bu parametrenin birimi Wh/W'tır.

DED sistemleri, güç matrislerinden de görülebileceği gibi, dalga enerji potansiyelleri yüksek bölgeler (okyanus kıyıları) için çoğunlukla tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan bölgenin (Karadeniz'in güney batı sahilleri) dalga şartları yüksek şiddetli değil orta şiddetli olarak dikkate alınabilmektedir. Bundan dolayı, mevcut DED sistemlerinin bu bölgede kurulmasında bu sistemlerin belli dalga yükseklik ve periyot aralıklarında çalışabilmelerinden dolayı arzu edilen büyüklükte bir dalga enerjisinin çıkartılamaması söz konusu olabilir. Bu, mevcut DED sistemlerinin potansiyellerinin yalnızca bir kısmının kullanılabileceği anlamına gelebilmektedir. Kapasite katsayısındaki

artış, seçilmiş lokasyonlarda mevcut dalga enerji miktarının bir fonksiyonu olarak cihazın büyüklüğünün yükseltilmesi ile elde edilebilmektedir. Bu durumda, (Bozzi ve ark. 2014) boyutu küçültülmüş cihazların değerlendirilmesini önermektedir. Bunun için, DED sistemleri ve onların güç matrisleri, yerçekimi ivmesi ve atalet kuvvetinin en önemli kuvvetler olduğu varsayımıyla Froude kriterini uygulayarak ölçeklendirilmektedir. Ancak, boyutu küçültülen güç matrisini tahmin etmek için en doğru yol sayısal simülasyonlar ve yeni fiziksel model testleri ile cihazlar tarafından üretilen elektriğin tahmin edilmesidir. Froude kriteri, uzunlukların ve zamanın takip eden ilişkilerle ölçeklendirildiğini ima etmektedir (Iuppa ve ark. 2015):

$$L_{DED,d} = \lambda_L \times L_{DED} \quad (3.35)$$

$$T_{DED,d} = \lambda_L^{0.5} \times T_{DED} \quad (3.36)$$

Burada; λ_L , ölçek faktörüdür ve $L_{DED,d}$ ve $T_{DED,d}$ sırasıyla boyutu küçültülmüş uzunluklar ve zamandır. Bu iki denkleme göre, mevcut DED sistemin güç matrisini (P_{DED}) kullanılarak boyutu küçültülmüş güç matrisi ($P_{DED,d}$) aşağıdaki gibi tahmin edilebilmektedir:

$$P_{DED,d} = \lambda_L^{3.5} \times P_{DED} \quad (3.37)$$

Yeniden boyutlandırma yalnızca derin suda kurulabilen cihazlar için uygulanabilmektedir. Sörf bölgesi olarak adlandırılan 5 m ‘den daha düşük derinlikteki bölgelerde dalga alanı dalga kırılmasından etkilendiğinden dolayı ilave kuvvetlerin oluşması söz konusu olacağından orta derinlikli sularda konuşlandırılabilir cihazlar için bu ölçeklendirme uygulanamaz (Iuppa et al. 2015). Ancak, bu çalışmada kurulabilecek bütün DED sistemleri için ölçeklendirme işlemi uygulanarak her bir lokasyonda her bir cihaz için 0.0 – 1.0 arasında 0,1’lik aralıklarda 10 farklı ölçek faktörü durumunda elde edilebilecek elektrik güç değerleri ve kapasite faktörleri bulunmuş ve her cihazın maksimum kapasite faktörüne sahip oldukları durumdaki enerji elde edilebilirlikleri tartışılmıştır.

Her DED sistemi ve ölçeğin değerlendirilmesi için üç farklı kapasite faktörü (C_f), (Denklem 3.38), yıllık yükleme saatleri (O_h) (DED sistemlerin çıktılarının sıfırdan yüksek

olduğu saatler) ve nominal kapasite faktörü (R_f) (Denklem 3.39), dikkate alınmıştır (Majidi Nezhad et al. 2018).

$$C_f = \frac{P_E}{P_n} \times 100 [\%] \quad (3.38)$$

$$R_f = \frac{i}{n} \times 100 [\%] \quad (3.39)$$

P_E , cihazın ortalama toplam yıllık güç çıktısı, P_n , cihazın nominal gücüdür; R_f makinenin nominal kapasite faktörü, i ise cihazın nominal gücünün %90'ından daha yüksek bir verimlilikle çalıştığı saatlerin sayısını temsil etmekte ve n , yılın toplam saatlerini göstermektedir. DED'lerin yıllık enerji üretimi genellikle cihazın güç matrisinin her hücresinin deniz durumu karakteristik matrisinin göreceli değeri ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında ilk iş olarak Karadeniz'in güney batı kıyılarına üç alt sayısal ağ (Karaburun, Filyos ve Sinop) modeline dayanarak üretilmiş mevcut veri tabanından Karaburun sayısal ağında kıyıya yaklaşık olarak dik olacak şekilde seçilen 5 aksta, Filyos ve Sinop sayısal ağlarında 4'er aksta ve her bir aksta yaklaşık olarak 5 m, 25 m, 50 m, 75 m ve 100 m derinliklere gelecek şekilde seçilen istasyonlar için ihtiyaç duyulan bütün dalga parametreleri çekilmiştir. İstasyon adlandırmaları ilk harf temsil ettiği sayısal ağ isminin baş harfi, ikinci harfi batıdan doğuya doğru A'dan başlayacak şekilde harflendirilmesi ve üçüncü sayı ise en sığdan en derine doğru 1'den başlayacak şekilde numaralandırılması neticesinde oluşturulmuştur. Örneğin; KA1, Karaburun sayısal ağında en batıdaki aksta yaklaşık 5 m derinlik için belirlenmiş istasyonu temsil etmektedir. Bu istasyonlar belirlendikten ve ihtiyaç duyulan veriler çekildikten sonra, dalga parametrelerinin istatistiği çıkartılmış ve teorik dalga potansiyeli Denklem 3.14 kullanılarak dalga enerji akısı (dalga gücü) cinsinden belirlenmiş ve onun da istatistiksel parametreleri tespit edilmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler, belirgin dalga yüksekliği, enerji periyodu, pik periyot, ortalama dalga periyodunun, dalga gücünün, dalga yönünün ve enerji miktarının ortalama, medyan ve maksimum değerleri irdelenerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, istatistiksel göstergeler her bir istasyonda belirgin dalga yüksekliği, enerji periyodu ve dalga gücünün kutu grafikleri çizilerek detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m'den küçük olduğu ve 2 m'den büyük olduğu olasılıklar, 5 s'den küçük dalga enerji periyodunun olasılığı ve dalga gücü 10 kW/m'den daha büyük olma olasılıkları da her bir istasyonda kıyaslanmıştır. Daha sonra, ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve ortalama ve maksimum teorik dalga gücünün yıl içi değişimleri tartışılmıştır. Bunların yanında, yıl içi ve aylık değişkenlik ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve ortalama ve maksimum teorik dalga gücü için irdelenmiştir. Bazı dalga parametrelerin yıl içi değişimlerinin irdelenmesinden sonra, dalga gücü değişkenlik indeksleri tartışılmıştır.

İstatistiksel değerlendirmelerden sonra, mevcut dalga enerji dönüştürücü sistemlerinin performansları dikkate alınan bütün istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kurulması durumunda üretilebilecek yıllık toplam enerji miktarları hesap edilmiş ve hangi sistemden daha fazla enerji elde edilebildiği belirlenmiştir. Ayrıca,

elde edilebilir dalga enerjisinin yıllık değişimleri de tartışılmıştır. Bunların yanında, bu sistemlerin verimliliğini ve etkinliğini gösteren bazı parametreler yine her bir istasyon ve her bir DED sistemi için hesap edilmiş ve her bir istasyonda kurulumu en etkin ve verimli olan sistem tespit edilmiştir. Ayrıca, bu parametrelerin yıllık değişimleri de tartışılmıştır.

Bir bölgedeki DED sistemlerin ölçeklendirilmesi mevcut DED'lerin seçilen bölgede en az yatırımla mümkün olan en iyi performansı sunması için önemli bir parametre olmaktadır. Bu nedenle, bütün istasyonlarda kurulabilecek bütün DED sistemleri 0,1 aralıkla 10 kez küçültülmüştür. Daha sonra, Tüm DED sistemlerin küçültülmüş güç matrisleri ve küçültülmüş deniz durumu karakteristik matrislerin arasındaki ilişkisi kullanılarak tekrardan toplam yıllık güç ve yıllık enerji çıktıları hesaplanmıştır. 10 farklı ölçek faktörü durumundaki kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve yıllık çalışma saatleri hesaplanmış ve tartışılmıştır.

4.1. Dalga parametrelerinin istatistiksel göstergeleri

Bütün sayısal ağılarda Çizelge 1.1'de bilgileri verilen toplam 62 istasyonda 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak hesap edilmiş belirgin dalga yüksekliği (H_s), enerji periyodu (T_e), dalga gücü (P_w), dalga enerjisi (E)'nin medyan ve maksimum ve dalga yönünün ortalama değerleri Çizelge 4.1 – 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge4.1. Karaburun sayısal ağında kıyıya dik beş farklı hat üzerinde olan 24 nokta için 1979-2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan bazı dalga parametrelerinin yıllık medyan ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması.

Hat	Nokta	Boylam	Enlem	Derinlik	$H_{s,med}/$ $H_{s,maks}$	$T_{e,med}/$ $T_{e,maks}$	$T_{ort,med}/$ $T_{ort,maks}$	$P_{w,med}/$ $P_{w,maks}$	DIR_{med}	$E_{med}/$ E_{maks}
No	No	(E°)	(N°)	(m)	(m)	(s)	(s)	(kW/m)		(kW/m*sa)
KA	KA1	28,0625	41,8913	4	0,5/2,6	4,4/12,8	3,3/9,3	0,6/42	DKD	1,1/84
	KA2	28,0938	41,8913	25	0,7/9,6	4,1/12,7	3,2/9,3	0,9/564	KD	1,8/1128
	KA3	28,1250	41,8913	54	0,7/10,1	4,1/12,5	3,2/9,1	0,9/609	KD	1,9/1217
	KA4	28,2437	41,8913	75	0,7/11,1	4,1/12,3	3,2/9,2	1/721	KD	2,1/1443
	KA5	28,5688	41,8913	100	0,8/12,8	4,1/12,7	3,2/9,4	1,2/1015	KD	2,5/2031
KB	KB1	28,1938	41,5696	7	0,5/4,2	4,7/13,5	3,8/10,3	0,6/118	KD	1,1/236
	KB2	28,2125	41,5696	26	0,6/9,9	4,3/13,6	3,3/9,5	0,7/635	KD	1,4/127
	KB3	28,2313	41,5739	49	0,6/9,8	4,3/13,5	3,3/9,4	0,7/622	KD	1,5/1245
	KB4	28,5125	41,6957	74	0,7/11,4	4,2/13,0	3,2/9,3	1/818	KD	2,1/1636
	KB5	28,6500	41,7609	99	0,8/12,3	4,2/13,0	3,2/9,3	1,2/957	KD	2,3/1914
KC	KC1	28,7813	41,3174	13	0,6/6,6	4,4/13,9	3,4/9,6	0,6/292	KKD	1,2/585
	KC2	28,7875	41,3217	22	0,6/9,7	4,3/13,6	3,3/9,5	0,7/618	KKD	1,4/1236
	KC3	28,8000	41,3391	52	0,6/10,5	4,2/13,7	3,3/9,4	0,7/724	KKD	1,5/1448
	KC4	28,8312	41,3696	75	0,6/10,8	4,2/13,5	3,2/9,5	0,8/753	KD	1,6/1505
	KC5	29,0000	41,5522	100	0,7/12,1	4,2/13,5	3,2/9,4	1,1/954	KD	2,2/1908
KD	KD2	29,5000	41,2087	26	0,6/11,1	4,1/13,8	3,2/9,6	0,6/804	KKD	1,3/1608
	KD3	29,5000	41,2565	51	0,6/11,5	4,1/14,0	3,1/9,4	0,7/866	KKD	1,4/1732
	KD4	29,5000	41,3000	75	0,6/11,6	4,1/13,7	3,1/9,4	0,8/873	KKD	1,6/1745
	KD5	29,5000	41,3652	106	0,7/12,0	4/13,6	3,1/9,3	0,9/937	KKD	1,7/1873
KE	KE1	30,3188	41,2043	7	0,4/4,4	3,8/13,7	2,9/9,7	0,3/130	K	0,6/261
	KE2	30,3188	41,2174	26	0,5/9,8	3,8/13,6	2,9/9,1	0,4/637	K	0,8/1274
	KE3	30,3188	41,2348	51	0,5/10,1	3,7/13,5	2,8/9	0,4/659	K	0,9/1318
	KE4	30,3188	41,3000	76	0,5/10,3	3,7/13,1	2,8/8,9	0,5/667	K	1/1334
	KE5	30,3188	41,3348	99	0,5/10,7	3,7/13,1	2,8/8,9	0,5/719	K	1/1438

Bu tablolardan da görülebileceği üzere, belirgin dalga yüksekliğinin medyan ve maksimum değerleri açıktan sığ suya doğru azalmakta iken özellikle 5 m derinlikte maksimum değerde önemli bir azalış meydana geldiği görülmüştür. Medyan ve maksimum belirgin dalga yüksekliği açısından Sinop ve Filyos sayısal ağlarındaki istasyonlarda benzer özellikler gözlenirken Karaburun sayısal ağında daha şiddetli dalgaların oluştuğu da gözlenmektedir. Enerji periyodunun medyan değerleri Karaburun sayısal ağında en doğudaki hat hariç 4 s ile 5 s aralığında, maksimum değerleri ise 12 s – 14 s aralığında değişmektedir. Ayrıca, Karaburun ve Filyos sayısal ağlarında enerji periyodunun açık denizden kıyıya doğru artma eğiliminde olduğu da görülmektedir. Bunun yanında, Filyos sayısal ağında medyan ve maksimum enerji periyodu değerlerinin Karaburun sayısal ağındakilere kıyasla daha büyük oldukları da görülmektedir. Sinop

sayısal ağındaki istasyonlarda ise, diğer sayısal ağ istasyonlarına kıyasla daha düşük medyan ve maksimum dalga enerji periyotları olduğu tespit edilmiştir.

Dalga gücü ve enerjisinin medyan ve maksimum değerlerinin bütün sayısal ağlardaki istasyonlarda, açık denizden kıyıya doğru azaldığı, dalga gücünün medyan değerinin Karaburun sayısal ağında en doğudaki hat hariç 0,6 – 1,2 kW/m civarında olduğu ve maksimum için bu aralığın 42 – 1015 kW/m olduğu görülmüştür. Dalga gücünün batıdan doğuya doğru azaldığı bariz bir şekilde görülmesine karşın, en batıdaki yaklaşık 5 m derinlikteki istasyonda bütün istasyonlar açısından en düşük dalga gücünün olduğu belirlenmiştir. Enerji yoğunluğu açısından Karaburun sayısal ağında en batıdaki ve en derindeki istasyonun en avantajlı konumda olduğu ve 5 m derinliğin dışındaki derinliklerde enerji yoğunluğunun maksimum değerinin 1000 kW/m*saat 'dan daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca, enerji yoğunluğunun medyan değerinin bu sayısal ağda batı istasyonlarda ve derin bölgelerde 2 kW/m*saat'den daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2'de sunulan Filyos sayısal ağında en büyük ve en küçük medyan dalga gücü değerleri sırasıyla FD5 istasyonunda 0,8 kW/m ve FB2 istasyonunda 0,1 kW/m olarak belirlenmiştir. Bu sayısal ağdaki istasyonlarda maksimum dalga gücünün en küçük değerinin medyan değerinin en küçük olduğu istasyonda olduğu ancak en büyük olduğu değer medyan dalga gücünün en büyük olduğu istasyonda gözlenmediği tespit edilmiştir. Maksimum dalga gücü bu sayısal ağda 567 kW/m ile 0,7 kW/m'lik bir medyan dalga gücüne sahip FA5 istasyonunda olduğu belirlenmiştir. Bu medyan ve maksimum dalga gücü değerleri Karaburun sayısal ağı değerlerinden daha düşüktür. Sinop sayısal ağı istasyonlarının enerji yoğunluğunun medyan ve maksimum değerlerinin Karaburun sayısal ağı istasyonlarınınkinden oldukça düşük olmasına karşın, bu sayısal ağın en batısındaki hatta (aksta) neredeyse Karaburun sayısal ağındaki istasyonlarınkine benzer bir medyan enerji yoğunluğunun daha düşük maksimum değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, dalga enerji dönüştürücülerinin belli bir aralığa enerji dönüşümü açısından odaklandığı düşünüldüğünde önemli bir bulgudur.

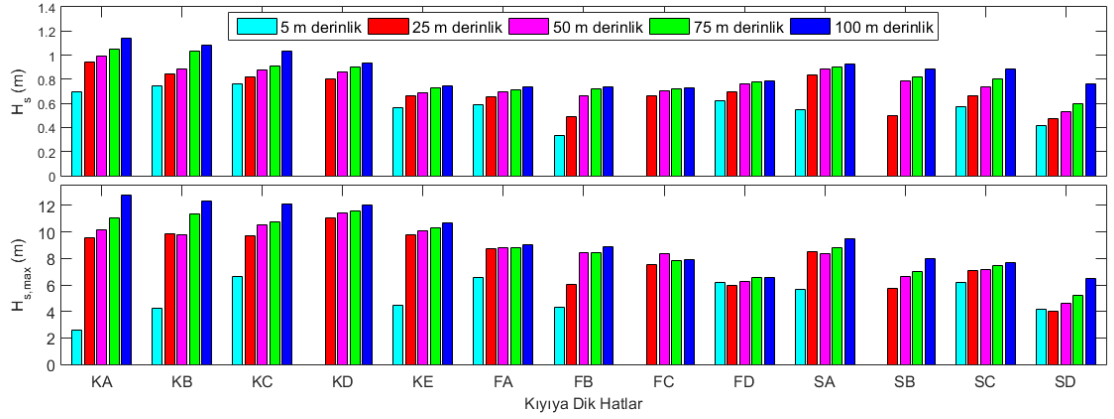
Çizelge 4.2. Filyos ağında kıyıya dik dört farklı hat üzerinde olan 19 nokta için 1979-2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan bazı dalga parametrelerinin yıllık medyan ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması.

Hat	Nokta	Boylam	Enlem	Derinlik	$H_{s,med}/$ $H_{s,maks}$	$T_{e,med}/$ $T_{e,maks}$	$T_{ort,med}/$ $T_{ort,maks}$	$P_{w,med}/$ $P_{w,maks}$	DIR_{med}	E_{med}/E_{maks}
		(E°)	(N°)	(m)	(m)	(sn)	(sn)	(kW/m)		(kW/m*sa)
FA	FA1	31,0033	41,0860	14	0,5/6,6	4,8/13,9	4,1/11,5	0,5/293	K	0,9/586
	FA2	31,0035	41,0982	25	0,5/8,7	4,6/14,3	3,9/12,3	0,6/523	K	1,1/1046
	FA3	31,0040	41,1228	53	0,5/8,8	4,6/14,6	3,8/13,1	0,6/549	K	1,2/1098
	FA4	31,0044	41,1473	76	0,5/8,8	4,7/14,4	3,8/12,9	0,6/547	K	1,3/1095
	FA5	31,0026	41,1889	99	0,6/9,0	4,7/14,3	3,8/12,8	0,7/567	KKD	1,4/1133
FB	FB1	31,3727	41,1907	13	0,2/4,3	4,1/13,6	3,4/11,2	0,1/120	KB	0,2/241
	FB2	31,3504	41,2051	24	0,4/6,0	4,3/14,3	3,3/12,6	0,3/250	KKB	0,6/500
	FB3	31,2805	41,2430	49	0,5/8,4	4,6/14,4	3,7/13,0	0,6/496	K	1,1/991
	FB4	31,2306	41,2666	74	0,5/8,4	4,7/14,3	3,8/12,8	0,7/488	KKD	1,4/975
	FB5	31,2056	41,2784	103	0,6/8,9	4,7/14,4	3,8/12,9	0,7/548	KKD	1,4/1096
FC	FC2	31,8416	41,5057	27	0,5/7,5	4,8/14,3	4/12,8	0,6/389	K	1,2/777
	FC3	31,8241	41,5152	50	0,5/8,3	4,7/14,5	3,9/13,2	0,7/488	K	1,3/977
	FC4	31,8142	41,5224	75	0,6/7,8	4,7/14,1	3,9/12,8	0,7/418	K	1,4/836
	FC5	31,8118	41,5273	98	0,6/7,9	4,7/14,0	3,9/12,8	0,7/422	KKD	1,4/844
FD	FD1	32,5268	41,8124	16	0,5/6,2	4,9/13,8	4,1/12,6	0,5/254	K	1,1/507
	FD2	32,5193	41,8147	31	0,5/5,9	4,8/13,6	4/12,4	0,7/232	K	1,4/464
	FD3	32,5094	41,8219	52	0,6/6,3	4,8/13,6	3,9/12,2	0,8/251	KKD	1,6/501
	FD4	32,4919	41,8314	68	0,6/6,5	4,8/13,5	3,9/12,2	0,8/271	KKD	1,7/541
	FD5	32,4844	41,8337	99	0,6/6,5	4,8/13,4	3,9/12,1	0,9/268	KKD	1,7/536

Çizelge 4.3. Sinop sayısal ağında kıyıya dik dört farklı hat üzerinde olan 19 nokta için 1979-2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan bazı dalga parametrelerinin yıllık medyan ve maksimum değerlerinin karşılaştırılması.

Hat	Nokta	Boylam	Enlem	Derinlik	H _{s,med/} H _{s,maks}	T _{e,med/} T _{e,maks}	T _{ort,med/} T _{ort,maks}	P _{w,med/} P _{w,maks}	DIR _{med}	E _{med/} E _{maks}
No	No	(E°)	(N°)	(m)	(m)	(sn)	(sn)	(kW/m)		(kW/m*sa)
SA	SA1	33,0438	41,9348	12	0,4/5,7	4,2/12,9	3,5/10,8	0,3/199	KKB	0,6/398
	SA2	33,0313	41,9435	25	0,7/8,5	4,5/12,6	3,6/10,9	1/435	K	1,9/870
	SA3	33,0375	41,9565	52	0,7/8,4	4,6/12,5	3,6/10,9	1/421	K	2,1/842
	SA4	33,0313	41,9652	70	0,7/8,8	4,6/12,5	3,6/10,9	1,1/473	K	2,2/947
	SA5	33,0250	41,9783	105	0,7/9,5	4,6/12,7	3,6/10,9	1,1/558	K	2,3/1115
SB	SB2	33,9375	41,9870	27	0,4/5,7	4,3/13,8	3,6/11,3	0,3/198	KKB	0,5/396
	SB3	33,9375	42,0000	51	0,6/6,6	4,7/12,5	3,8/10,8	0,8/254	K	1,7/507
	SB4	33,9375	42,0261	75	0,6/7,0	4,6/12,7	3,7/11,1	0,9/286	K	1,9/571
	SB5	33,9375	42,1217	100	0,7/8,0	4,6/13,1	3,7/11,3	1,1/405	K	2,2/809
SC	SC1	34,9125	42,0348	14	0,4/6,2	4,4/13,6	3,6/11,0	0,4/255	KB	0,7/510
	SC2	34,9063	42,0478	26	0,5/7,1	4,4/13,6	3,5/11,4	0,5/331	KKB	1/662
	SC3	34,8937	42,0609	51	0,5/7,2	4,4/13,3	3,5/11,2	0,6/335	KKB	1,2/669
	SC4	34,8750	42,0783	77	0,6/7,5	4,5/13,3	3,5/11,2	0,8/362	K	1,5/723
	SC5	34,8312	42,1261	99	0,7/7,7	4,6/13,1	3,7/11,2	1/376	K	2/752
SD	SD1	35,1688	41,8522	13	0,3/4,2	4,1/13,0	3,3/10,4	0,2/104	KD	0,4/208
	SD2	35,1975	41,8609	26	0,4/4,0	3,9/12,2	2,9/10,2	0,3/95	KD	0,5/190
	SD3	35,2188	41,8652	51	0,4/4,6	3,9/12,0	2,9/10,3	0,3/123	KD	0,7/245
	SD4	35,2687	41,8826	76	0,5/5,2	4/11,7	3/10,3	0,4/153	KKD	0,9/306
	SD5	35,3812	41,9304	100	0,6/6,5	4,3/11,6	3,3/10,1	0,8/237	KKD	1,5/475

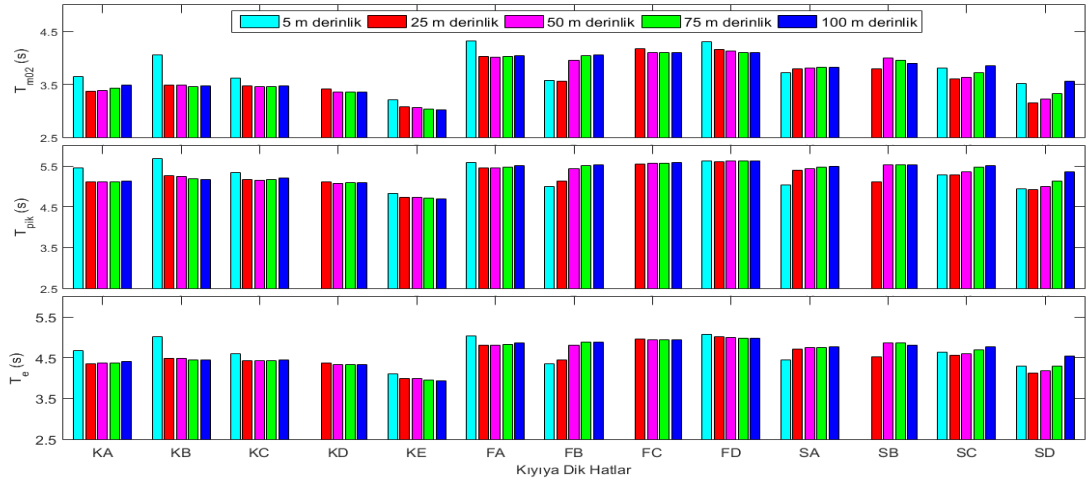
Bütün istasyonlarda belirgin dalga yüksekliğinin uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama ve maksimum değerlerinin kıyaslaması Şekil 4.1’de sunulmuştur. Bu şekilden de görülebileceği gibi, açık denizden kıyıya doğru ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği azalmaktadır. Ortalama ve maksimum belirgin dalga yükseklikleri Karaburun sayısal ağındaki istasyonlarda diğer istasyonlara kıyasla daha yüksektir. Kıyı boyunca 5 m derinlikteki istasyonlarda ortalama belirgin dalga yüksekliği Karaburun sayısal ağındaki istasyonlarında daha yüksek iken maksimum belirgin dalga yüksekliği Sinop ve Filyos sayısal ağlarındaki bazı istasyonlarda daha yüksek olmaktadır.



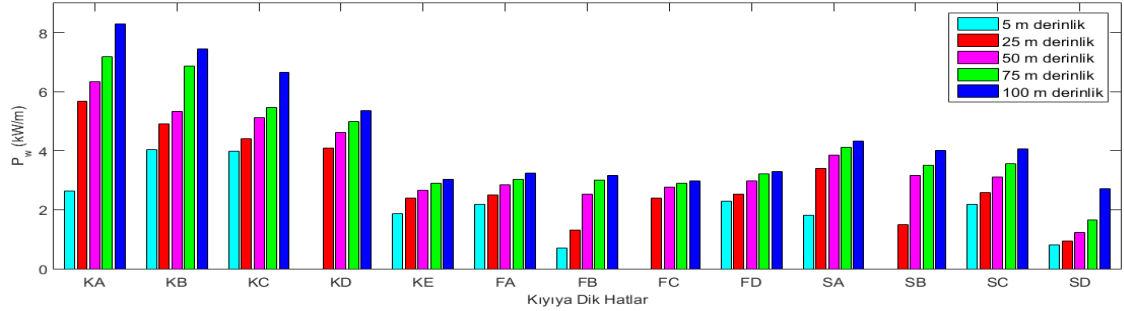
Şekil 4.1. Kıyıya dik hatlarda seçilmiş beş farklı derinlikte belirgin dalga yüksekliğinin uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama ve maksimum değerlerinin kıyaslaması

Bazı dalga periyotlarının uzun dönemli ortalama değerlerinin bütün istasyonlarındaki değişimlerinin kıyaslaması Şekil 4.2’de görsel olarak yapılmıştır. Belirgin dalga yüksekliğindeki durumun tersine dalga periyotlarının ortalamaları Filyos ve Sinop sayısal ağındaki istasyonlarda Karaburun sayısal ağındaki istasyonlara kıyasla daha yüksektir. Ortalama dalga periyodundaki istasyonlar arasındaki fark enerji periyodu ve pik periyodundaki istasyonlar arasındaki farktan oldukça yüksektir. İstasyonlar arasında 5 m derinlikteki periyotların diğer derinliklerdeki periyot değerlerinden çoğunlukla daha yüksek olduğu da görülmektedir.

Teorik dalga gücünün uzun dönemli ortalamalarının kıyıya dik hat boyunca ve çalışma bölgesinde kıyı boyunca değişimleri Şekil 4.3’te görsel olarak kıyaslanmıştır. Bu şekle göre, belirgin dalga yüksekliğindeki değişimden tahmin edildiği üzere derinden sığ suya doğru teorik dalga gücü de azalmaktadır. Karaburun sayısal ağındaki istasyonlardaki teorik dalga gücü diğer sayısal ağlardaki istasyonlara kıyasla daha yüksektir. Sinop sayısal ağının batısındaki istasyonlarda dalga gücü bu istasyonları takip etmektedir. Ayrıca, Karaburun sayısal ağının en batısındaki hattaki istasyonlarda dalga gücü bütün çalışma bölgesindeki en yüksek enerji potansiyeline sahiptir.



Şekil 4.2. Kıyıya dik hatlarda seçilmiş beş farklı derinlikte ortalama periyodun (T_{m02}), pik periyodun (T_{pik}) ve enerji periyodunun (T_e veya T_{m-10}) uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama değerlerinin kıyaslaması

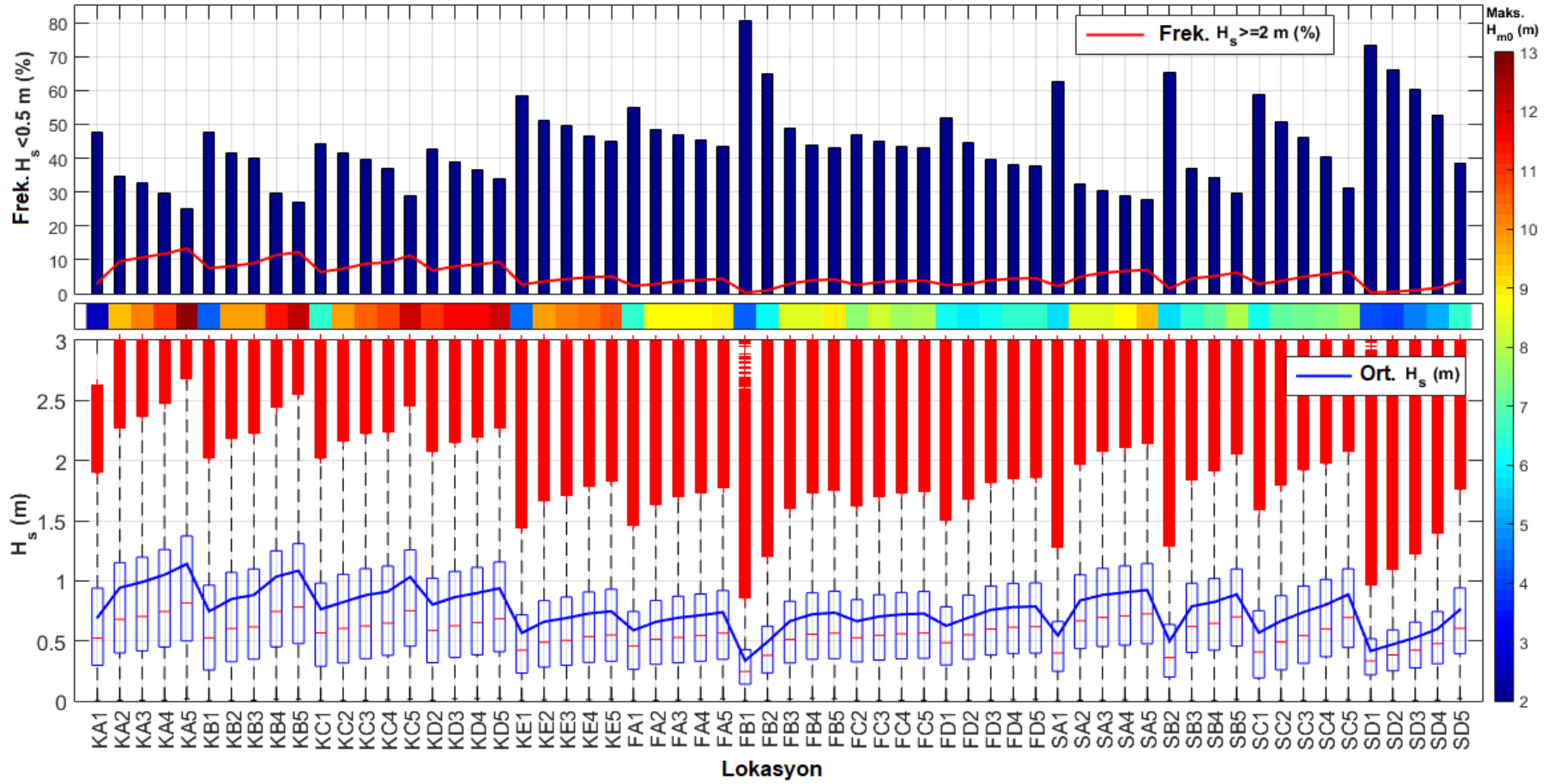


Şekil 4.3. Kıyıya dik hatlarda seçilmiş beş farklı derinlikte teorik dalga gücünün uzun dönemli 31 yıllık bir süreçteki ortalama değerlerinin kıyaslaması

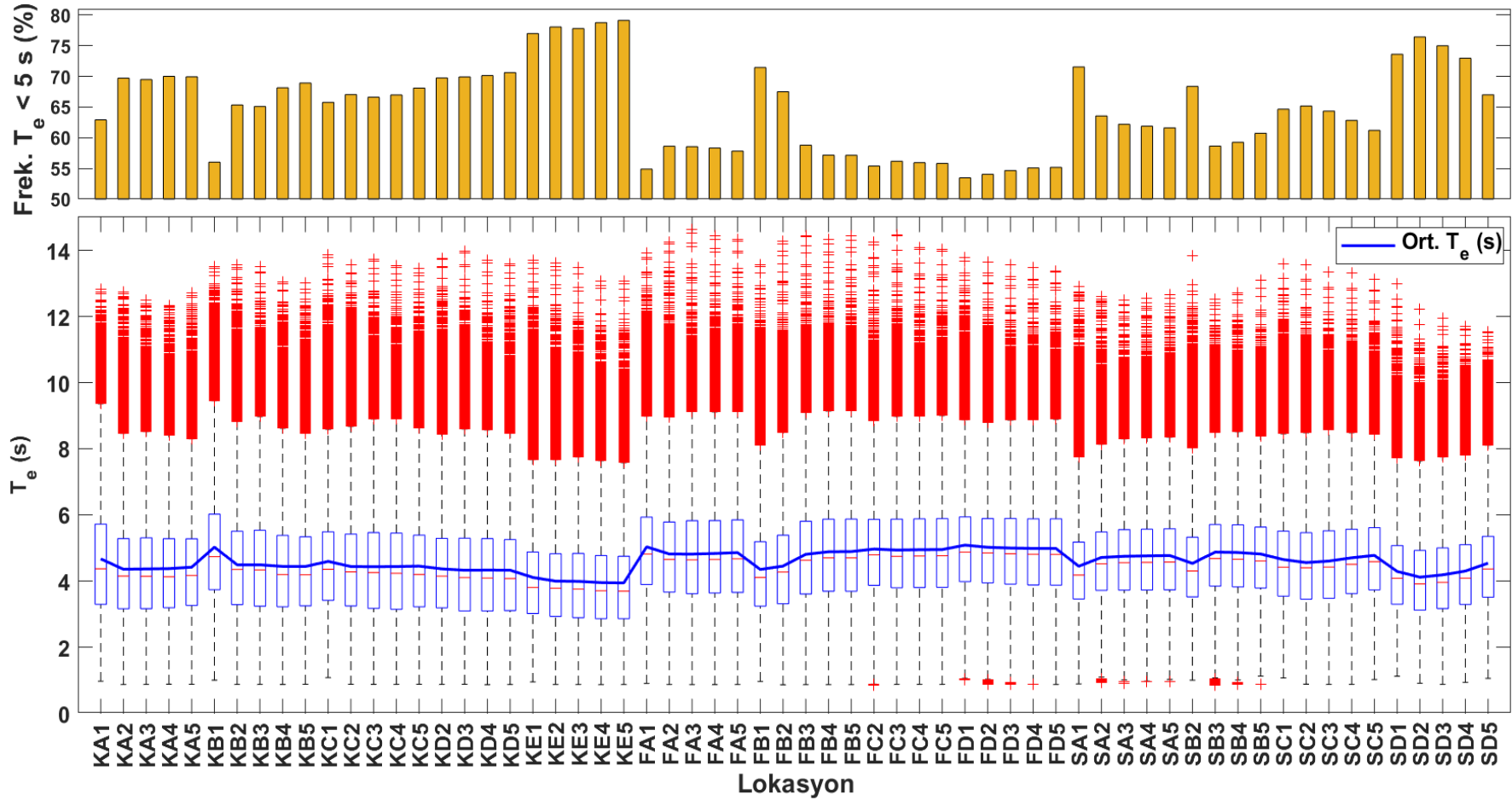
Dalga parametrelerinin merkezi eğilim parametrelerinin incelenmesinden sonra, yine bu parametrelerin değişkenliğini ifade eden bazı istatistiksel parametreler de yine bütün istasyonlar için uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiştir. Dalga gücü için standart sapma ve değişim katsayısı hesap edilmiş, belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücü için farklı aşılma ihtimali değerleri verinin minimum ve maksimum ekstremlerini görmek açısından tespit edilmiştir. Bu verilerin güzel bir görseli olan kutu grafik (boxplot) kullanılarak dikkate alınan parametrelerin bütün istasyonlardaki değişimleri izlenebilmiştir. Bu maksatla, 1979 - 2009 arasındaki zaman aralığında SWAN simülasyonu sonuçlarından elde edilen Karaburun'dan Sinop'a kadar beş farklı derinlik (5, 25, 50, 75 ve 100 m) dahil olmak üzere, kıyıya 13 dik hat üzerinde yer alan toplam 62 istasyon için belirgin dalga yüksekliklerinin kutu grafiği Şekil 4.4'te sunulmuştur. Kutu grafiği (boxplot), veri kümesinin dağılımını minimum, birinci çeyrek (25. percentile), medyan (yüzde 50) üçüncü çeyrek (75 percentile), maksimum ve aykırı değerlere göre

görselleştirmenin standart bir yoludur. Kutunun altı ve üstü birinci ve üçüncü çeyreklerdir. Birinci ve üçüncü çeyrekten çıkan bıyıklar minimuma ve maksimuma gider. Şekil 4.4'teki H_{m0} 'ın kutu grafiği 3 m'de kesilmiştir. Maksimuma uzayan bıyık kesildiğinden dolayı maksimumu temsil etmesi açısından bu şeklin ortasında ilgi alanındaki tüm istasyonlar için maksimum H_{m0} değerleri bir renk çubuğu olarak sunulmuştur. Kutu grafiğinin tüm hesaplamalarında aykırı değerler kullanılmaz, hata değerleri olarak ele alınır, ancak bu çalışmada tüm ortalama değerlerin ve frekansların hesaplanmasında toplam veriler dikkate alınmıştır. Bu alt grafiklerden; H_{m0} 'ın medyan, ortalama ve maksimum değerlerinin açık denizden sığ suya doğru azaldığı ve 5 m derinlikte maksimum değerlerde önemli bir düşüş olduğu görülmektedir. Ortanca, ortalama ve maksimum H_{m0} açısından benzer özellikler Sinop ve Filyos alt sayısal ağlarında da yer almaktadır. Aksine, Karaburun alt sayısal ağındaki istasyonlarda daha şiddetli dalgaların olduğu görülmektedir. Karaburun'daki istasyonlarda, H_{m0} 'ın ortanca değeri 0,4 - 0,8 m ve ortalama H_{m0} 0,57 - 1,14 m arasında değişmektedir. Maksimumlar açısından bu aralık KE1'de 2,6 m'den KA5'de 12,82 m'ye değişmektedir. Filyos alt sayısal ağında, H_{m0} 'ın ortanca, ortalama ve maksimum değerleri FB1 ve FD5'te sırasıyla 0,2 - 0,6 m, 0,34 - 0,79 m ve 4,28 - 9,02 m arasında değişmektedir. Sinop alt sayısal ağında, H_{m0} 'ın medyan ve ortalama değerleri 0,3 - 0,7 m ve 0,42 - 0,92 m arasında değişirken, maksimum H_{m0} SD1 ve SA5'te sırasıyla 4,00 m ile 9,52 m arasındadır. Her ne kadar H_{m0} 'ın batıdan doğuya azaldığı açıkça görülmesine rağmen, tüm dikkate alınan bölgeler arasında en düşük H_{m0} değerlerinin Filyos FB1'de 5 m derinlikte ve Sinop'taki en batıdaki 5 m derinlikli SA1 bölgesinde görüldüğü belirlenmiştir. Bununla birlikte, Sinop alt sayısal ağında yer alan istasyonlarda H_{m0} 'ın ortanca ve maksimum değerleri, Karaburun alt sayısal ağındaki istasyonlarınkinden önemli ölçüde daha düşüktür. Ancak, Sinop alt sayısal ağında en düşük maksimum değere sahip en batı kısmının ortanca H_{m0} değerlerinin en doğudaki Karaburun bölgesindeki ortanca değerlere benzer olduğu bulunmuştur. Enerji dönüşümü açısından, dalga enerjisi dönüştürücü sistemlerinin belirli bir aralığa odaklandığı düşünüldüğünde bu önemli bir bulgudur. Belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m'den daha düşük olma olasılığı ($H_{m0} < 0,5$ m) ve 2 m'den daha büyük ve eşit olma olasılığı ($H_{m0} \geq 2,0$ m) da Şekil 4.4'teki üst panelde sunulmaktadır. 0,5 m'den daha düşük H_{m0} değerleri sakin deniz durumunu temsil etmektedir. Bu nedenle, herhangi bir yerde sakin deniz durumunun frekansı önemli olabilir, çünkü $H_{m0} < 0,5$ m için daha yüksek olasılık, kıyı

koruma yapıları ve/veya dalga enerji dönüşüm sistemleri için daha düşük tasarım dalgaları sunarken, dalga enerji dönüştürücülerinin (DED) dönüştürebileceği düşük enerji anlamına gelmektedir. $H_{m0} \geq 2,0$ m için daha yüksek olasılık, DED'lerin kurulumu için uygun olacak yüksek enerji temini anlamına gelmektedir. Karaburun'daki KA1 (4 m derinlik, %3,2) istasyonunun ve Sinop'taki SD5 (100 m derinlik, %3,7) istasyonunun 2 m'den büyük H_{m0} olasılıklarının neredeyse eşit olması çok ilginç bir sonuçtur. Karaburun sayısal ağının tamamında ve Sinop sayısal ağının batısındaki istasyonlarda, yüksek H_{m0} olasılığı fazladır ve açık denizden kıyı şeridine doğru yavaş yavaş azalmaktadır. 0,5 metreden daha az H_{m0} , Karaburun'da KA5'i (sadece %25) ve Sinop'taki SA5'i (sadece %27,6) bu iki yerin maksimum değerleri nedeniyle ve DED'lerin stabilitesi dikkate alındığında en iyi istasyonlar olduğu ve SA5'in (maksimum 9,5 m) maksimum H_{m0} 'da 3,3 m farkla dalga gücü çiftlikleri için daha iyi bir seçim olduğu kanısı oluşmaktadır. Çalışma alanında dalgadan enerji dönüşümü için en olumsuz pozisyona sahip istasyonlar 0,5 metreden daha düşük H_{m0} 'ın olma olasılığı sırasıyla %81 ve %65 olan FB1 ve SB2 istasyonlarıdır. Dikkate alınan tüm istasyonlarda dalga enerji periyotlarının kutu grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir. Periyotların kutu grafiklerinde maksimum değerler görülebildiğinden, H_{m0} 'daki gibi maksimum değerler için bir renk çubuğu eklenmemiştir. Belirgin dalga yüksekliğindeki durumun tersine, ortalama dalga enerji periyotları Filyos ve Sinop alt sayısal ağlarındaki istasyonlarda Karaburun alt sayısal ağındaki istasyonlara kıyasla daha yüksektir. 5 m derinliğindeki istasyonlarda periyotların daha derin konumlardaki istasyonların değerlerinden daha yüksek olduğu da gözlenmektedir. Enerji periyodunun ortanca değerleri Karaburun sayısal ağının en doğusundaki hat hariç 4 s ile 5 s arasında ve maksimum değerleri 12 s ile 14 s arasında değişmektedir. Ayrıca, Karaburun ve Filyos alt sayısal ağlarındaki enerji periyodunun açık denizden kıyıya doğru artma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bunların yanında, Filyos alt sayısal ağındaki medyan, ortalama ve maksimum dalga enerji periyodu değerlerinin Karaburun alt sayısal ağındaki değerlerden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Sinop alt sayısal ağındaki istasyonların, diğer alt sayısal ağlardaki istasyonlara göre daha düşük medyan, ortalama ve maksimum dalga enerji periyoduna sahip olduğu belirlenmiştir. DED'lerin belirli bir zaman aralığında performans gösterdiği bilinmektedir. Tam ölçekli DED'lerin çoğu, 5 saniyeden daha kısa periyotlu dalgalar durumunda enerjiyi dönüştüremez.



Şekil 4.4. 1979 – 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun dönemli SWAN tahminlerinden elde edilmiş Karaburun’dan Sinop’a kadar kıyı boyunca ve kıyıdan açık denize doğru 5 farklı derinlikte (5, 25, 50, 75 ve 100 m) kıyıya dik 13 hatta 62 istasyon için belirgin dalga yüksekliğinin (H_{m0}) kutu grafiği (aşağıdaki panel), kutu grafiği üzerindeki mavi çizgi ortalama H_{m0} , orta panelde renk çubuğu maksimum H_{m0} ve üst panelde belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m’den daha düşük olma olasılığı ($H_{m0} < 0,5$ m, mavi histogram) ve belirgin dalga yüksekliğinin 2 m’den daha büyük olma olasılığı (kırmızı çizgi).

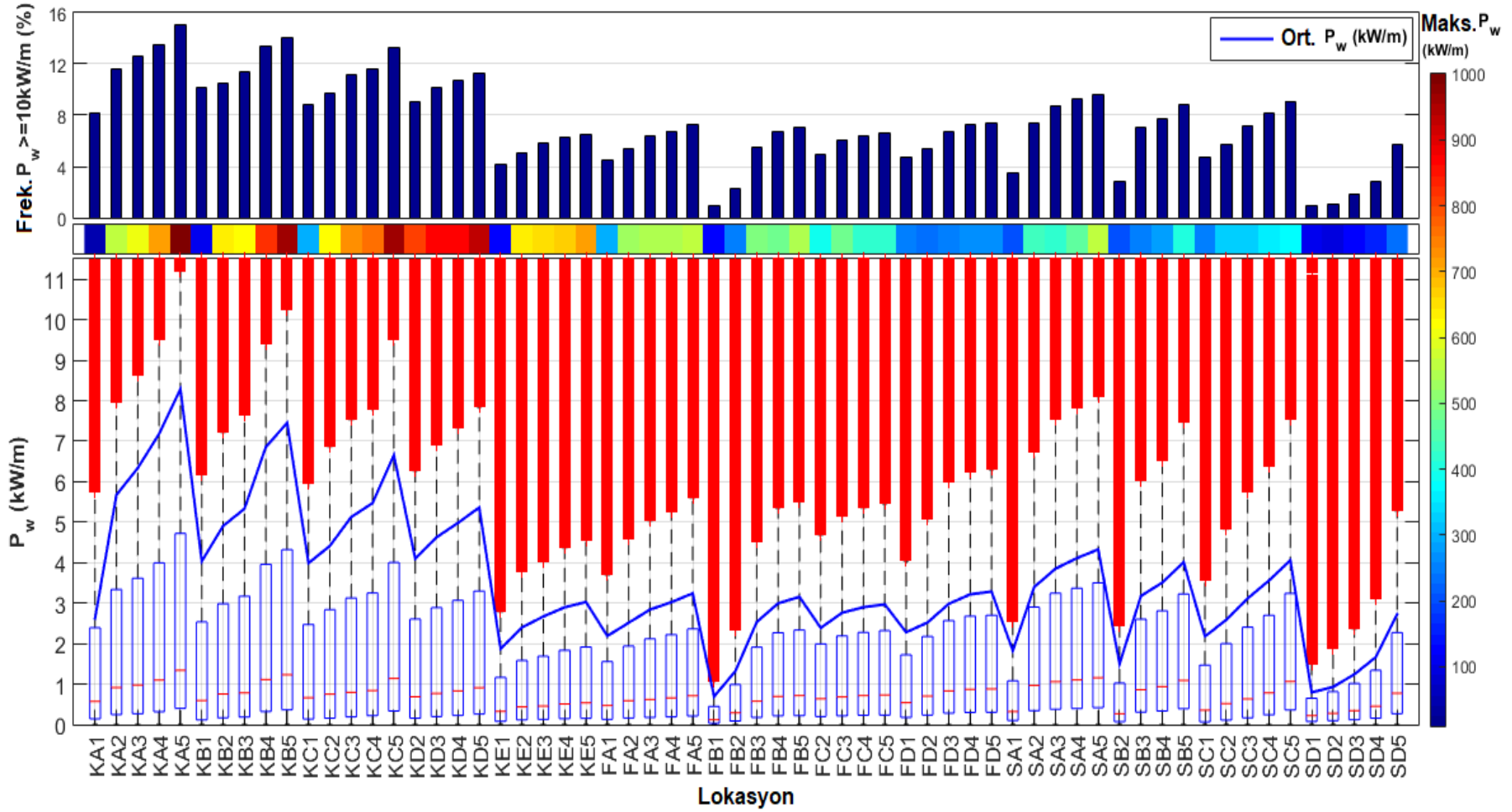


Şekil 4.5. 1979 – 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun dönemli SWAN tahminlerinden elde edilmiş Karaburun’dan Sinop’a kadar kıyı boyunca ve kıyıdan açık denize doğru 5 farklı derinlikte (5, 25, 50, 75 ve 100 m) kıyıya dik 13 hatta 62 istasyon için dalga enerji periyodunun (T_e veya T_{m-10}) kutu grafiği (aşağıdaki panel), kutu grafiği üzerindeki mavi çizgi ortalama T_{m-10} , orta panelde renk çubuğu maksimum T_{m-10} ve üst panelde dalga enerji periyodunun 5 saniyeden daha düşük olma olasılığı ($T_{m-10} < 5$ s, kahverengi histogram)

Şekil 4.5'teki üst panel (kahverengi histogram) dalga enerji periyodunun 5 saniyeden küçük olma olasılığını göstermektedir. Bütün 62 istasyonda dalgaların yarısından fazlasının 5 saniyeden az bir periyoda sahip olduğu ve bu da dalgaların %50'sinden daha fazlasının tam ölçekli DED'leri etkilemediği (bu sistemlerden enerji dönüşümünün olamadığı) anlamına gelmektedir. Bu şekil, genel olarak açık denizden kıyıya dalga periyodunda artış olduğunu ve 13 m derinliğe sahip FB1 istasyonu (%53,5) 5 saniyeden daha kısa dalga periyotlarına sahip olduğunu göstermektedir. KE5 (100 m derinlik) istasyonunda ise sadece dalga periyotlarının %21'i 5 saniyeden daha uzundur.

Şekil 4.6, beş farklı derinlik (5, 25, 50, 75 ve 100 m) ve kıyıya dik Karaburun'dan Sinop'a kadar 13 hat üzerinde yer alan 62 istasyon için 1979 - 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun süreli SWAN simülasyonu sonuçlarından elde edilen dalga gücünün kutu grafiğini, maksimum dalga gücünün değişimini ve dalga gücünün 10 kW/m'e eşit ve daha büyük olma olasılığını göstermektedir. Dalga gücünün kutu grafiği, maksimum 11,5 kW/m'de bir sınır göstermekte, her bir istasyonun maksimum dalga gücü değerleri görülememektedir. Bu nedenle, ilgilenilen bölgedeki tüm istasyonlardaki 31 yıllık süredeki maksimum dalga gücü değerleri, Şekil 4.6'daki orta panelde bir renk çubuğu olarak verilmiştir. Bu şekil, dalga gücünün medyan ve maksimum değerlerinin tüm alt bölgelerdeki tüm istasyonlarda açık denizden kıyı şeridine doğru azaldığını göstermektedir. Kutu grafiğindeki medyan değerleri ile Şekil 4.6'daki ortalama dalga gücü arasındaki farkın anormal derecede yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kutu grafiklerinin medyan değerinin hesaplanmasında dikkate alınmayan aykırılıklardır. Karaburun alt sayısal ağında, dalga gücünün ortanca değeri yaklaşık 0,6 – 1,2 kW/m ve ortalama dalga gücü doğu hattı KE hariç yaklaşık 2,4 – 8,2 kW/m ve maksimum için bu aralık 42 - 1015 kW/m'dir. Her ne kadar açık bir şekilde dalga gücünün batıdan doğuya doğru azaldığı görülse de en düşük dalga gücünün, dikkate alınan tüm istasyonlar arasında 13 m derinliğe sahip FB1 ve SD1'de meydana geldiği belirlenmiştir. Filyos alt sayısal ağında, en büyük ve en küçük ortanca dalga gücü değerleri FD5'te sırasıyla 0,8 kW/m ve FB2'de 0,1 kW/m olarak tespit edilmiştir. Maksimum dalga gücünün en küçük değerinin, medyan değerin bu alt sayısal ağda en düşük olduğu yerde meydana geldiği, ancak maksimum değerin medyan dalga gücünün en büyük olduğu istasyonda gözlenmediği belirlenmiştir. Bu alt sayısal ağda, maksimum dalga gücü (567 kW/m), medyan değeri 0,7 kW/m ve ortalaması 3,3 kW/m olan FA5 istasyonunda gözlenmiştir.

Sinop alt sayısal ağındaki istasyonlardaki enerji yoğunluğunun ortalanca ve maksimum değerleri Karaburun alt sayısal ağındaki istasyonlardaki değerlerden önemli ölçüde düşük olmasına karşın, Filyos sayısal ağındaki istasyonlardaki ortalanca ve maksimum dalga gücü değerleri Karaburun alt sayısal ağındaki değerlerden daha düşüktür. Ancak, Sinop alt sayısal ağının düşük enerjili bölgesindeki istasyonlarda yüksek değere sahip olan ortalanca enerji yoğunluğu değerinin, yüksek enerjili Karaburun bölgesindeki istasyonlardaki ortalanca değerlere benzer olduğu bulunmuştur.



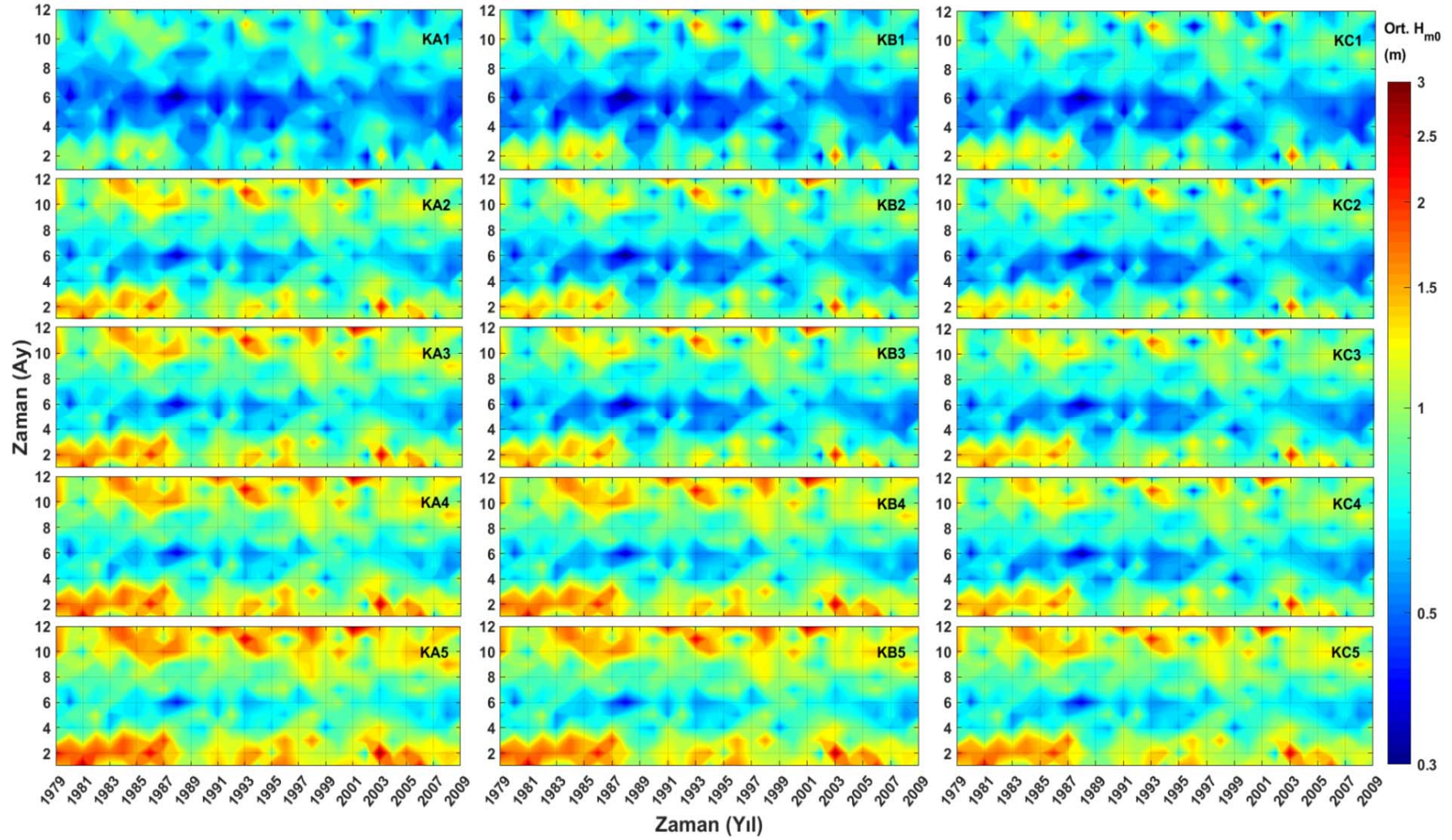
Şekil 4.6. 1979 – 2009 zaman aralığında 31 yıllık uzun dönemli SWAN tahminlerinden elde edilmiş Karaburun'dan Sinop'a kadar kıyı boyunca ve kıyıdan açık denize doğru 5 farklı derinlikte (5, 25, 50, 75 ve 100 m) kıyıya dik 13 hatta 62 istasyon için dalga gücünün kutu grafiği (aşağıdaki panel), kutu grafiği üzerindeki mavi çizgi ortalama dalga gücü, orta panelde renk çubuğu maksimum dalga gücü ve üst panelde dalga gücünün 10 kW/m'den daha yüksek olma olasılığı (kahverengi histogram)

Şekil 4.6'nın üst panelinde 10 kW/m'ye eşit ve daha büyük dalga gücü olasılığı, en yüksek frekansa Karaburun'un ilk 4 dik hattaki istasyonların sahip olduğunu ve en düşük frekansın ise Sinop'taki en batı dik hatta gözlemlendiğini göstermektedir. 100 m derinliğe sahip yerlerdeki dalga gücü karşılaştırıldığında, en enerjik KA5 istasyonunda %15, en az dinamik olan SD5 istasyonunda ise %5,7 gibi bir olasılıkla 10 kW/m'ye eşit ve daha yüksek dalga güçlerinin olduğu belirlenmiştir.

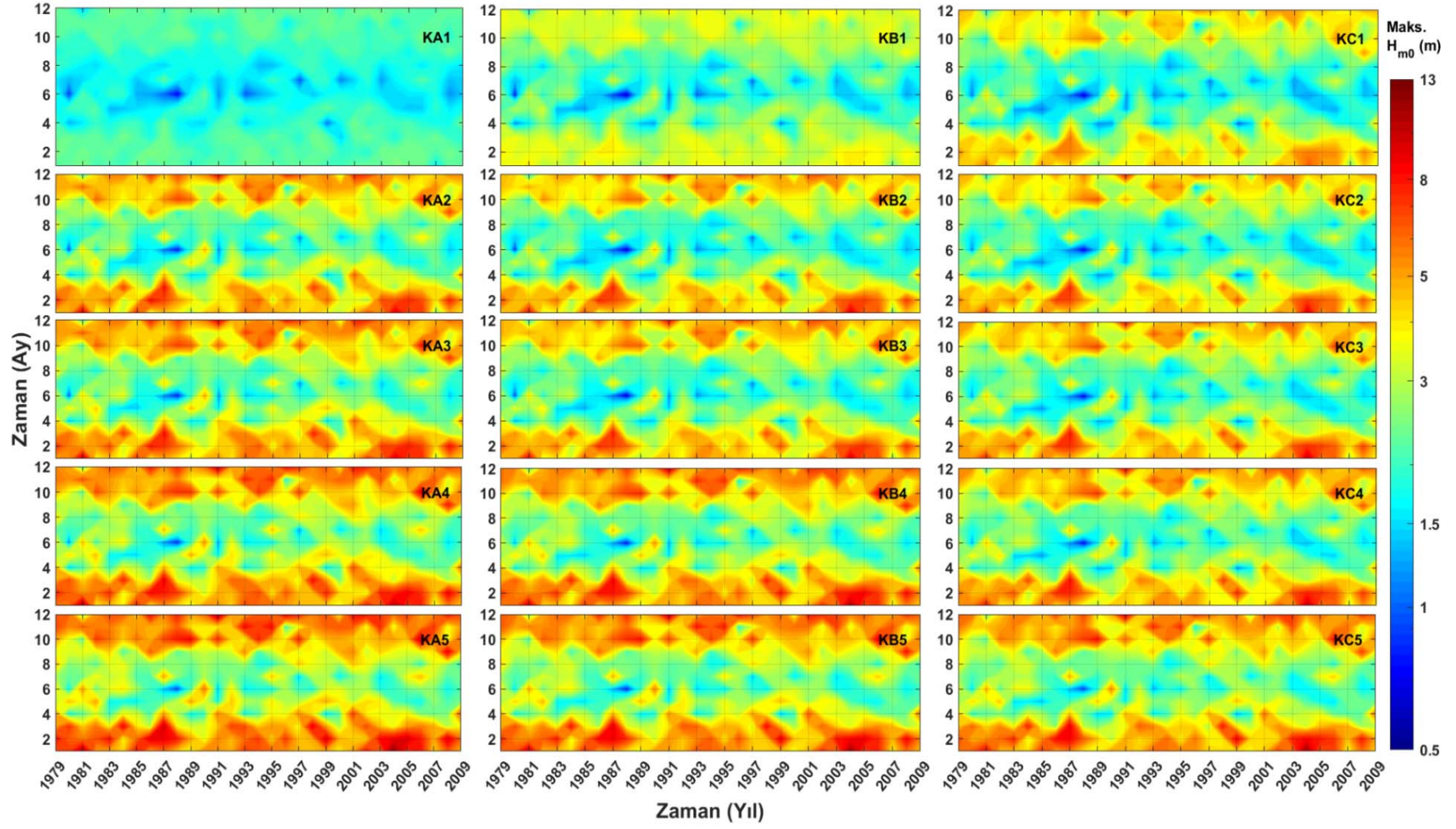
4.2. Dalga parametrelerinin yıl içi değişimleri

Uzun dönemli dalga ve dalga gücünün bazı istatistiksel göstergelerinin değerlendirmesinden sonra, bu parametrelerin yıl içi ve aylık değişimleri de ayrıca detaylıca analiz edilmiştir. Bu yıllık değişimin yanında iç-aylık değişimin de irdelenmesi anlamına gelmektedir. Bunun için, 31 yıllık periyotta her yılın ve ayın ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücünün değerleri 2 saatlik çözünürlüklü bir veri setinden elde edilmiş ve sonuçlar örnek olması açısından dalga enerji potansiyeli yüksek olan çalışma bölgesinin en batısındaki Karaburun sayısal ağının batısından doğusuna doğru ilk 3 hattı için aylık ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliğinin yıl içi değişimleri Şekil 4.7 ve 4.8'de ve aylık ortalama ve maksimum dalga gücünün yıl içi değişimleri Şekil 4.9 ve 4.10'da sunulmuştur. Dikkate alınan diğer bütün istasyonlar için aylık ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücündeki yıl içi ve aylık değişimleri Ek 1'de verilmiştir. Şekil 4.7'ye göre, KA, KC ve SA hatları sırasıyla çalışma alanındaki en enerjik bölgelerdir. Derinlik karşılaştırmalı olarak, KA hattındaki istasyonlar diğer hatlardaki istasyonlardan daha yüksek belirgin dalga yüksekliğine sahiptir. Genellikle, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat ayları en şiddetli dalgaların görüldüğü aylardır ve Haziran, 31 yıllık uzun vadeli dalga veri setinin sonuçlarına göre en sakin aydır. Yaklaşık 5 m derinliğe sahip FB1 istasyonu ve yaklaşık 100 m derinliğe sahip KA5 istasyonu hem yıl içinde hem de aylık analizlerde sırasıyla en sakin ve en dinamik deniz durumlarını sunmaktadır. Uzun vadeli veri setinde, KA5 istasyonu Şubat 2003'te (2,94 m) en yüksek ortalama H_{m0} değerini sunarken, 1989 yılı neredeyse bütün istasyonlar için dalga yüksekliği en düşük yılı temsil etmektedir. Şekil 4.8'e göre, en yüksek maksimum H_{m0} değeri, Ocak-2004'te KA5 istasyonunda 12,82 m'dir ve beklendiği gibi, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında tüm bölgelerde H_{m0} için en yüksek maksimum değerleri görülmektedir. Genel olarak, Karaburun'da bulunan istasyonlarda maksimum ve ortalama

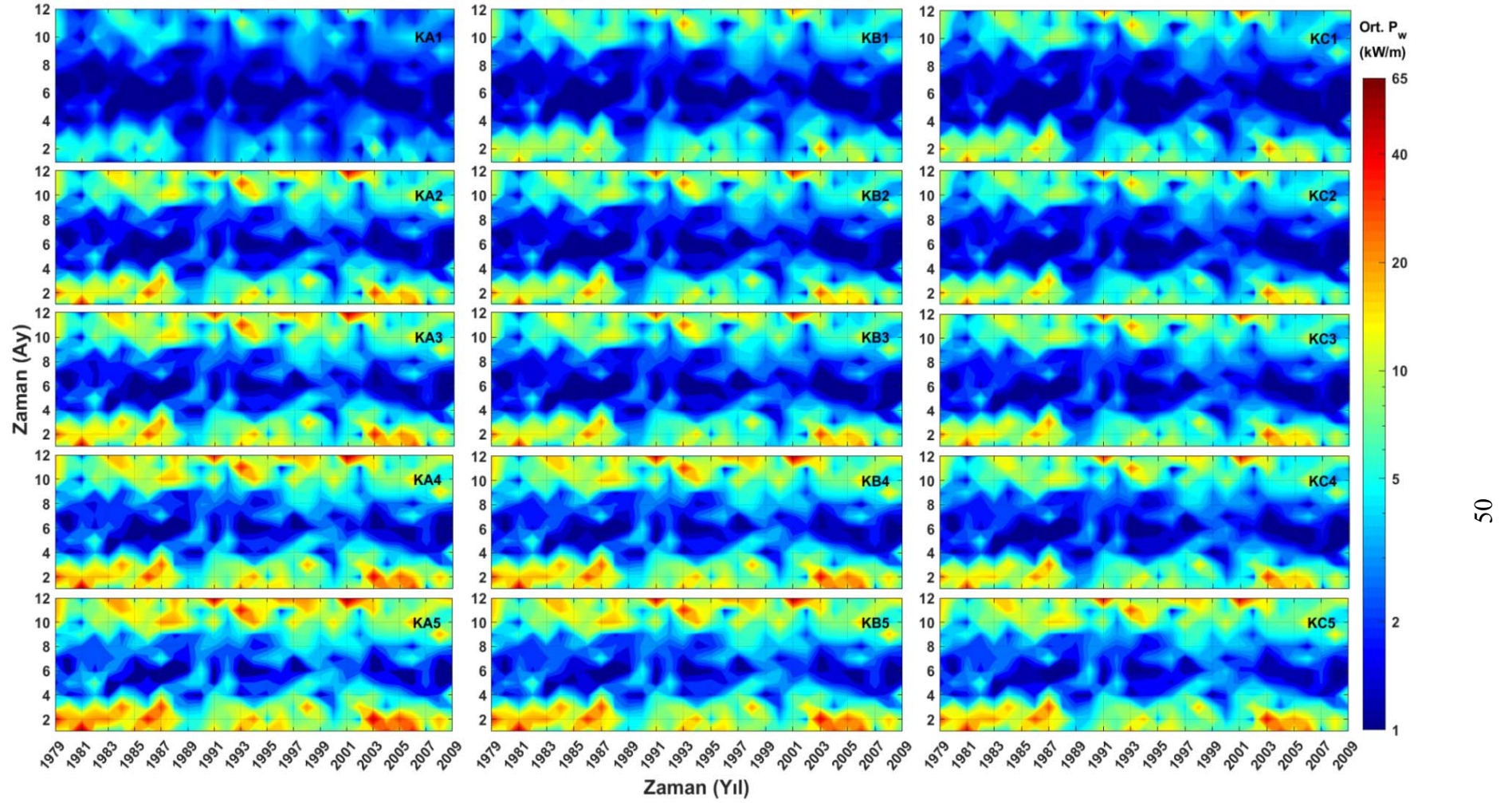
H_{m0} arasındaki fark Filyos ve Sinop'takinden daha yüksektir. SA hattı, hem Filyos hem de Sinop'taki en aktif hat olarak dikkat çekmekte ve ortalama ve maksimum H_{m0} değerleri arasında daha düşük bir fark oluşmakta, bu da dalga enerjisi dönüştürücülerinin bakımı ve ömrünü sürdürebilmesi için olumlu bir işaret sunmaktadır. Şekil 4.9 ve 4.10'a göre, ortalama ve maksimum dalga gücünün en şiddetli dalgalara sahip aylar olan Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında daha yüksek değerlerinin bulunduğu, Mart, Nisan, Eylül ve Ekim aylarında ortalama değerlerin ve Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise en düşük değerlerin olduğu görülmüştür. Dikkate alınan zaman aralığı boyunca, KA5 istasyonu Aralık 2001'de 64,8 kW/m ile en yüksek ortalama dalga gücünü sunmakta ve en yüksek maksimum dalga gücü değerini 1015 kW/m olarak Ocak 2004'te sunmaktadır. Ortalama H_{m0} açısından, 1979 - 1987 ve 2003 - 2006 kış mevsimleri diğer yıllardakilerden daha şiddetli deniz durumlarına sahiptir.



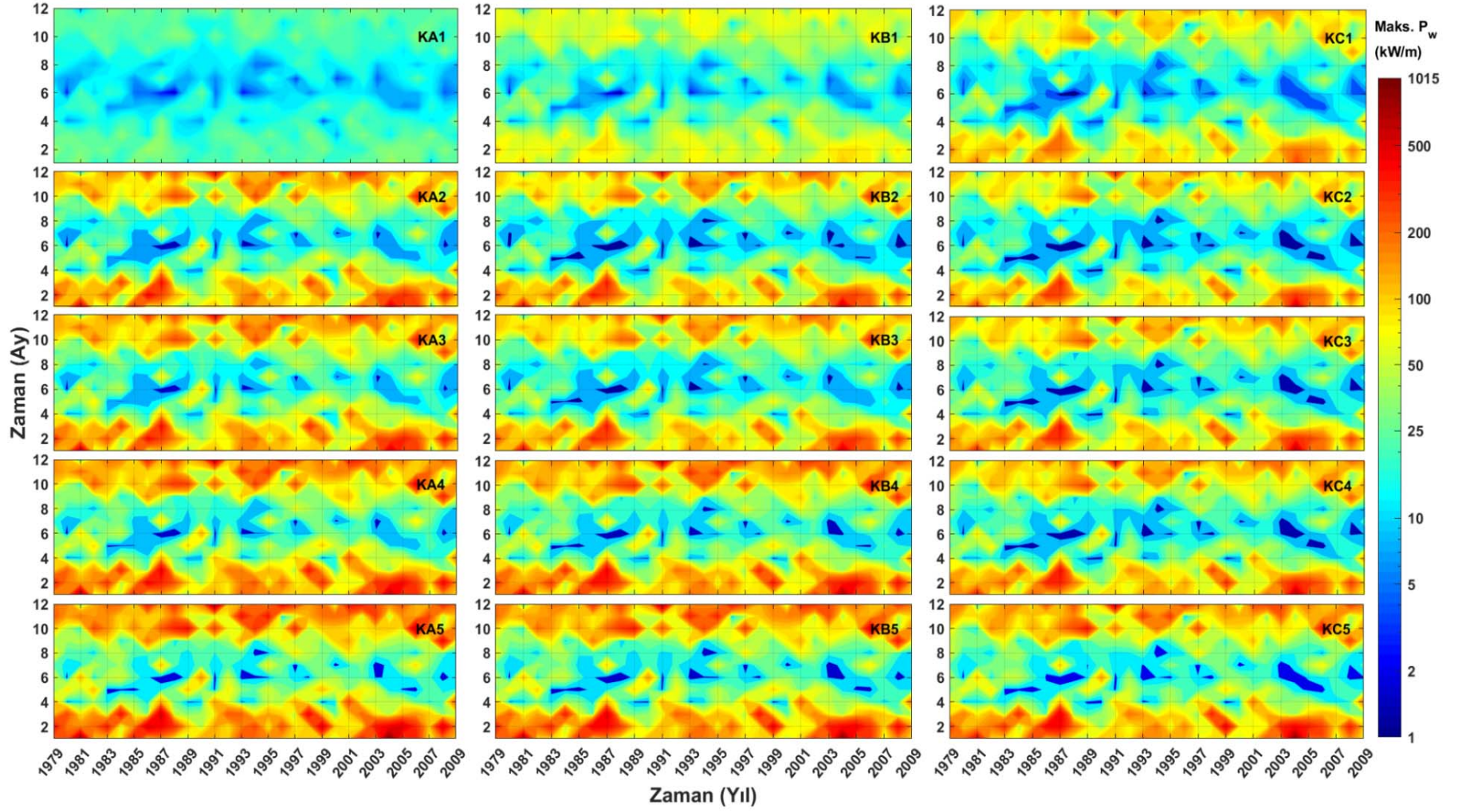
Şekil 4.7. Kıyı şeridine dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimleri



Şekil 4.8. Kıyı şeridine dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık maksimum H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimleri



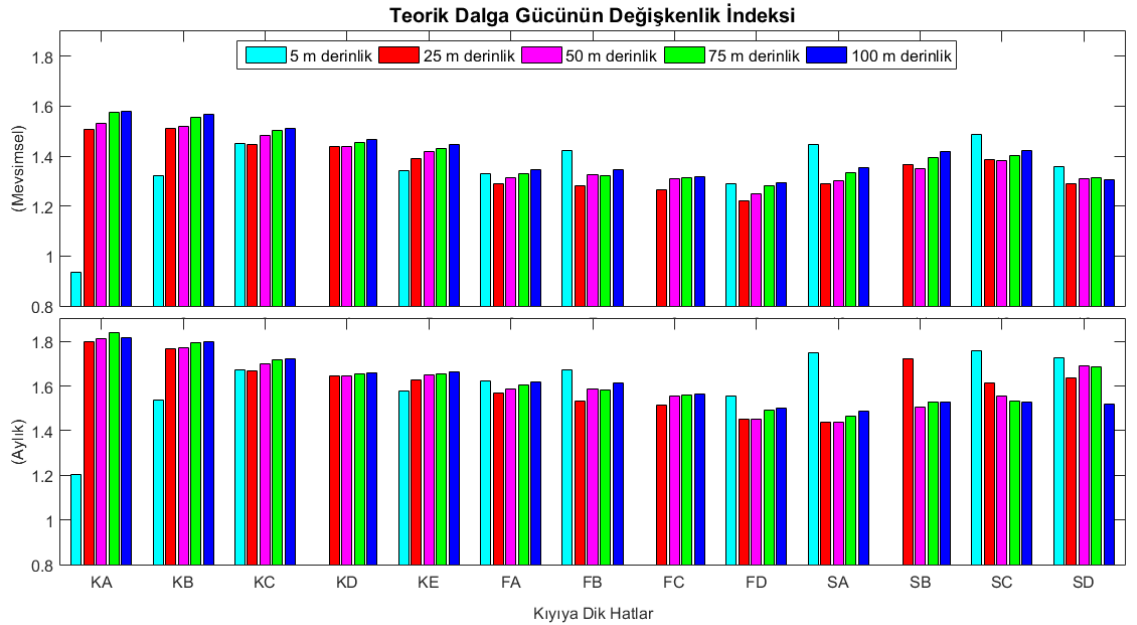
Şekil 4.9. Kıyı şeridine dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık ortalama dalga gücünün değerlerinin yıl içi değişimleri



Şekil 4.10. Kıyı şeridine dik olan üç hat üzerinde (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) yer alan 15 istasyon için 31 yıllık zaman aralığı (1979-2009) boyunca aylık maksimum dalga gücünün değerlerinin yıl içi değişimleri

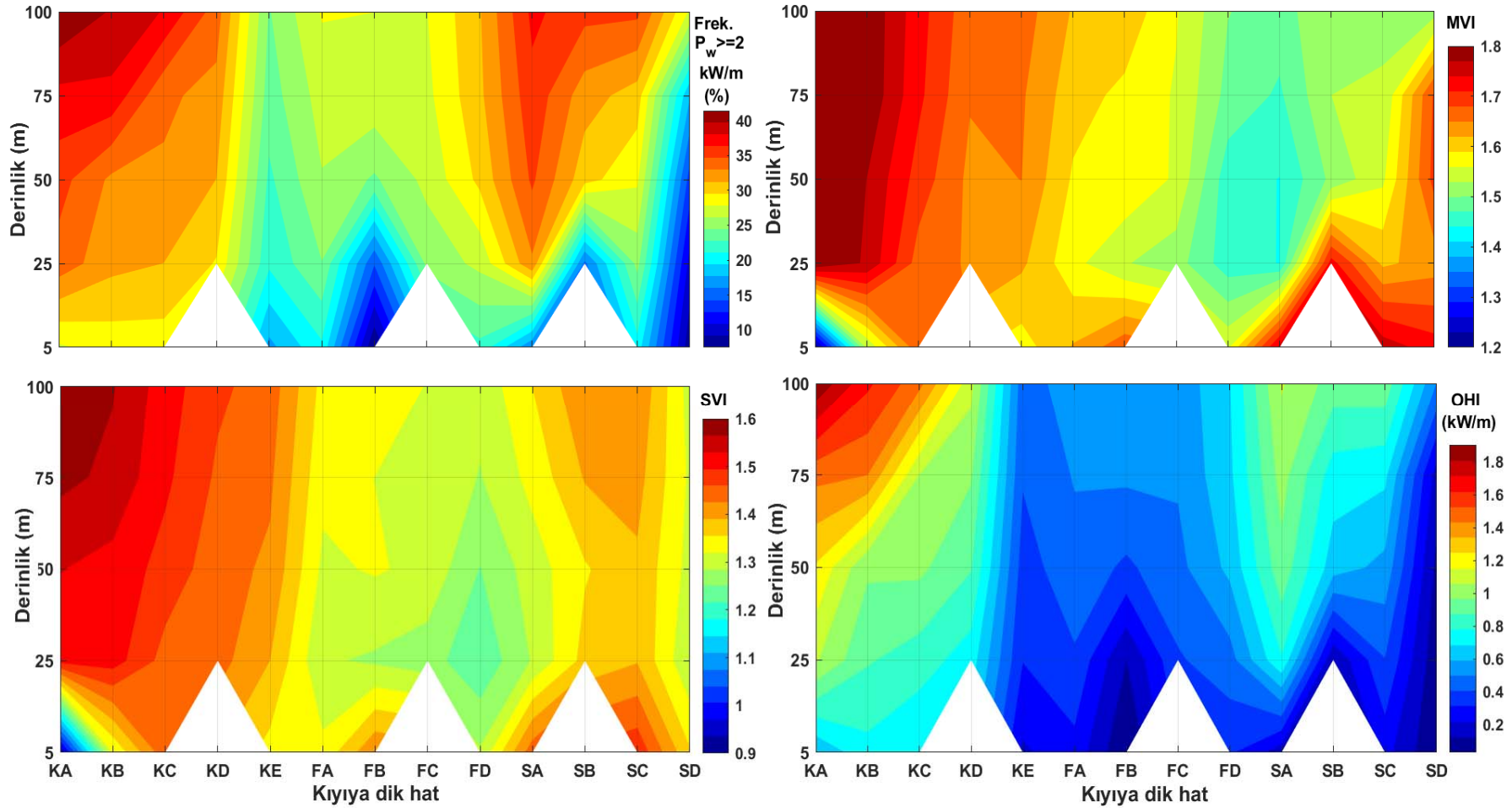
4.3. Dalga gücü değişkenlik indeksleri

Bir bölgedeki gelen dalgaların enerjilerinden enerji dönüşümünde dalga gücünün değişkenliğinin de büyük etkisi bulunmaktadır. Daha büyük aylık (mevsimsel) değişkenlik indeksi dalga enerjisinin daha büyük aylık (mevsimsel) değişimini temsil etmektedir. Bu durumda, daha düşük aylık (mevsimsel) değişkenlik indeksi daha kararlı enerji anlamına gelmektedir. Aylık (mevsimsel) değişkenlik indeksi, enerji yoğunluğu en fazla olan ayın (mevsimin) aylık (mevsimsel) ortalama dalga gücü değerinin aylık (mevsimsel) enerji yoğunluğu en düşük olan ayın (mevsimin) aylık (mevsimsel) dalga gücü değerinden farkının alınarak yıllık ortalama dalga gücüne oranlanması ile belirlenmektedir. Bu yüzden, açık denizden kıyıya doğru ve Karadeniz'in güney batı kıyı şeridi boyunca dalga gücünün aylık ve mevsimsel değişkenlik indeksleri hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.11'de sunulmuştur. Bu şekle göre, teorik dalga gücü yüksek olan istasyonlarda değişkenlik indekslerinin de yüksek ve teorik dalga gücü düşük olan istasyonlarda değişkenliğin de düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, Karaburun sayısal ağındaki istasyonlarda DED sistemlerinin kurulumunun daha uygun olduğunu ancak bu istasyonlarda kurulacak sistemlerin şiddetli fırtınalara direnebilecek duyarlılıkta kurulması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 4.11. Kıyıya dik olan 13 hat üzerinde 62 farklı nokta için 1979 - 2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli SWAN simülasyonu sonucundan elde edilen aylık ve mevsimsel değişkenlik indeksleri

Dalga enerjisi kaynaklarının değerlendirilmesinde, enerji seviyelerinin oluşma frekansları, enerji miktarını ölçmek için önemli bir kriterdir. Genel olarak, dalga gücünün yoğunluğu 2 kW/m'den yüksek olduğunda keşfedilmeye değer olduğu ve 20 kW/m'den yüksek olduğunda zengin bir enerji bölgesi olduğu anlamına gelmektedir (WMO 1998, Zheng ve ark. 2013). Dalga gücünün 2 kW/m'ye eşit veya daha büyük olma olasılığı, 62 istasyonun tümü için Şekil 4.12'de (sol üst panel) sunulmaktadır. Beklendiği gibi, en yüksek $P_w \geq 2$ kW/m frekansı Karaburun'da (KA5'te %50), ardından Sinop alt sayısal ağında batı istasyonlarındadır. Dalga gücünün değişkenliği, bir bölgeye gelen dalgaların enerjilerinden enerji dönüşümü üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir. Dalga gücünün aylık ve mevsimsel değişkenlik indeksleri açık denizden kıyı şeridine ve çalışma alanının güneybatı sahil şeridi boyunca hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.12'de (sağ üst ve sol alt grafikler) sunulmuştur. Sonuçlara göre, yüksek teorik dalga gücüne sahip alanların daha yüksek değişkenlik indeksine sahip olduğu ve daha düşük teorik dalga gücüne sahip alanların daha düşük değişkenliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu, dalga enerjisi dönüştürücü sistemlerinin kurulumunun Karaburun alt sayısal ağındaki istasyonlarda daha uygun olduğunu, ancak bu alanlara kurulacak sistemlerin şiddetli fırtınalara karşı duyarlı olacak şekilde kurulmasının gerektiğini göstermektedir. Beklendiği gibi, daha kısa bir zaman aralığı daha yüksek değişkenlik sağlamakta, bu nedenle aylık değişkenliğin mevsimsel değişkenlikten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bir diğer önemli parametre Kamranzad ve ark. (2017) tarafından geliştirilen Optimum Hotspot Identifier (OHI) 'dır. OHI (kW/m) parametresi ortalama dalga gücünü, 2 kW/m'den büyük dalga gücünün frekansını ve dalga gücünün aylık değişkenlik indeksini dikkate almaktadır. En uygun alan, en yüksek ortalama dalga gücü ve en yüksek frekans, ancak en düşük aylık değişkenlik ile ifade edilebilmektedir. Böylece OHI parametresi, dikkate alınan tüm istasyonlar için hesaplanmış ve Şekil 4.12'de (sağ alt panel) sunulmuştur. Bu şekilden de görülebileceği gibi, OHI parametresi çalışma alanında dalga enerjisinin çıkarımı için en uygun yerler olarak Karaburun'u, özellikle KA5'i, ardından KA4 ve KA3'ü ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 4.12. Karaburun'dan Sinop'a kadar kıyı çizgisine dik 13 hat boyunca seçilmiş 62 istasyon için 1979 – 2009 yılları arası 31 yıllık uzun dönemli SWAN simülasyonunun sonuçlarından elde edilmiş dalga gücünün 2 kW/m değerine eşit veya daha büyük olma olasılığının (üst sol grafik), dalga gücünün aylık değişkenlik indeksinin (MVI) (üst sağ grafik), mevsimlik değişkenlik indeksinin (SVI) (sol alt grafik) ve optimum şiddetli bölge indeksinin (OHI) (sağ alt grafik).

4.4. Mevcut dalga enerji dönüştürücü sistemlerin performansları

Bu bölümde, mevcut dalga enerji dönüştürücü sistemlerinin çalışma bölgesinde kurulabilecekleri yerlerde kurulmaları durumunda üretebilecekleri enerji hesaplanmıştır. Bunun için, 31 yıllık bir zaman aralığında dikkate alınan bütün istasyonlar için SWAN simülasyonlarından elde edilen dalga aktivitesini veren farklı dalga yüksekliği – periyodu ($H_s - T_p$, $H_s - T_{m02}$, $H_s - T_e$) aralığına düşen oluşma olasılıklarını gösteren matrisler öncelikle her yıl için ayrı ayrı elde edilmiştir. Örnek olması açısından Çizelge 4.4, enerji potansiyeli en yüksek istasyon için $H_s - T_e$ matrisini göstermektedir. Bu matris ile her bir DED sisteminin güç matrisleri (örnek için Çizelge 4.5’e bakınız. Tüm DED sistemlerinin güç matrisleri için Ek 2’ye bakınız) çarpılarak oluşturulan matristeki her bir dalga yüksekliği ve periyodu aralıklarına düşen değerlerin toplamaları Denklem 3.29’de gösterildiği gibi alınarak her bir yıldaki her bir istasyondaki her bir DED sistemi için elektrik gücü belirlenmiştir. Bu her yıl için belirlenen elektriksel dalga gücü değerleri bir yıllık zaman periyodunu temsil eden 8760 saat ile çarpılarak güç değeri enerjiye dönüştürülmüştür.

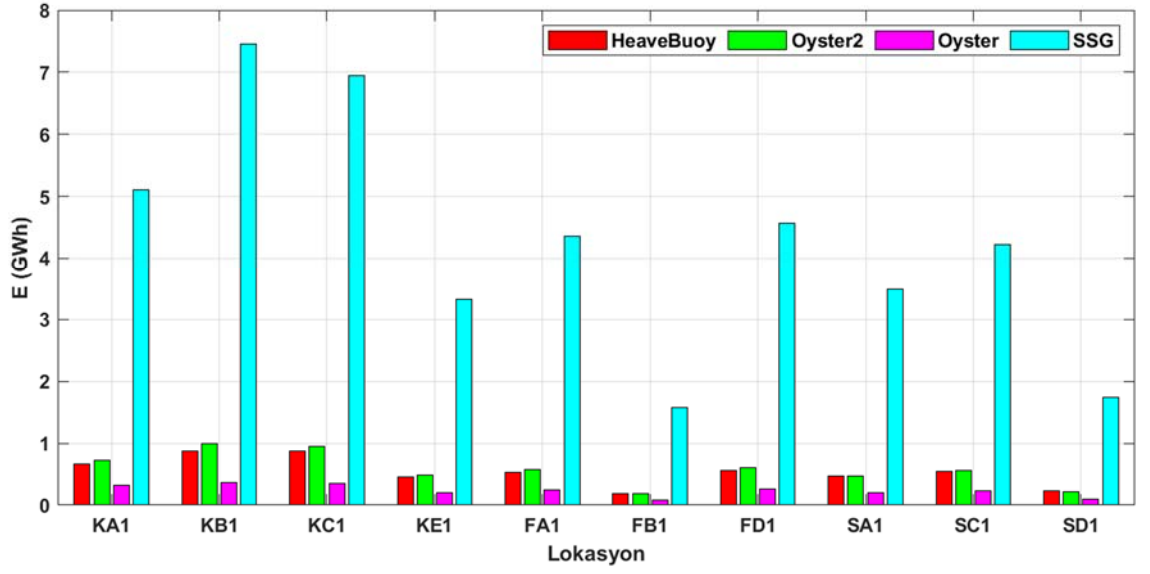
Çizelge 4.4. KA5 istasyonunda 2009 yılı SWAN simülasyon sonuçlarına dayanan belirgin dalga yüksekliği ve dalga enerji periyodunun ortak olasılık dağılımı

KA5_H _{m0} _T _{m-10} _2009																								
Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)	Dalga Enerji Periyodu T _{m-10} (s)																							
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5
	0,5	0	1	3	45	250	358	296	110	11	4	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,0	0	0	0	0	0	93	300	506	468	246	81	26	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,5	0	0	0	0	0	0	2	57	132	206	208	93	34	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	30	103	106	44	23	8	2	2	0	0	0	0	0	0
	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	48	97	30	14	9	8	0	0	0	0	0	0
	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	33	45	15	8	7	0	0	0	0	0	0
	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	20	4	9	1	0	0	0	0	0
	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	19	3	0	0	0	0	0	0
	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8	3	0	0	0	0	0
	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	4	3	0	0	0	0
	5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	0	1	0	0	0
	6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6	1	1	0	0	0
6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	1	1	1	0	0	
7,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	1	2	0	0	
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

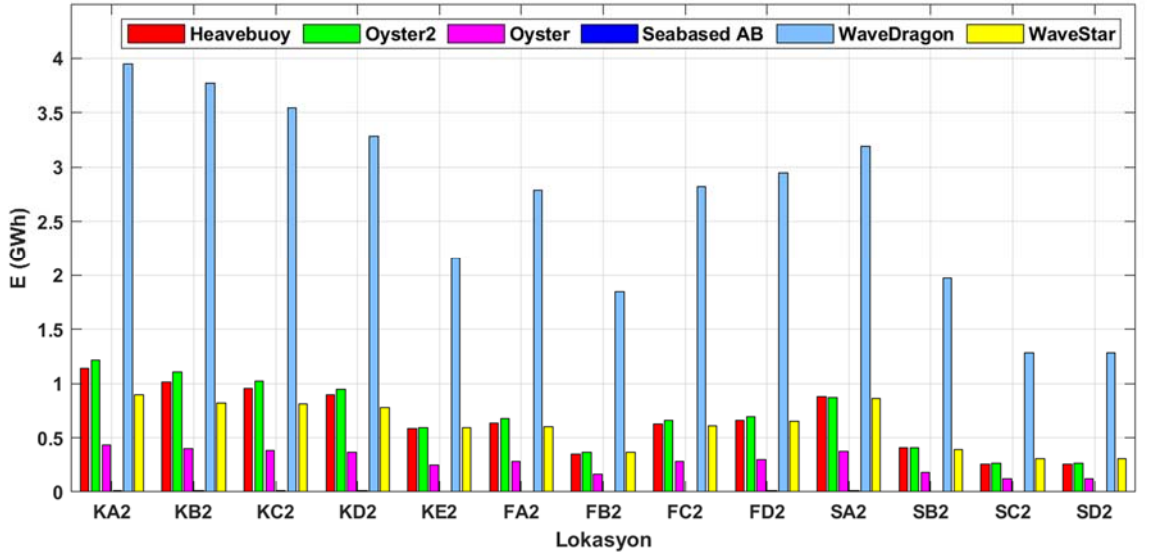
Çizelge 4.5. Pelamis dalga enerji dönüştürücü sisteminin güç matrisi

		Dalga Enerji Periyodu T _e (s)																
Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)		5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	0	0	0
	1,5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
	2,0	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	118	104	93	83	74	66	59
	2,5	89	138	180	212	231	238	238	230	218	199	181	183	146	130	118	103	92
	3	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	187	149	132
	3,5	0	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
	4	0	0	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
	4,5	0	0	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	359	338	300	266
	5	0	0	0	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
	5,5	0	0	0	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	476	446	395	355
	6	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
	6,5	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
	7	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584
	7,5	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622
	8	0	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	750	690

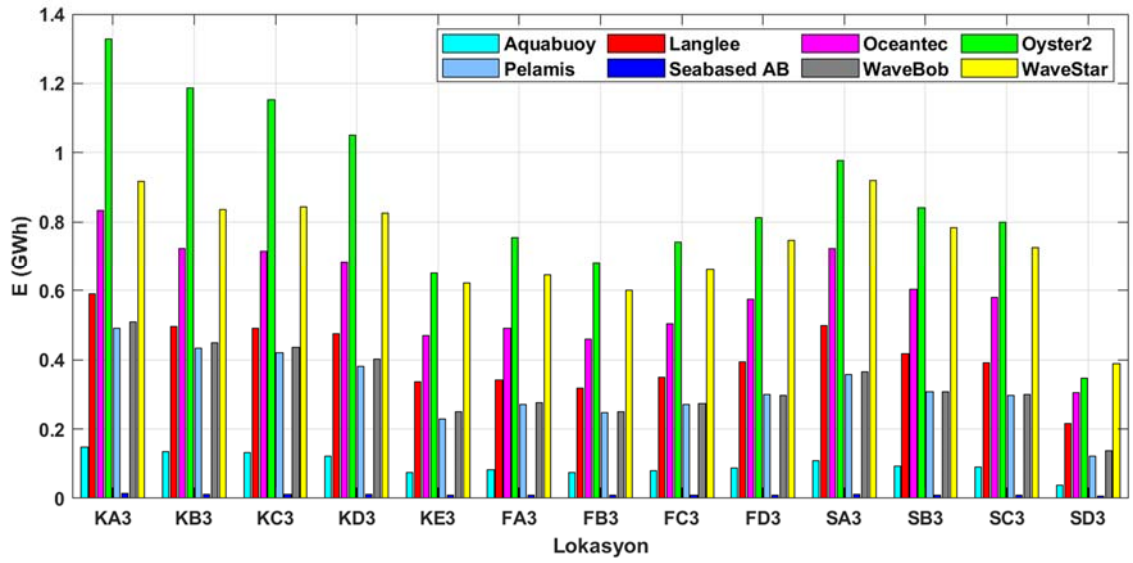
Yıllık toplam elde edilebilir dalga enerji miktarlarından yararlanılarak yıllık ortalama elde edilebilir toplam dalga enerji miktarları hesaplanmış ve farklı sistemlerden elde edilebilecek enerji miktarlarının mukayesesi yapılabilmektedir (Şekil 4.13 – Şekil 4.17). Bu şekillerden de görülebileceği gibi, kıyıya yakın bölgelerin (yaklaşık 5 m) tamamında SSG ve kıyıya paralel ikinci hatta (yaklaşık 25 m derinlikte) bütün istasyonlarda ise WaveDragon DED sistemlerinin kurulmaları durumunda diğer sistemlere kıyasla çok daha fazla enerji üretilebileceği belirlenmiştir. SSG DED sistemi ile minimum enerji yaklaşık 1,5 GWh ile FB1 istasyonunda ve maksimum enerji yaklaşık 7,5 GWh ile KB1 istasyonunda elde edilebilir durumdadır. WaveDragon DED sisteminden ise, 1,25 GWh elde edilebilir enerji ile minimum durum SC2 istasyonunda görülürken, 4 GWh elde edilebilir enerji ile maksimum durum KA2 istasyonunda oluşmaktadır. Kıyıya paralel üçüncü (yaklaşık 50 m) ve dördüncü (yaklaşık 75 m) hatlarda, sırasıyla Oyster2 ve Oceantec DED sistemlerinin diğer sistemlere kıyasla daha yüksek enerji sunabildiği ve bu sistemleri yine sırası ile WaveStar ve Langlee DED sistemlerinin yakından takip ettiği belirlenmiştir. Oyster2 DED sistemi ile maksimum elde edilebilir enerji yaklaşık 1,3 GWh ile KA3 istasyonunda görülmüşken onu KA3 ve SA3 istasyonlarındaki yaklaşık 0,9 GWh maksimum elde edilebilir enerji ile WaveStar DED sistemi takip etmiştir. Yaklaşık 0,9 GWh'lik bir elde edilebilir enerji ile Oceantec DED sistemi KA4 ve KB4 istasyonlarında maksimum üretim sunarken bunu Langlee DED sistemi yine bu istasyonlarda yaklaşık 0,62 GWh'lik bir maksimum elde edilebilir enerji ile takip etmektedir. Çalışma bölgesinde en derin istasyonları kapsayan beşinci (yaklaşık 100 m) hatta ise, Pontoon DED sistemi diğer sistemlere kıyasla bütün istasyonlarda bariz bir şekilde daha yüksek (maksimum KA5 istasyonunda yaklaşık 1,9 GWh ve minimum yaklaşık 1 GWh ile KE5 – FC5 arasındaki istasyonlarda) elde edilebilir enerji sunmaktadır. Buradan farklı derinliklerde farklı sistemlerin daha fazla enerji sunabildiği görülmektedir. Ayrıca, en derinden en sığ bölgeye doğru (5 farklı derinlikte) sırası ile AWS, AquaBuoy, Seabased AB, Seabased AB ve Oyster DED sistemleri ilgili oldukları kıyıya paralel hatlardaki bütün istasyonlarda diğer sistemlere kıyasla daha düşük enerjiyi sağlamaktadırlar. Konumlar dikkate alındığında ise, sığ sudan 75 m derinliğe doğru elde edilebilir maksimum enerjilerde düşüşün olduğu ancak 100 m derinlikte bir önceki derinlikten daha fazla enerjinin üretilebildiği de görülmüştür.



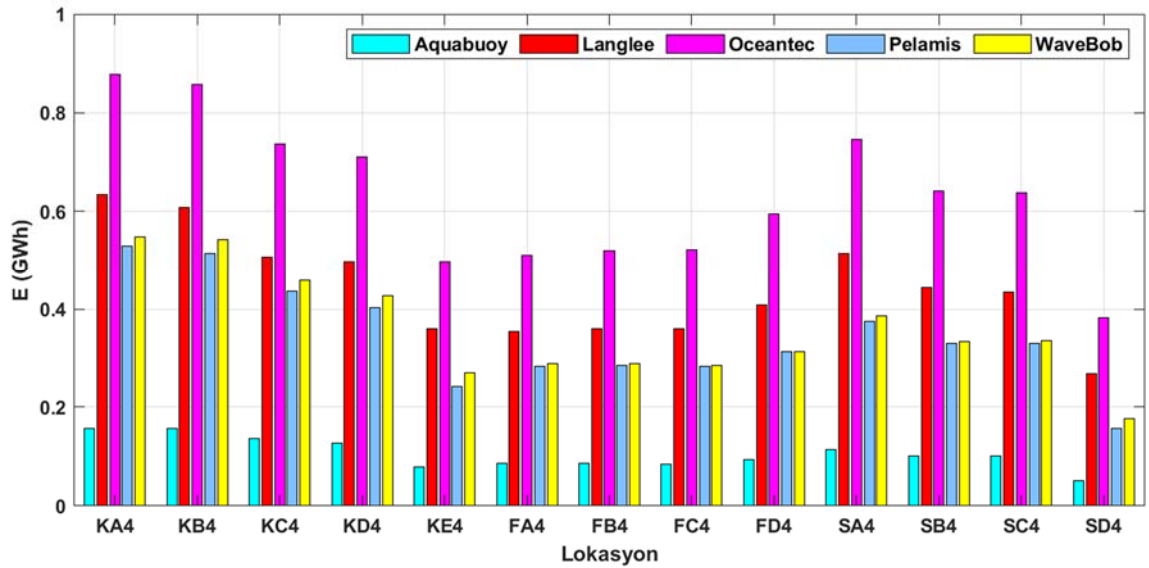
Şekil 4.13. Kıyıya paralel birinci hat (4 - 16 m derinlik) üzerinde olan 10 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).



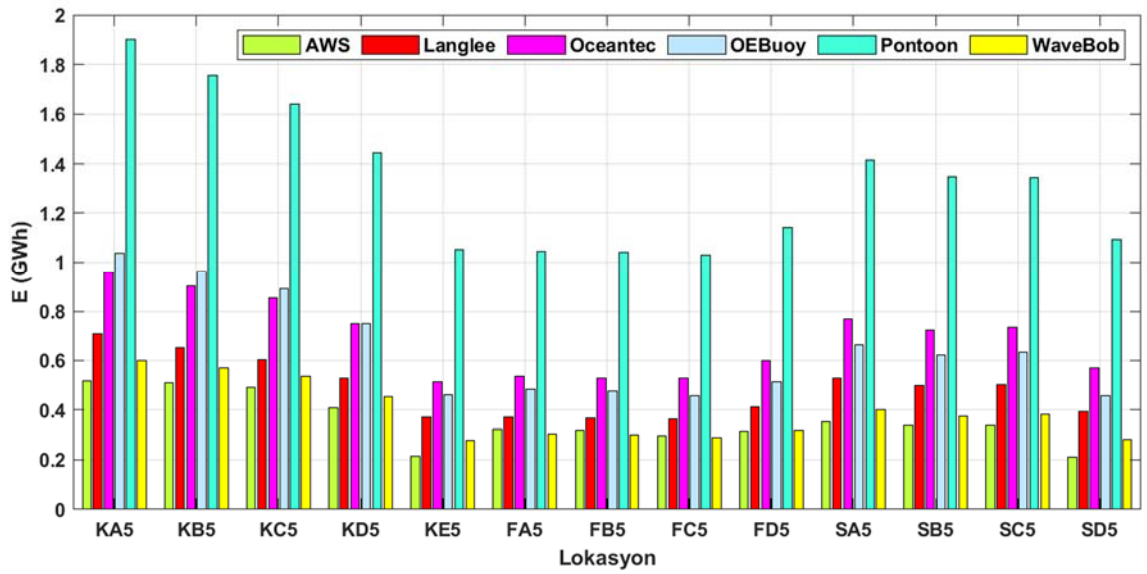
Şekil 4.14. Kıyıya paralel ikinci hat (22 - 31 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).



Şekil 4.15. Kıyıya paralel üçüncü hat (49 - 54 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).



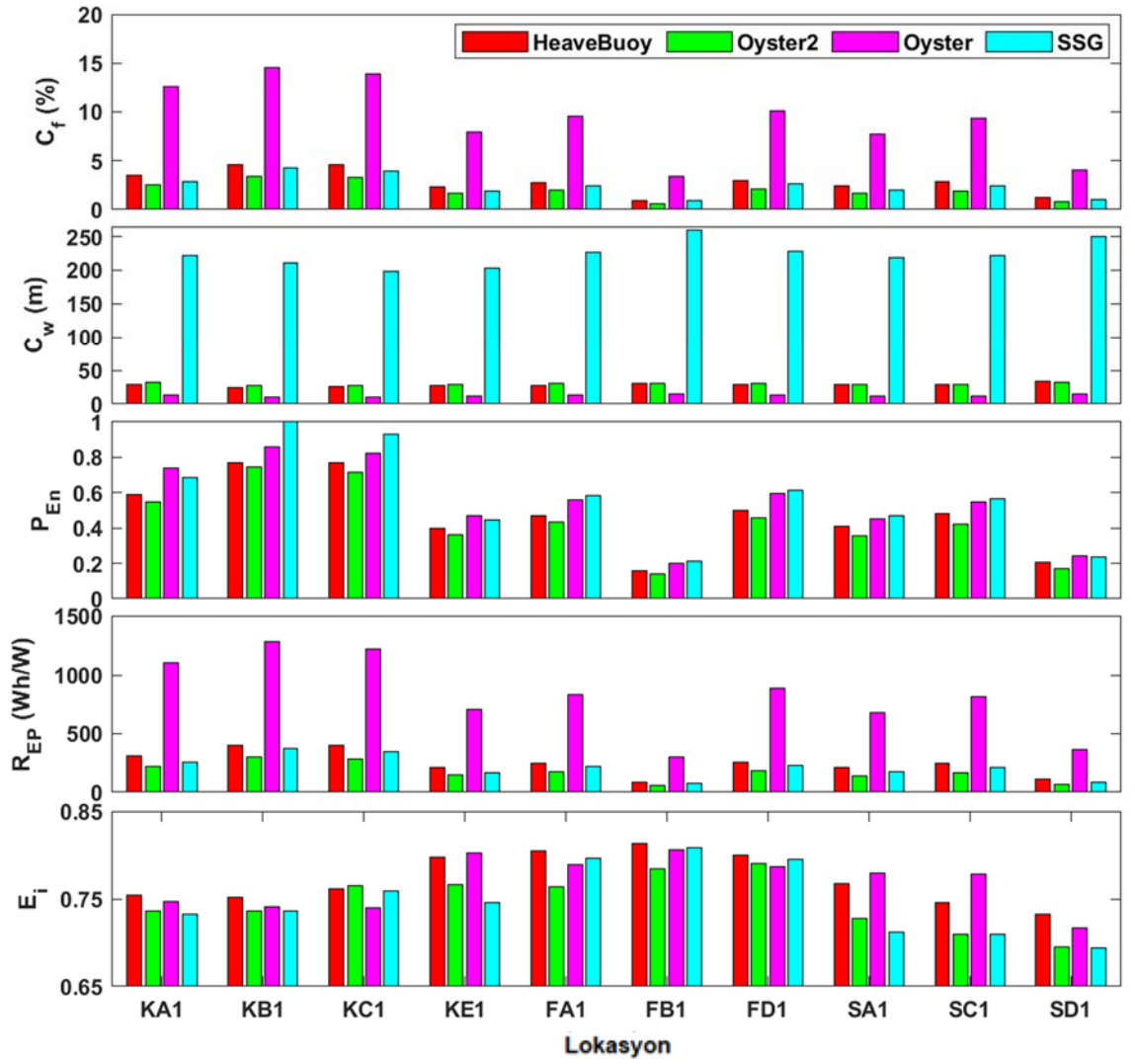
Şekil 4.16. Kıyıya paralel dördüncü hat (68 - 77 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).



Şekil 4.17. Kıyıya paralel beşinci hat (98 -106 m derinlik) üzerinde olan 13 istasyonda kurulabilecek DED sistemlerinden üretilebilecek yıllık ortalama toplam elde edilebilir dalga enerjisi (GWh).

Farklı DED sistemlerinin dikkate alınan istasyonlarda kurulması durumunda üretilebilecek elde edilebilir dalga enerjisinin belirlenmesinden sonra, bu sistemlerin bu istasyonlardaki çalışma performanslarını gösterir verimlilik endeksi ve dört farklı performans göstergesi de Denklemler 3.31 – 3.34 yardımı ile belirlenerek irdelenmiştir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, kıyıya paralel beş farklı derinlikteki hatlar için seçilen istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerinin kapasite faktörleri, zaptetme genişliği, normalleştirilmiş dalga gücü, REP değeri ve verimlilik indeksinin uzun dönemli yıllık ortalama değişimleri şeklinde Şekil 4.18 – 4.22’de sunulmuştur. Şekil 4.18, kıyı şeridi boyunca yaklaşık 5 m derinlikte 200 eşdeğer konum-DED-parametre kombinasyonunun sonuçlarını göstermektedir. Bu şeklin özeti, su derinliğindeki değişiklikler dikkate alındığında DED’lerin performansının KA1 konumundan SD1’e doğru düştüğünü göstermektedir. Ancak, şu anki durumda istasyonlar arasındaki derinlik farklılıkları neticesinde şu anki grafiklerde performansta kıyı boyunca dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Örneğin, KA1 (4 m derinlik) istasyonunu KB1 (13 m derinlik) istasyonu ile karşılaştırsak, seçilen tüm DED’lerin kapasite faktörlerinin değerleri KB1 konumunda daha yüksektir; bunun nedeni iki konum arasındaki 9 metrelik derinlik farkıdır. Sahil şeridi boyunca kapasite faktöründeki değişiklikler, tüm cihazlar için KB1 istasyonunda en yüksek ve SD1 istasyonunda en düşük düzeydedir. Bu kıyıya paralel hat

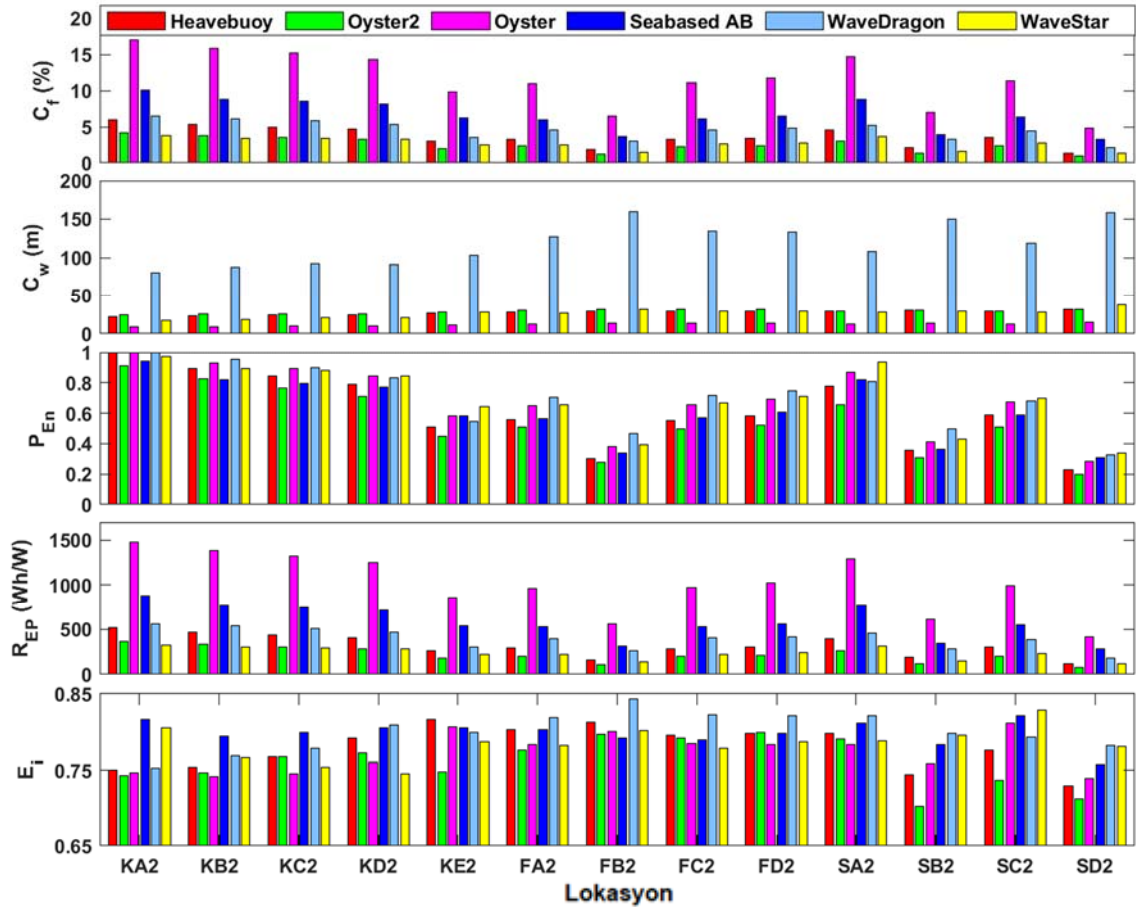
boyunca SSG DED sistemi en fazla enerji sunarken Oyster DED sistemi minimum FB1'de %3,44 ve maksimum KB1'de %14,58 ile diğer DED sistemlerine kıyasla (HeaveBuoy %0,95 – %4,55, Oyster2 %0,64 – %3,40 ve SSG %0,89 – %4,25) kapasitesinin daha fazlasını kullanmaktadır. Şekil 4.18'deki ikinci parametre, tahmin edilen enerjinin çıkartılabileceği dalga cephe genişliğini ifade etmektedir. Bu değer ne kadar düşükse o kadar ekonomik bir seçim yapıldığı anlamına gelmektedir. Kıyıya yakın hat boyunca seçilmiş istasyonlarda, SSG DED sisteminin farklı istasyonlarda 198 m'den 259 m'ye değişen değerlerde en yüksek zaptetme genişliği sunduğu, HeaveBuoy için bu değer 28,4 m'den 34 m'ye, Oyster2 için 27 m'den 32 m'ye ve Oyster için 10 m'den 15 m'ye değiştiği belirlenmiştir. Bu durumda, en avantajlı koşulu bütün istasyonlarda kapasite faktöründe olduğu gibi Oyster DED sisteminin sağladığı görülmektedir. Şekil 4.18'deki üçüncü parametre, bir cihazın güç üretim performansını coğrafi olarak karşılaştıran P_{En} parametresidir. Tüm DED sistemleri KB1 ve KC1'de bu parametreye göre en iyi performansı ve FB1 ve SD1 istasyonlarında en düşük performansı göstermektedirler. Dördüncü parametre R_{EP} (Wh/W), yıllık beklenen dalga gücünün ilgili cihazın nominal gücüne (güç matrisindeki maksimum değer) oranıdır. R_{EP} parametresi zaman biriminde ifade edilebilir, bu da DED'lerin normal çalışma süresinde belirli bir süre boyunca üretebileceği aynı miktarda enerjiyi sağlamak için nominal gücünde çalışması gereken toplam süreyi göstermektedir (saat/yıl). Bu durumda, R_{EP} oranı ayrıca rüzgar enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerjilerin karlılığının araştırılması için yaygın olarak kullanılan tam yük saatlerini veya eşdeğer saatleri sunmaktadır. Şekil 4.18'de bu parametre Oyster'i tüm lokasyonlarda en iyi üretici olarak göstermekte, KB1 istasyonunda 1277 Wh/W ile en yüksek ve FB1 istasyonunda 301 Wh/W ile en düşük değeri sunmaktadır. Son parametre, DED teknolojilerinin performansı hakkında önemli bir ayrıntı olan zaman değişimlerini ve kararlılık derecesini sunan verimlilik indeksidir. Bu indeks, diğer bölgelere kıyasla daha düşük dalga enerji potansiyeline sahip KE1, FA1, FB1 ve FD1 istasyonları, 31 yıllık uzun vadeli (1979 - 2009) dönemdeki dalga gücünün düşük değişkenliğinden dolayı tüm DED'lerinin kurulumu için daha uygun yerler olarak göstermektedir.



Şekil 4.18. Kıyıya ilk paralel hattaki (4 - 16 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri

Şekil 4.19, altı farklı DED sistemi için kıyı şeridinde paralel ikinci hat boyunca 13 noktada güç üretimi performans parametrelerindeki değişimleri göstermektedir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, tüm DED'lerin kapasite faktörleri SA2 istasyonu ve yakınlarında bir dalgalanma gösterse bile batıdan doğuya doğru azalmaktadır. Oyster (minimum %4,80 – maksimum %16,93) ve Seabased AB (minimum %3,25 – maksimum %10,03) sırasıyla kapasitelerini diğer makinelere göre daha fazla kullanan cihazlardır. WaveStar, minimum %1,31 ve maksimum %3,73 ile bu istasyonlarda kapasitesini en düşük kullanan cihazdır. WaveDragon DED sistemi, KA2'de 78 m'den FB2'de 167 m'ye değişen bir aralıkta diğer sistemlere kıyasla en fazla zaptetme genişliğine ihtiyaç duyan bir sistemdir. Bir nokta

emici olan Seabased AB en düşük zaptetme genişliği değerlerine (0,27 ila 0,52 m) ihtiyaç duymaktadır. P_{En} parametresine göre, KA2 istasyonu DED sistemlerinin kurulumu için en uygun ve FB2 ve SD2 istasyonları bu sistemlerin kurulumu için en az uygun olan istasyonlar olarak belirlenmiştir.

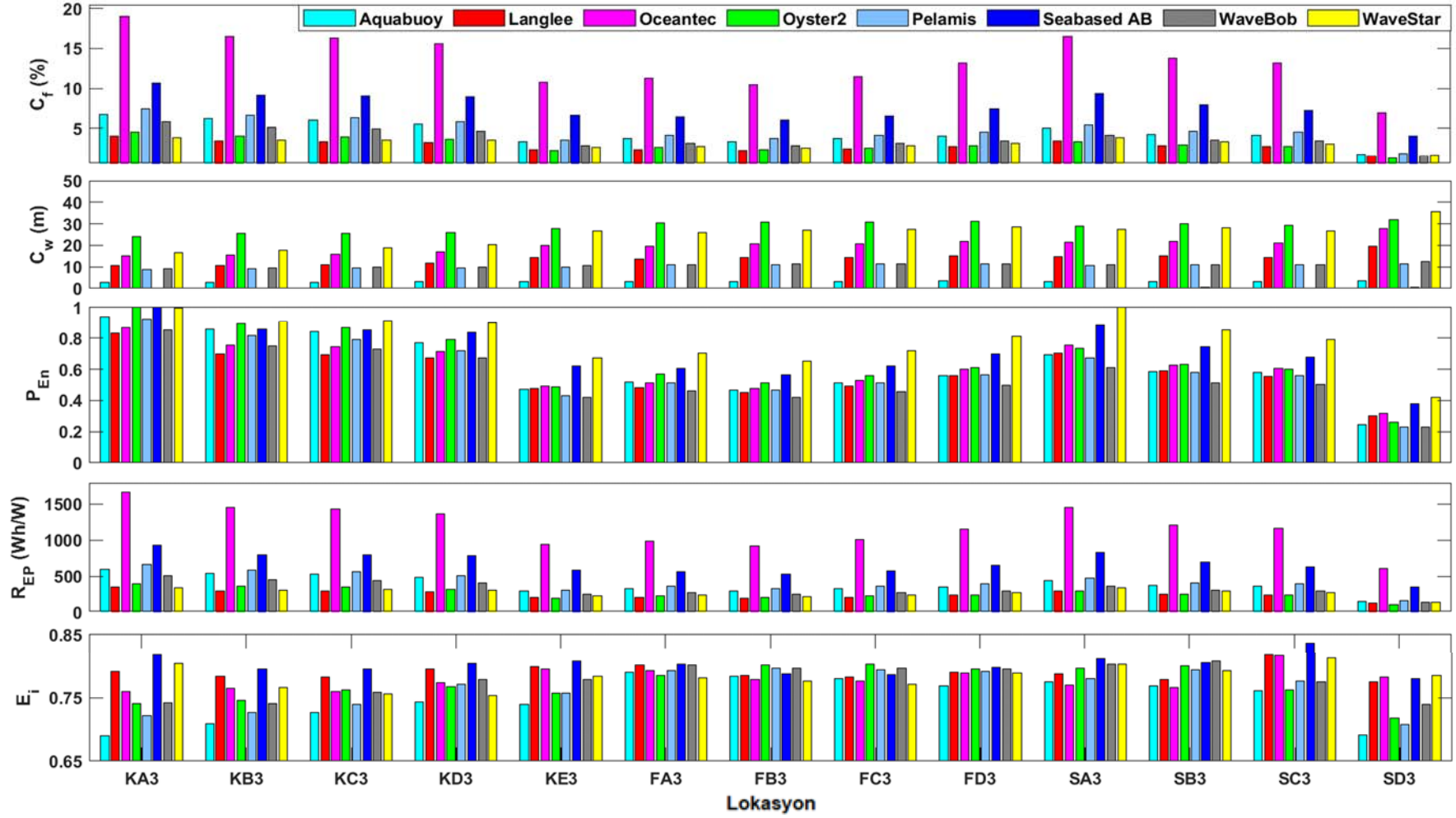


Şekil 4.19. Kıyıya paralel ikinci hattaki (22 - 31 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri

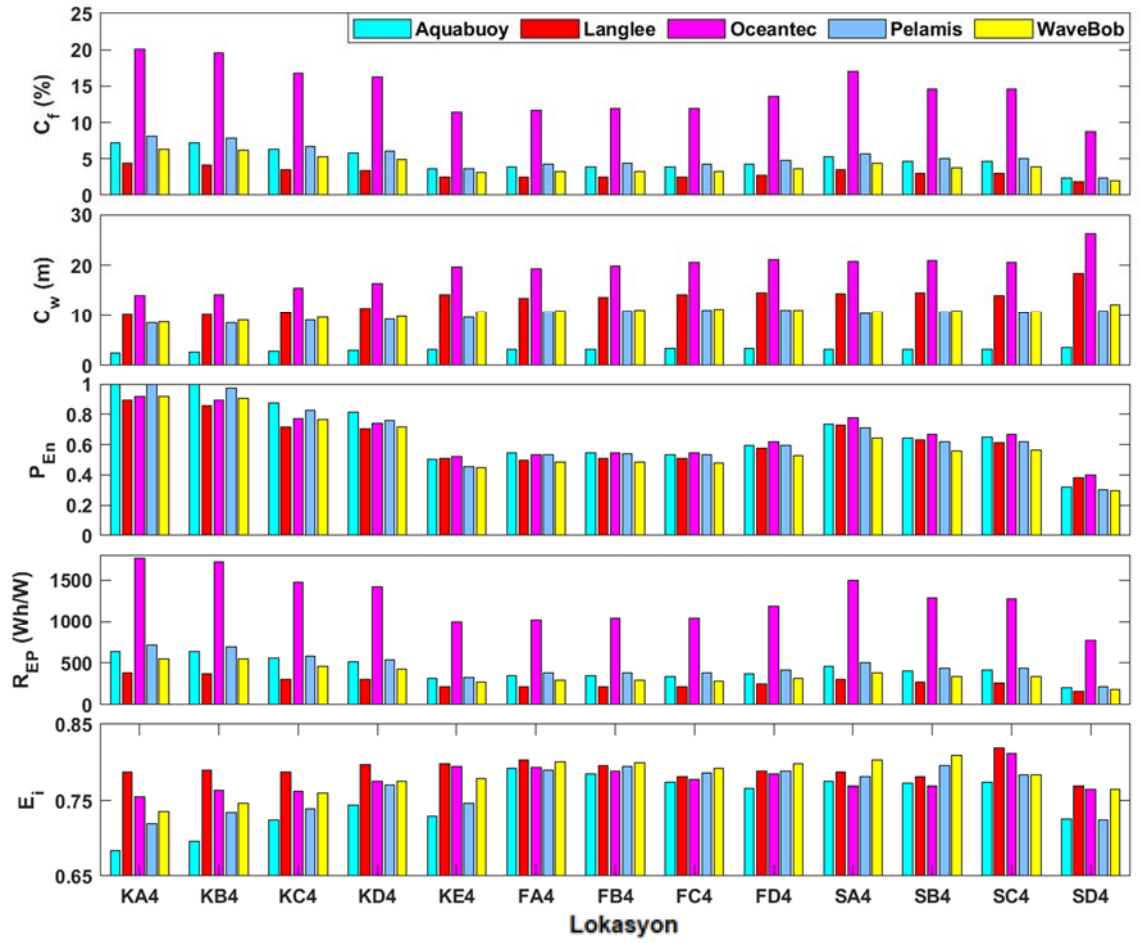
Şekil 4.19'deki R_{EP} parametresine göre, Oyster, Seabased AB ve WaveDragon DED sistemleri sırasıyla bu istasyonlarda en iyi performansı gösteren DED sistemleridir. Oyster DED sistemi bütün bu istasyonlarda 421 - 1483 Wh/W aralığında bir R_{EP} değeri sunarken Oyster2 yine aynı istasyonlarda 79 - 364 Wh/W aralığında bir R_{EP} değeri göstermektedir. Verimlilik indeksi genel olarak zaman içinde dalga enerjisi yoğunluğundaki değişimlerden fazlaca etkilenmektedir. Yaklaşık 25 m derinlikteki istasyonlarda KA2 en enerjik istasyondur ve diğer güç üretim performans parametrelerine

göre, bu hatta Oyster-KA2 en iyi uyum gösteren istasyon-DED eşleşmesidir. Ancak verimlilik indeksine göre, Oyster bu istasyonda WaveDragon-FB2 eşleşmesi kadar iyi rol oynayamamaktadır. Şekil 4.19'de verimlilik indeksine göre, en kararlı cihazlar Karaburun ve Sinop sayısal ağlarında Oyster ve Seabased AB ve FB2 istasyonundaki en yüksek verimlilik indeksi değerine sahip Filyos alt sayısal ağında WaveDragon DED sistemidir. Şekil 4.20, kıyı şeridi boyunca yaklaşık 50 m derinlikte 520 eşdeğer konum-DED-parametre kombinasyonunun sonuçlarını göstermektedir. Kapasite faktörü açısından bu derinlikteki bütün istasyonlarda Oceantec özellikle KA3 istasyonunda maksimum kapasitesini (yaklaşık %20'sini) kullanmakta, Langlee ve Oyster2 kıyıya paralel üçüncü hatta bütün istasyonlarda kurulabilecek diğer yedi DED sistemi ile karşılaştırıldığında SD3'te en düşük kapasite faktörüne sahip olmakta ve diğer sistemlere kıyasla kapasitelerinin en azını kullanmaktadır. DED sistemlerin zaptetme genişlikleri incelendiğinde, AquaBuoy'un 13 istasyon için en az zaptetme genişliğine ihtiyaç duyduğu ve WaveStar'ın özellikle SD3 istasyonunda en büyük zaptetme genişliğine sahip olması gerektiği belirlenmiştir. P_{En} 'e göre, KA3 istasyonu bu derinlikteki en iyi seçimdir ve SD3 istasyonu düşünülen tüm makineler için en sakın alandır. WaveStar, Oyster2 ve Seabased AB üçüncü paralel hattaki KA3 ve SA3 istasyonlarında en iyi durumlarını ortaya çıkarmaktadır. R_{EP} , Oceantec'i bütün istasyonlarda en iyi sistem olarak öne çıkarmakta ve Karaburun'daki KA3'te ve Sinop'taki SA3'te ise istasyonlar açısından kurulmasını öneren bir durum sunmaktadır. En son parametre olan verimlilik indeksine göre, özellikle tüm parametreler açısından ve tüm lokasyonlarda özellikle SC3 istasyonunda Seabased AB en etkili makinelerden biri olarak ön plana çıkmaktadır.

Şekil 4.21'in analizi, Şekil 4.20'de olduğu gibi, benzer coğrafi değişiklikleri rapor etmektedir. Oceantec özellikle KA4 konumunda en yüksek kapasite faktörünü sunmakta, ancak zaptetme genişliği açısından Oceantec özellikle SD4'te en kötü durumda olmaktadır. P_{En} , KA4'ü dördüncü paralel hatta yer alan bütün istasyonlar arasında en iyi, SD4 ise en kötü yer olarak bildirmektedir. R_{EP} ayrıca kapasite faktörüne göre ön plana çıkan Oceantec'i desteklemektedir. Verimlilik indeksi, özellikle SC4 istasyonunda Langlee, Oceantec ve WaveBob'u bu paralel hatta en yetenekli cihazlar ve AquaBuoy'u en istikrarsız cihaz olarak göstermektedir.

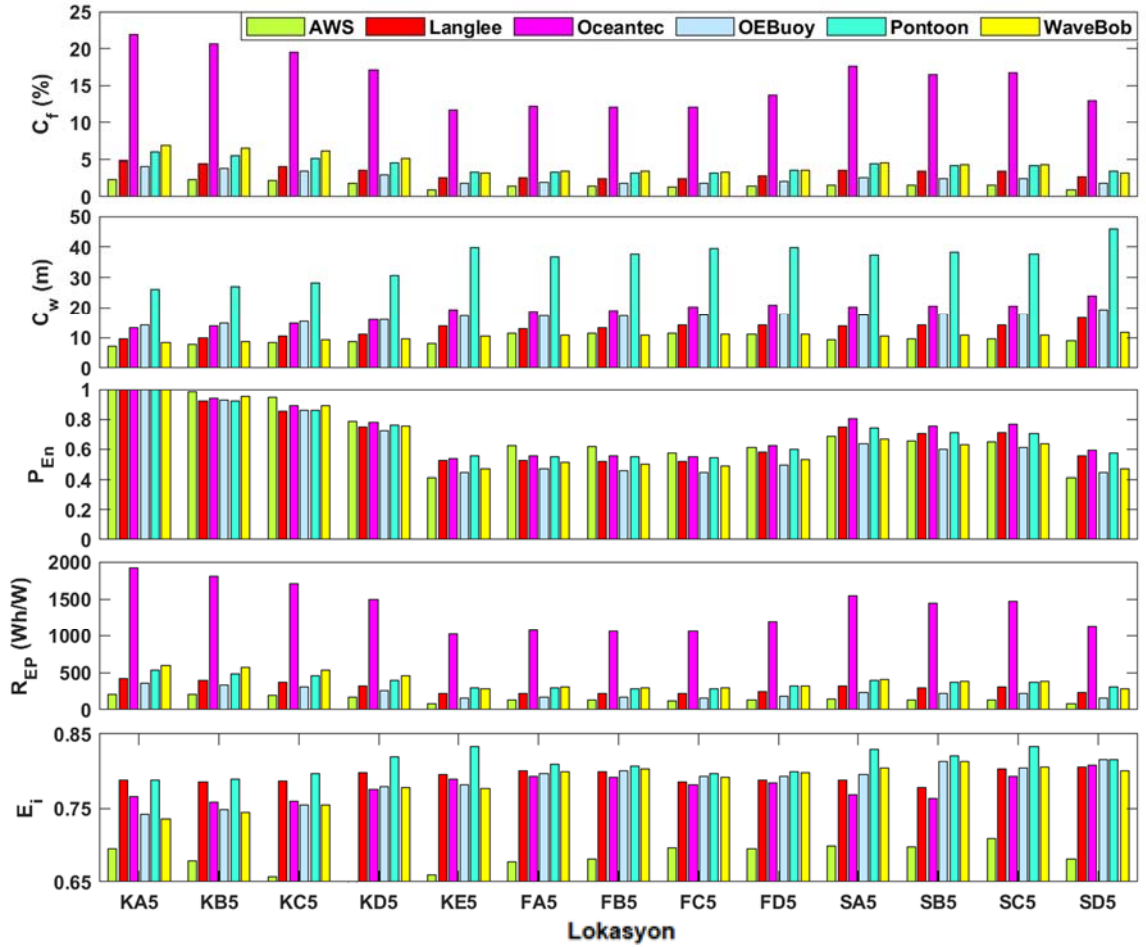


Şekil 4.20. Kıyıya paralel üçüncü hattaki (49 - 54 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri



Şekil 4.21. Kıyıya paralel dördüncü hattaki (68 - 77 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değerimleri

Çalışmada ele alınan en derin lokasyonlardan oluşan beşinci paralel hatta (Şekil 4.22), Şekil 4.21 ve 4.20'de olduğu gibi, Oceantec en yüksek kapasite faktörünü sunmakta ve çalışma alanındaki en yoğun yer olan KA5 lokasyonunda kapasitesinin ortalama %21,88'ini kullanmaktadır. Zaptetme genişliği perspektifinden bakıldığında, AWS ve WaveBob 13 istasyonun tamamında en iyi durumu sunarken, Oceantec diğer sistemlere kıyasla ortalama değerler almakta, ancak Pontoon en yüksek zaptetme genişliğine (maksimum değeri SD5'te 45,8 m) ihtiyaç duymaktadır. P_{En} , KA5, KB5, KC5 ve SA5'i sırasıyla en verimli yerler olarak önermektedir. R_{EP} yine Oceantec'in kurulumunu, özellikle KA5 ve KB5'te desteklemektedir. Verimlilik indeksi, Pontoon'u neredeyse 13 istasyonda en verimli ve AWS'i en verimsiz cihaz olarak bildirmekte ve özellikle Pontoon için KE5, SA5 ve SC5'i en verimli yerler olarak şiddetle önermektedir.



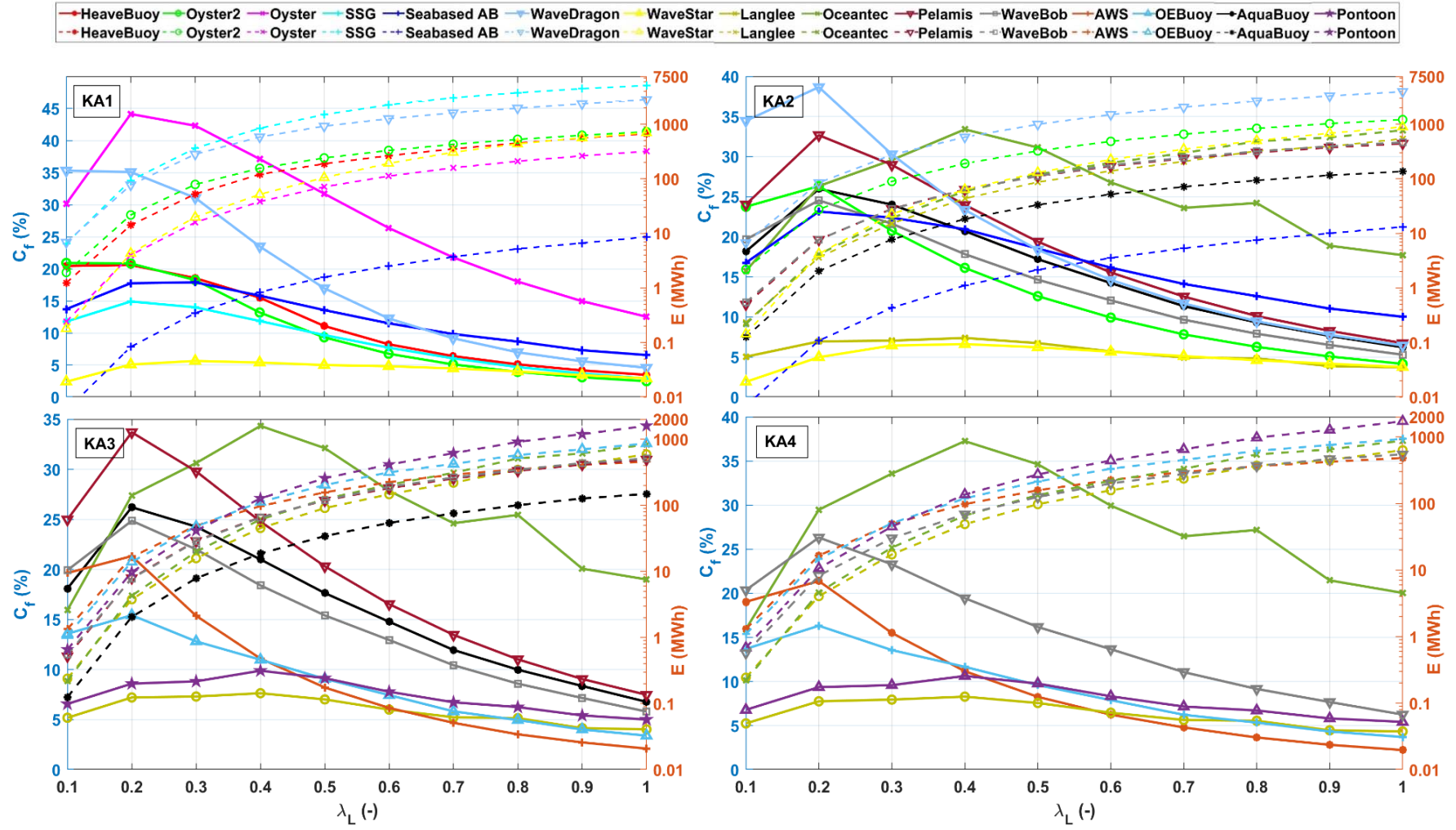
Şekil 4.22. Kıyıya paralel beşinci hattaki (98 - 106 m derinlik) istasyonlarda kurulabilecek dalga enerji dönüştürücülerin kapasite faktörleri C_f (ilk panel), zaptetme genişliği C_w (ikinci panel), normalleştirilmiş dalga gücü P_{En} (üçüncü panel), R_{EP} değeri (dördüncü panel) ve verimlilik indeksi E_i 'nin (beşinci panel) ortalama değişimleri

4.5. Ölçeklendirilmiş dalga enerji dönüştürücü sistemlerin performansları

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bir bölgedeki DED'lerin ölçeklendirilmesinin, mevcut DED'lerin seçilen bölgeye adapte olmasını ve en az yatırımla mümkün olan en iyi çıktıyı sunmasını sağlayan önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bütün istasyonlarda kurulabilecek bütün DED sistemlerinin güç matrisleri ve o istasyonlardaki dalga iklimlerini temsil eden belirgin dalga yüksekliği ve dalga periyodu matrisleri Denklem 3.35 – 3.37'de gösterildiği gibi küçültülmüştür. Daha sonra, Tüm DED sistemlerin küçültülmüş güç matrisleri ve küçültülmüş deniz durumu karakteristik matrislerin arasındaki ilişkiyi kullanarak tekrardan toplam yıllık güç (Denklem 3.29) ve yıllık enerji çıktıları (Denklem 3.30) hesaplanmıştır. 10 farklı ölçek faktörü durumunda elde edilebilecek elektrik güç değerleri ve kapasite faktörleri bulunmuş ve her cihazın

maksimum kapasite faktörüne sahip oldukları durumdaki enerji elde edilebilirlikleri tartışılmıştır. Örnek olarak ilgili kıyı bölgesinde DED kurulumu için en yüksek potansiyele sahip KA hattının dört noktasında 15 DED sistemlerinin 31 yıllık uzun vadeli dalga modeli sonuçlarına dayanarak elde edilen ortalama beklenen dalga enerjisi ve kapasite faktörünün ölçeklendirme oranına (λ_L) göre değişimleri Şekil 4.23'te gösterilmektedir. KA hattındaki dört farklı derinlikte 15 cihaz için tam ve optimum ölçek durumundaki nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h) sırasıyla Çizelge 4.6-4.9 'de özetlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.23'te KA1 noktasında (4 m derinlik), Oyster tüm ölçeklendirme aşamaları için diğer DED'lere göre daha yüksek C_f 'ü sunmakta olup ve pik ($C_f = \%44,1$) değerini tam ölçekli cihazının 0,2 ölçeğinde almakta ve sistemin boyutları büyüdükçe C_f 'ü azalmakta ve tam ölçekli Oyster'in C_f değeri $\%12,5$ olmaktadır. Oyster optimum ölçeğinde ortalama 6260,8 saat/yıl, tam ölçeğinde ise 4238,6 saat/yıl çalışabilmektedir. Tam ölçeğin nominal kapasitesi (R_f) sıfır, optimum ölçeğinde ise $\%17,17$ 'dir (Çizelge 4.6). Ancak, enerji üretimi perspektifinden bakıldığında SSG, bu ölçekte faaliyet gösteren diğer cihazlara kıyasla tüm ölçekler için daha yüksek üretim sağlamaktadır. Bu da 5106,6 MWh'lik en yüksek enerji çıktı miktarını tam ölçekli DED sisteminde $\%2,9$ 'lük bir C_f ile üretirken, maksimum C_f değeri 93,5 MWh enerji çıkışı ile 0,2 ölçeğinde gerçekleştirilmektedir. SSG, 4126,6 saat/yıl tam ölçekli olarak çalışırken, optimum ölçekte 5555,5 saat/yıl enerji üretimini sıfırdan büyük olacak şekilde sağlamaktadır. Tam ölçekli SSG, yıl boyunca bu cihazın nominal gücünün $\%90$ 'ından daha yüksek verimle çalışamazken, küçültülmüş sistem, nominal gücünün $\%90$ 'ından daha büyük bir güçle yılın $\%1,87$ 'sinde çalışabilmektedir.



Şekil 4.23. 15 farklı DED'lerinin ortalama (31 yıllık uzun vadeli dalga modeli) beklenen dalga enerjisi (MWh, kesik çizgiler, sağ y-ekseni) ve C_f (%), sürekli çizgiler, sol y-ekseni) KA1-KA4 konumları için ölçeklendirme faktörüne (λ_L) karşı değişimi

Çizelge 4.6. KA1 (4 m derinlik).konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED’ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)

KA1	HeaveBuoy		Oyster2		Oyster		SSG		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1,0	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,3	1,0	0,1	1,0	0,3
P_n (kW)	2192,0	7,8	3332,0	1,1	290,0	1,0	20000,0	71,6	15,0	0,2	7000,0	2,2	2709,0	40,1
C_f (%)	3,5	20,6	2,5	20,9	12,5	44,1	2,9	14,9	6,6	17,9	4,6	35,3	2,9	5,7
P (kW)	76,4	1,6	83,0	0,2	36,4	0,5	582,9	10,7	1,0	0,0	320,9	0,8	79,7	2,3
E (MWh)	669,4	14,2	727,5	1,9	318,7	4,0	5106,6	93,5	8,6	0,3	2811,5	6,8	698,2	19,8
R_f (%)	0,00	0,02	0,00	0,33	0,00	17,17	0,00	1,87	0,00	0,00	0,00	15,71	0,00	0,09
O_h (Sa)	4214,9	6877,2	4579,8	5058	4238,6	6260,8	4126,6	5555,5	4584,4	7504,4	5122,5	5360,6	4579,8	5695,8

Çizelge 4.7. KA2 (25 m derinlik). konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED’ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)

KA2	AquaBuoy		Oyster2		Langlee		Oceantec		Pelamis		WaveBob		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,4
P_n (kW)	250,0	0,9	3332,0	11,9	1665,0	67,4	500,0	20,2	750,0	2,7	1000,0	3,6	15,0	0,1	7000,0	25,0	2709,0	109,7
C_f (%)	6,2	26,0	4,2	26,3	3,7	7,4	17,7	33,4	6,8	32,7	5,3	24,5	10,0	23,2	6,4	38,7	3,8	6,6
P (kW)	15,6	0,2	138,5	3,1	62,0	5,0	88,6	6,8	50,6	0,9	53,0	0,9	1,5	0,0	451,1	9,7	102,0	7,3
E (MWh)	136,4	2,0	1213,1	27,5	543,1	43,6	775,8	59,2	443,5	7,7	464,0	7,7	13,2	0,1	3951,3	84,8	893,1	63,6
R_f (%)	0,78	2,07	0,14	1,52	0,00	0,00	2,77	4,01	0,31	3,16	0,31	1,11	0,00	0,00	0,58	18,92	2,01	3,68
O_h (Sa)	2911,7	5706,1	5577,1	7042,3	5674,4	7795,7	3495,4	6646,8	2917,9	6726,9	5674,4	6813,7	5674,4	6813,7	4717,5	7010,8	5266,9	6119,2

Çizelge 4.8. KA3 (54 m derinlik). konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED’ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)

KA3	AquaBuoy		Langlee		Oceantec		AWS		Pelamis		OEBuoy		WaveBob		Pontoon	
Ölçek	1,0	0,2	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,4
P_n (kW)	250,0	0,9	1665,0	67,4	500,0	20,2	2470,0	8,8	750,0	2,7	2880,0	10,3	1000,0	3,6	3619,0	146,5
C_f (%)	6,8	26,2	4,0	7,6	19,0	34,3	2,1	21,3	7,5	33,7	3,4	15,4	5,8	24,9	5,0	9,9
P (kW)	17,0	0,2	67,2	5,2	95,0	6,9	52,2	1,9	56,1	0,9	98,2	1,6	58,1	0,9	181,5	14,5
E (MWh)	148,5	2,1	588,9	45,1	832,3	60,9	457,3	16,5	491,7	7,9	860,3	13,9	509,2	7,8	1590,3	126,9
R_f (%)	1,18	2,53	0,00	0,00	4,59	5,22	0,00	2,24	0,66	3,92	0,00	0,00	0,43	1,48	0,00	0,00
O_h (Sa)	2987,1	5627,3	5788,5	7809,3	3516,8	6578,2	3563,8	6519,1	2968,6	6705,8	6722,8	6722,8	5788,5	6722,8	5784,3	7741,7

Çizelge 4.9. KA4 (75 m derinlik). konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED’ler için ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve yıllık çalışma saatleri (O_h)

KA4	AWS		Langlee		Oceantec		OEBuoy		Pontoon		WaveBob	
Ölçek	1,0	0,2	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,2	1,0	0,4	1,0	0,2
P_n (kW)	2470,0	8,8	1665,0	67,4	500,0	20,2	2880,0	10,3	3619,0	146,5	1000,0	3,6
C_f (%)	2,2	21,4	4,3	8,3	20,1	37,3	3,7	16,3	5,4	10,6	6,3	26,3
P (kW)	55,2	1,9	72,4	5,6	100,3	7,5	106,9	1,7	196,4	15,6	62,6	0,9
E (MWh)	483,5	16,6	633,8	48,9	878,2	66,0	936,7	14,7	1720,9	136,4	548,2	8,3
R_f (%)	0,00	2,08	0,00	0,00	6,19	8,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	2,36
O_h (Sa)	3523,9	6455,9	6044,8	7876	3503,4	6587	6044,8	6648,4	6024,6	7786,8	6044,8	6648,4

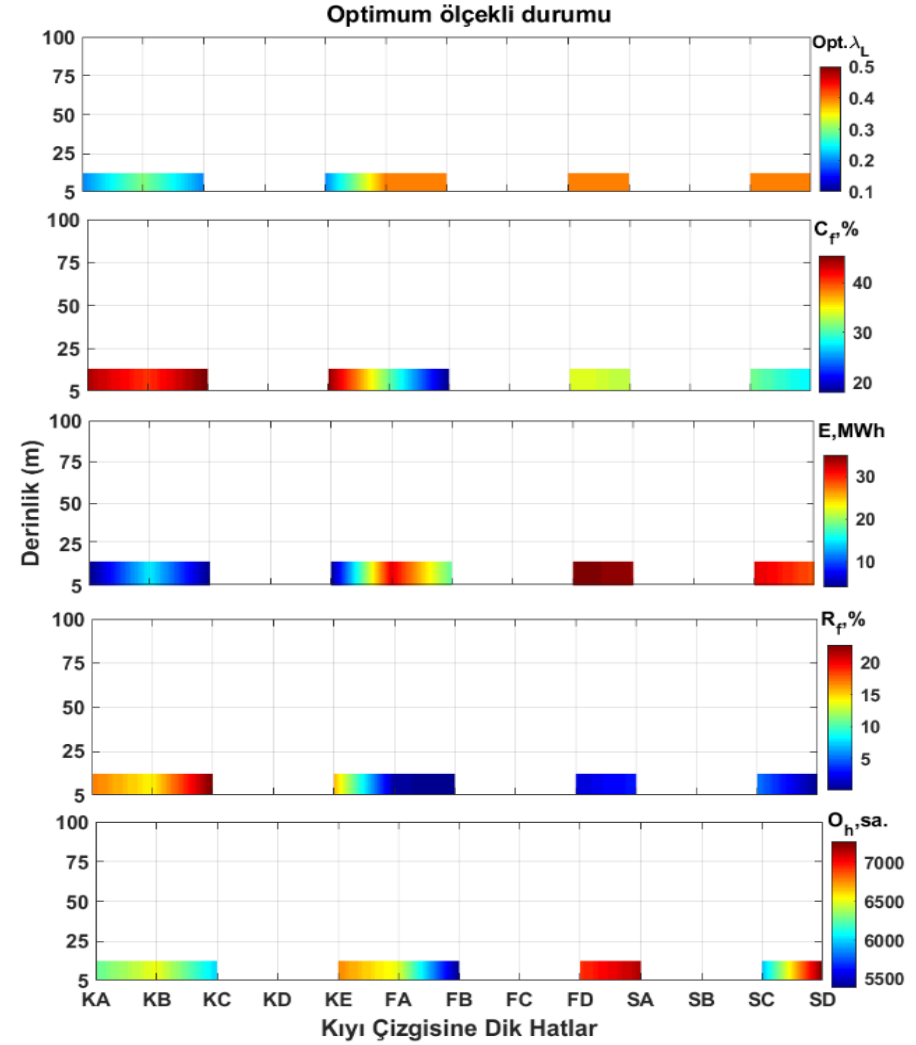
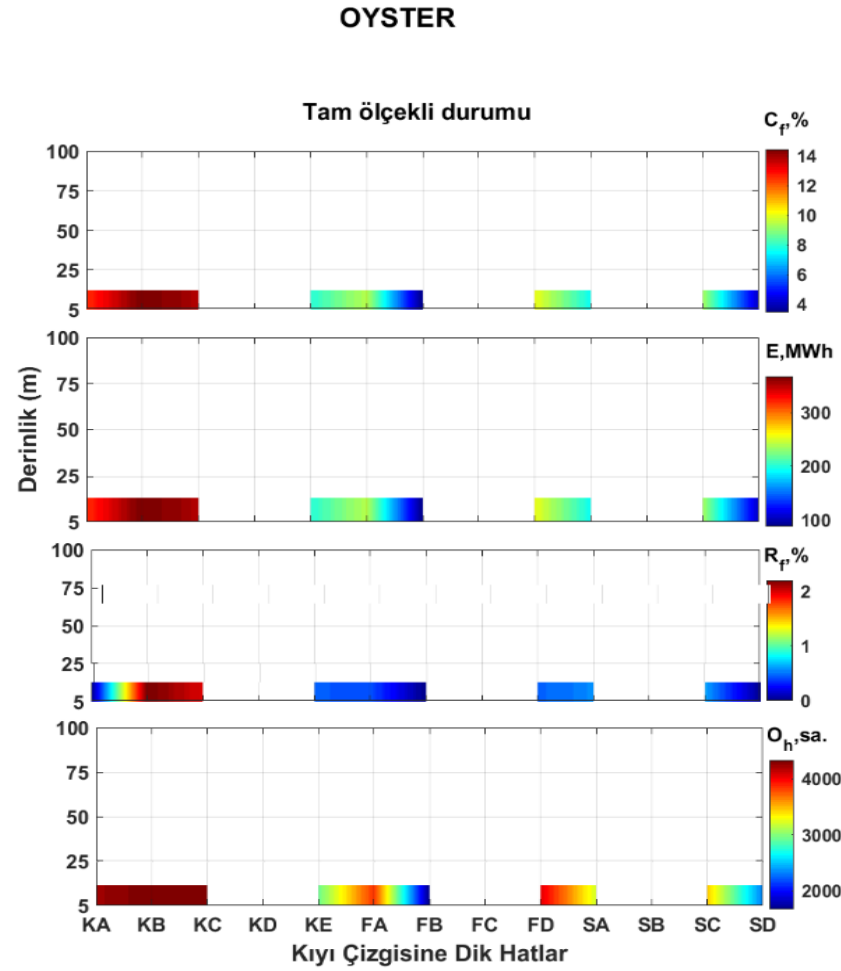
Şekil 4.23'te KA2 noktasında (25 m su derinliğinde) test edilen dokuz DED teknolojisinden WaveDragon tüm ölçek aşamalarında en yüksek enerji üreticisidir. Ayrıca, WaveDragon'un optimum ölçeği diğer makinelere göre daha yüksek C_f değerini (%38,7) 84,8 MWh enerji çıkışı ile 0,2 ölçeğinde sunmaktadır. Aynı zamanda, tam ölçekli enerji üretim miktarı %6,4 kapasite kullanımıyla 3951,3 MWh'tir. Toplam sürenin %0,58'i, nominal gücünün %90'ından daha fazla güç üretebilir ve ortalama olarak tam ölçeğinde 4717,5 saat/yıl çalışabilir. Ancak, ölçek küçültmesinden sonra optimum ölçekli WaveDragon, pozitif enerji çıkışı ile 7010,8 saat/yıl çalışabilmekte ve nominal gücünün %90'ından daha yüksek güç çıkışı ile toplam sürenin %18,92'sini çalışabilmektedir. C_f 'üne göre Oceantec, KA2'de 0,3'ten yüksek olan ölçeklendirme faktörü için WaveDragon'dan daha yüksek bir kapasite miktarı vermekte, ancak WaveDragon'dan daha fazla enerji üretememektedir. 500 kW nominal güce sahip tam ölçekli Oceantec, %17,7 C_f , 775,8 MWh enerji çıkışı, 3495,4 saat/yıl yükleme ile çalışabilmekte ve toplam gücünün %2,77'sini nominal gücünün %90'ından daha fazla enerji üretebileceğini göstermektedir. Bu cihaz için optimum ölçek parametresi, 6646,8 saat/yıl çalışabilen 20,2 kW nominal güç ile 0,4'tür. Oceantec, yılın %4,01'i boyunca nominal gücünün %90'ından daha fazla güçle çalışabilmektedir. Bu cihazın C_f 'ünü yıllık ortalama 59,2 MWh enerji çıkışı ile optimum ölçeğiyle %33,4'e yükselmektedir (Çizelge 4.7).

KA3 lokasyonunda (54 m derinlik), Oceantec diğer cihazlara kıyasla en yüksek C_f 'ü (%34,4), özellikle %40 boyutlarında göstermektedir. 500 kW nominal gücüne sahip tam ölçekli Oceantec %19 kapasitesi ile yılda 832,3 MWh ortalama enerji üretebilmektedir. Tam ölçekli Oceantec, toplam nominal gücünün %4,59'unu nominal gücünün %90'ından fazla üretebilmekte olup ve 3516,8 saat/yıl çalışabilmektedir. Ölçek küçültme ile Oceantec'in kapasite faktörünü 60,9 MWh/yıl enerji verimi ile %34,4'e çıkarmak ve yük saatlerini 6578,2 saat/yıl'a çıkarmak mümkündür. Optimum ölçekli cihaz, bu lokasyondaki toplam sürenin %5,22'si boyunca nominal gücünün (20,2 kW) %90'ından fazlasını üretebilmektedir. Enerji üretimi açısından Pontoon bu noktada ilk sırada yer almaktadır. 3619 kW nominal güce sahip tam ölçekli Pontoon, kapasitesinin %5'ini kullanarak 1590,3 MWh/yıl enerji üreterek 5784,3 saat/yıl çalışabilmektedir. Ancak, optimum ölçekli (0,4) Pontoon, kapasitesinin %9,9'unu kullanabilmekte, sadece 126,9 MWh/yıl enerji üretebilir ve 7741,7 saat/yıl çalışabilmektedir. Pontoon'un R_f değeri bu

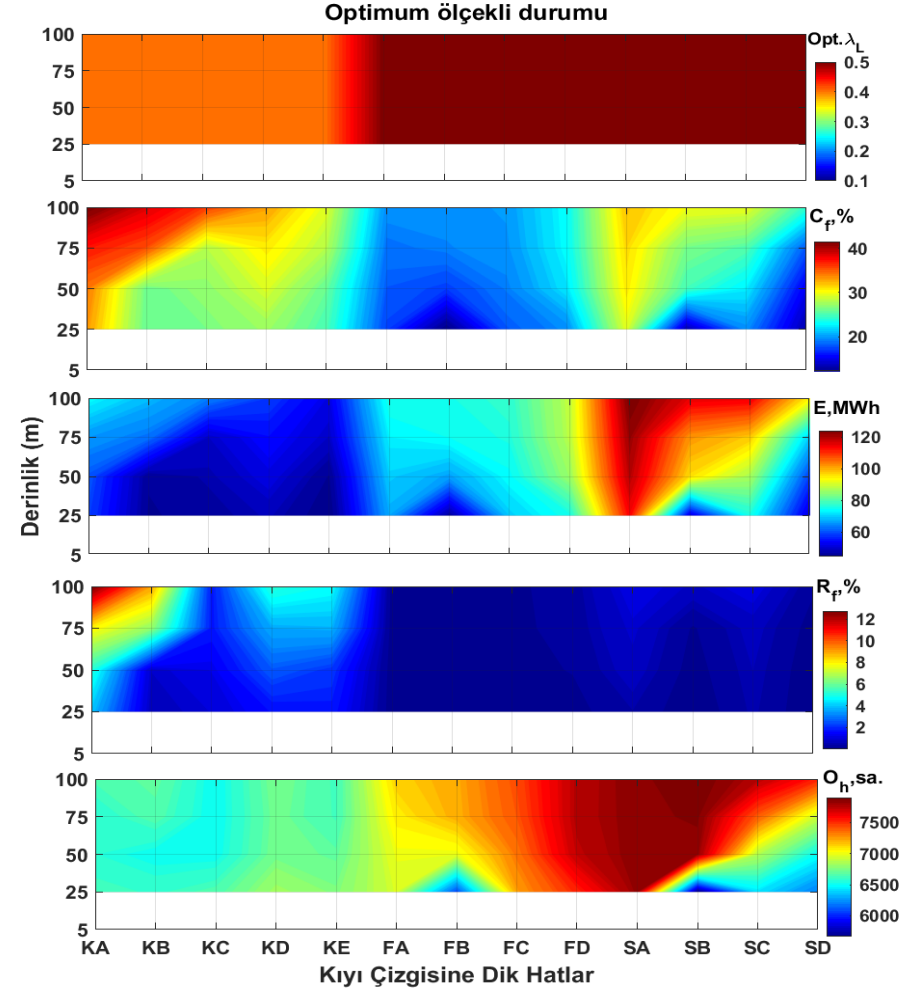
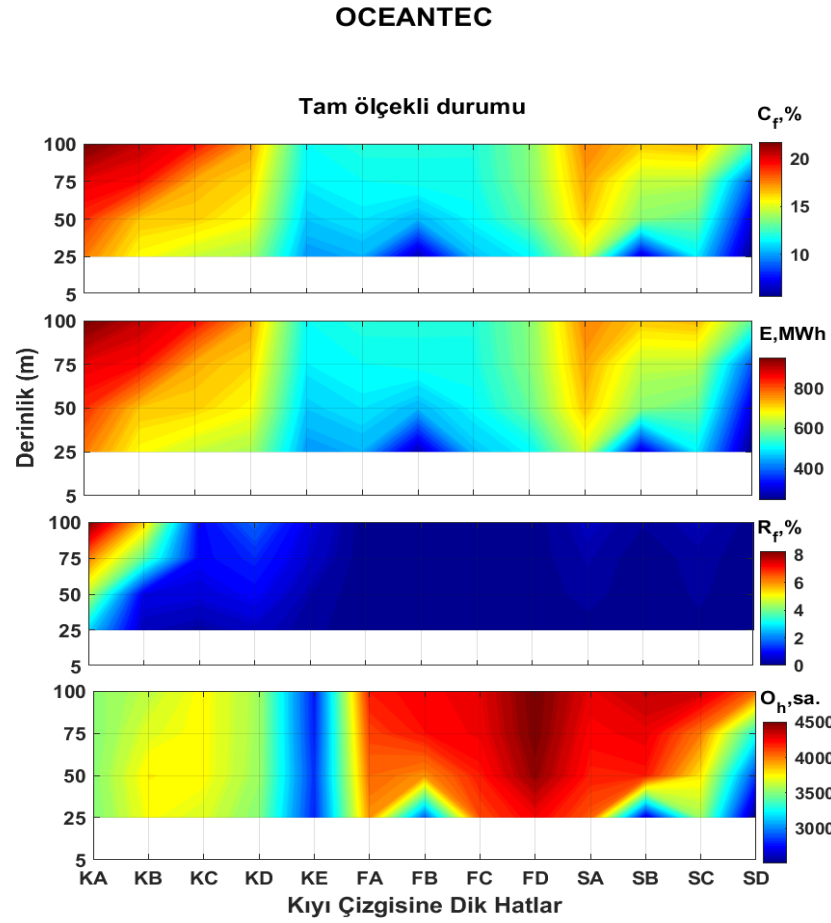
lokasyondaki tüm ölçek aşamalarında sıfırdır (Lütfen, Şekil 4.23 lokasyon KA3 ve Çizelge 4.8'e bakınız).

Dikey KA çizgisindeki son nokta KA4'te (75 m derinlik) on kez ölçeklendirilmiş altı DED'lerinin üretim performansları Şekil 4.23'ün sağ alt köşesinde sunulmuştur. Yine bu derinlikte, tüm ölçek aşamalarında Oceantec için en yüksek C_f 'ü %20,1 olarak rapor edilmiştir. 500 kW nominal gücü ile 878,2 MWh/yıl enerji dönüştürülebilir ve yılda ortalama 3503,4 saat çalışılabilir. Bu lokasyonda tam ölçekli Oceantec'in R_f değeri %6,19 optimum ölçekli R_f oranı ise %8,02'dir. Bu cihaz için optimum ölçek 0,4'tür, bu da C_f 'ü %37,3'e yükseltmekte olup, çalışma yükü saatlerinde 66 MWh/yıl enerji çıktısı ile 6587 saat/yıl 'a yükseltilmiştir. Pontoon, KA3 noktasında olduğu gibi KA4 noktasında da en yüksek enerji üretimini sunmaktadır. Tam ölçekli Pontoon, toplam kapasitesinin sadece %5,4'ünü kullanarak 1720,9 MWh/yıl enerji verimi ile 6024,6 saat/yıl çalışabilmektedir. Bu makinenin bu lokasyondaki optimum boyutunda %10,6 kapasite kullanımıyla 136,4 MWh/yıl enerji verimi sağlamaktadır. Optimum ölçekli Pontoon, 146,5 kW kurulu gücü ile 7786,8 saat/yıl çalışmakta olup bu konumdaki tüm ölçek boyutları ile nominal gücünün %90'nından daha yüksek güç üretememektedir ($R_f = 0.00$). Örnek olarak Karadeniz'in 700 km kıyı şeridi boyunca sahil şeridine beş dikey hat üzerinde olan 20 nokta için ölçeklendirilmiş tüm makinelerin kapasite faktörü ve beklenen enerji miktarını ölçeklendirme faktörüne karşı Şekil 4.23'te ve tam ve optimum ölçekli cihazların ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve çalışma saatlerine (O_h) ilişkin sonuçları Çizelge 4.6-4.9'de gösterildiği gibi analiz edilmiştir. Sadece KA hattı ayrıntılı olarak tartışılmıştır, ancak diğer dört hatının benzer sonuçlarını sırasıyla Ek 3'te Ek 4'te verilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Son olarak çalışmada dikkate alınan 15 DED sistemi çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü, kapasite faktörü, beklenen elektrik enerjisi, nominal kapasite faktörü ve DED sistemlerin yükleme saatleri Şekil 4.24-4.25'te alansal olarak karşılaştırılmıştır. Bu grafikler diğer 13 DED sistemi için EK 5'te sunulmuştur.



Şekil 4.24. Oyster DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



Şekil 4.25. Oceantec DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması

Şekil 4.24'te verilen Oyster sadece 5 m derinlikte, Şekil 4.25'te ise Oceantec 25, 50, 75 ve 100 m derinliklerde çalıştırılmıştır. Çalışma bölgesinde KD, FC ve SB hatlarda ani derinlik değişim olduğunda 5 m derinlikler bulmamaktadır. Bu iki makinenin kapasite faktörü, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri tam ölçekli durumunda KA'dan SD'ye doğru azalmaktadır. Bu iki teknolojinin optimum ölçekli durumundaki kapasite faktörü ve nominal kapasite faktörü açısından aynı yolu izlemekte ancak, beklenen enerji miktarı ve çalışma saatleri açısından çalışmada orta şiddetli olarak tanımlanan SA ve FD hatlar diğer hatlara göre daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu da bu noktaların çalışmadaki en dinamik bölgeye göre dalgalarda daha düşük değişkenliğe sahip olduğundan kaynaklanmış olabilmektedir.

Kısacası, coğrafi olarak, tam ve optimum ölçekli DED'lerin performansı aşağıdaki gibi değişmektedir: Beklendiği gibi, tüm cihazlar kıyı şeridinden açık denize taşınırken güç üretimi ve kapasite kullanımında olumlu bir değişim gözlenmiştir. KA hattı en dinamik hattı olup tüm cihazlar bu hatta ait lokasyonlarda daha iyi bir performans sunmaktadır. Ancak, SA hattının yüksek potansiyele sahip olduğundan ve aynı zamanda düşük değişkenliğe sahip olduğundan makinelerin optimum ölçek boyutları kıyasla KA hattından daha büyük çıkmaktadır. Bu da enerji çıkıtısını artırmakta olup SA hattı da DED çiftlikleri için uygun bir bölge olarak düşünebilmektedir. FA hattı, diğer dikey hatlardaki benzer derinlikli lokasyonlara kıyasla en zayıf hattır.

5. SONUÇ

Karadeniz'in güney batı kıyı şeridi boyunca kurulabilecek mevcut DED sistemlerinin performanslarının analizine odaklanan bu çalışmada, öncelikle çalışma bölgesi için belirlenen 62 istasyon için dalga iklim bilgisi mevcut veri tabanından temin edilmiştir. Daha sonra, bu dalga iklim bilgisinden yararlanılarak teorik dalga gücü hesaplanmıştır. Hesaplanan dalga gücü ve diğer dalga parametrelerin istatistiksel göstergeleri (medyan, ortalama ve maksimum) belirlenmiş ve kutu grafiği yardımıyla görsel bir şekilde bütün lokasyonları dikkate alarak kıyaslanmıştır. Belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücünün yıl içi ve iç-aylık değişimleri ve değişkenlikleri farklı değişkenlik ölçüleri kullanılarak irdelenmiştir. Bunların yanında, mevcut dalga enerji dönüşüm sistemlerinin seçilen istasyonlarda kurulması durumunda elde edilebilecek ekonomik potansiyel hesap edilmiştir. Bu sistemlerin verimlilikleri ve etkinlikleri dikkate alınan bazı göstergeler yardımıyla ayrıca değerlendirilmiştir. Ayrıca, mevcut DED'lerin seçilen bölgeye adapte olmasını ve en az yatırımla mümkün olan en iyi çıktıyı sunmasını sağlayabilmek için 62 istasyonda kurulabilecek bütün DED sistemlerinin güç matrisleri ve o istasyonlardaki dalga iklimlerini temsil eden belirgin dalga yüksekliği ve dalga periyodu matrisleri küçültülmüştür. 10 farklı ölçek faktörü durumunda elde edilebilecek elektrik güç değerleri ve kapasite faktörleri bulunmuş ve her cihazın maksimum kapasite faktörüne sahip oldukları durumdaki enerji elde edilebilirlikleri tartışılmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar üç ana başlık altında aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Dalga parametrelerinin istatistiksel özellikleri üzerine elde edilen sonuçlar:

- ✓ Bütün elde edilen sonuçlar çalışma bölgesinde dalgalardan enerji elde edilmesinde bir potansiyelin var olduğunu göstermiştir.
- ✓ Dalgadan enerji üretimi için çalışma bölgesinde Karaburun ve Sinop sayısal ağlarının batısındaki istasyonlarda daha yoğun ve dinamik şartların olduğu görülmüştür.
- ✓ En enerjik bölgede, 8,4 kW/m 'lik bir ortalama kapasite ve 1015 kW/m 'lik bir maksimum kapasite ile 100 m derinlikteki KA5 lokasyonudur.

- ✓ Genel olarak daha yüksek enerji potansiyeline sahip olan bölgeler aynı zamanda daha fazla değişkenliğe de sahiptirler.
- ✓ Ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği kıyı şeridi boyunca açıktan kıyıya doğru azalmaktadır.
- ✓ Ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği değerleri Karaburun sayısal ağında en yüksek (KA5 lokasyonunda ortalama 1,2 m ve maksimum 12,8 m) ve Filyos sayısal ağında en düşüktür (FB1 lokasyonunda ortalama 0,3 m ve maksimum 4,3 m).
- ✓ Belirgin dalga yüksekliğindeki değişimlerden de tahmin edildiği üzere, teorik dalga gücü de derin denizden sığ suya doğru azalmaktadır.
- ✓ Karaburun sayısal ağındaki lokasyonların sahip olduğu teorik dalga gücü diğer sayısal ağlardaki lokasyonların sahip olduğu dalga gücünden daha yüksektir.
- ✓ Ortalamalarda Sinop'un batısındaki alanlar ve maksimumlarda Filyos'un batısındaki alanlar en yoğunluklu Karaburun sayısal ağındaki alanları takip etmektedir.
- ✓ Tüm çalışma alanı dikkate alındığında, Karaburun sayısal ağının en batısındaki hatta bulunan lokasyonlarda en yüksek dalga gücü bulunmaktadır. KA5 lokasyonu ise bu hattaki en yüksek dalga gücü potansiyeline sahip istasyondur.
- ✓ İç-yıllık değişkenlikte, dalga gücü dağılımında en yüksek tepe noktası Şubat ayında, en düşük deniz durumu Haziran ayında olmak üzere bir tepe noktası ve bir içbükeylik görülmektedir. 2003 en enerjik yıl, 1989 ise 31 yıllık analiz içerisinde en az enerjik yıldır.
- ✓ Dalga gücü değişkenliğinin, aylık ve mevsimsel değişkenlik indekslerine göre Karaburun sayısal ağının batısında en fazla ve Sinop'un batısında en az olduğu görülmüştür.
- ✓ Yukarıda yapılan çıkarımlara dayanarak Karaburun ve Sinop sayısal ağlarının batı bölgelerindeki lokasyonların potansiyel ve kararlılık faktörleri göz önünde bulundurulduğunda DED çiftliklerinin kurulumu için en uygun yerler olduğu belirlenmiştir.

Mevcut DED sistemlerinin performansları üzerine elde edilen sonuçlar:

- ✓ Dalga gücü Karaburun sayısal ağının KA hattında en yüksek şiddete sahipken kıyı çizgisi boyunca FB hattına kadar azalmakta ve sonra SA hattına kadar artış

göstermektedir. Sinop sayısal ağında SD hattında ise en sakin deniz durumuna sahip olunmaktadır.

- ✓ Dalga gücü kıyı çizgisinden açık denize doğru artmakta ve KA5 ve SD1 sırasıyla en yoğun ve en az yoğun enerjili lokasyonlar olarak göze çarpmaktadır.
- ✓ Farklı lokasyonlarda ve derinliklerde farklı DED sistemlerinin kurulumu uygun olmaktadır.
- ✓ Orta şiddette dalga şartlarına sahip kapalı denizler ve Karadeniz’de enerji üretim miktarı açısından, SSG, WaveDragon, Oysters, Oceantec ve Pontoon kıyı çizgisinden derin denize doğru sırasıyla en yüksek enerjiyi üretebilir.
- ✓ Kapasite kullanımı ve RE_P değeri açısından Oyster ve Oceantec diğer dikkate alınan DED sistemlerine kıyasla kapasitelerinin daha fazlasını kullanmaktadır.
- ✓ SSG, WaveDragon, Oyster2, Oceantec ve Pontoon kıyı çizgisinden açık denize doğru çalışma bölgesinde diğer sistemlere kıyasla sırasıyla daha yüksek zaptetme genişliğine ihtiyaç duyan cihazlardır.
- ✓ Verimlilik indeksi açısından HeaveBuoy, WaveDragon, Seabased AB, Langlee ve Pontoon sırasıyla 5, 25, 50, 75 ve 100 m su derinliklerinde en etkin çalışan cihazlardır.

Ölçeklendirilmiş DED sistemlerinin performansları üzerine elde edilen sonuçlar:

- ✓ DED sistemlerin tipik dalga koşullarına uyarlanabilirliği için Froude ölçekleme kriterleri kullanılarak cihazların küçültülmesiyle değerlendirilir. Küçültme, 15 teknolojinin tamamı için açık denizden kıyıya kadar farklı derinlikteki cihazlara uygulanmıştır. Optimum ölçeklendirme faktörü λ_L (kapasite faktörünü maksimuma çıkarır) 0,2 ila 0,5 arasında değişmiştir; birkaç cihaz-lokasyon kombinasyonunda, optimum ölçeklendirme faktörü 0,1'e de ulaşmıştır. Yeniden boyutlandırılan tüm cihazlar, tam ölçekli (orijinal) cihazlardan daha düşük bir enerji çıktısı sunmuştur, ancak kapasite faktörü ölçek küçültme ile arttırılmaktadır. Örnek olarak bu çalışmada KC1'deki Oyster'in ($\lambda_L=1,0$) C_f 'ü %13,9'dan %45,7'ye ($\lambda_L=0,2$) yükselmekte olup yıllık ortalama enerji üretimi 354,1 MWh'ten 4,2 MWh'e düşmüştür. Oceantec'in C_f 'ü KA4'te ($\lambda_L=1,0$) %20,1'den %37,3'e ($\lambda_L=0,4$) yükselmiştir ancak, yıllık ortalama enerji üretimi 878,2 MWh'ten 66,0 MWh'e azalmıştır.

- ✓ Tüm cihazlar için kabaca en uygun kapasite faktörü, en düşük kapasite faktörünü bildiren FA hariç KA hattından SC hattına (sahil şeridine paralel) doğru azalmaktadır. Farklı derinliklerde (sahil şeridine dik olarak) kurulmuş olan tüm cihazlar, hem enerji hem de kapasite faktörü açısından beklendiği gibi benzerlik koruması ile artan bir eğilimdedir. Diğer bir deyişle, kıyıdan açık denize doğru ilerlerken dalga enerji kaynağı artarken, tüm cihazların kapasite faktörü ve enerji çıktısı da artmaktadır.
- ✓ Gerçekleştirilen bütün analizler, tüm teknolojiler için en düşük kapasite faktörünün ve en yüksek enerji çıkışının (HeavBuoy, Oyster2, Oyster, SSG, Seabased AB, WaveDragon, WaveStar, Langlee, Oceantec, Pelamis, WaveBob, AWS, OEBuoy, AquaBuoy ve Pontoon) λ_L ölçekleme faktörü 1,0'a eşitken tam ölçekli versiyonlarda olduğunu göstermektedir.
- ✓ Oyster en yüksek kapasite faktörünü, SSG ve WaveDragon ise en yüksek enerji çıkışını yaklaşık 10 m derinliğe sahip noktalar için bildirmektedir. Oceantec 25, 50, 75 ve 100 m derinliklerde en yüksek kapasite faktörünü bildirirken, beklenen en yüksek enerji miktarı 25 m'de WaveDragon, 50, 75 ve 100 m derinliklerde Pontoon tarafından rapor edilmiştir.
- ✓ Oceantec'in, kurulu olduğu tüm lokasyonlarda optimum ölçek (en yüksek kapasite faktörü) KA - KE hatlarında $\lambda_L = 0,4$, FA - SD hatlarda ise $\lambda_L = 0,5$ 'tir. Oceantec diğer makinelerden farklı olarak $\lambda_L = 0,8$ 'de kapasite faktöründe pik noktadan daha düşük ikinci bir tepe değeri bildirmiştir.
- ✓ Bu çalışma, dalga enerjisi çiftliklerinin fizibilitesinin ön analizi olarak düşünülmelidir. DED'lerin uygulanmasının rahatlığı, hayatta kalma, kurulum, bakım, demirleme (mooring), çevresel çatışmalar, şebeke bağlantı noktaları, nakliye trafiği, izin gereklilikleri gibi ekonomik, sosyal, politik vb. yönleri de dikkate alan DED'lerin kurulumu için uygun alanların (öncelikli alanların) Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak belirlenmesi ayrıca tavsiye edilmektedir.
- ✓ Bu çalışma kapsamında, DED kurulumu için çalışmada kullanılan tüm parameterleri dikkate alınarak en uygun yer olarak kıyı çizgisine dikey belirlenen KA ve SA hatları üzerindeki lokasyonlarında en optimum enerji üreten sistem olarak 5 m derinlikte Oyster sisteminin 0,3 ölçeği, 25 m derinlikte Oceantec sisteminin 0,4 ölçeği, 50 ve 75 m derinliklerde Oceantec teknolojisinin 0,5 ölçeği

ve son olarak da 100 m derinlikte Oceantec makinenin 0,6 ölçeğinin bir ön uygulama çalışması kapsamında kurulması ve bu kurulan sistemlerin üzerinde gerçekçi değerlere erişilerek elde edilen sonuçlarla bu tez çalışmasının sonuçlarının kıyaslanması sonucunda DED sistemlerinin çiftlikler şeklinde ilgili kıyı bölgelerinde kurulması denizlerimizin makine çöplüğüne dönüşmesini önlemek açısından önerilmektedir.

- ✓ Karadeniz gibi orta şiddetli dalga koşullarına sahip olan denizlerde dalga enerji dönüştürücüleri ile açık deniz rüzgar enerji dönüştürücüleri kombinasyonların (hibrit sistemlerin) araştırılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

ABP Marine Environmental Research 2004. Atlas of UK marine renewable energy resources. Technical Reports No. R.1106, the UK Department of Trade and Industry, ABP Marine Environmental Research Ltd, United Kingdom.

Akpınar, A., Bingölbalı, B., Jafalı, H. 2016. Wave Hindcasting for Wave Energy Assessments in the Black Sea. *International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS)*, 1–8.

Akpınar, A., Bekiroğlu, S., Van Vledder, G., Bingölbalı, B., Jafalı, H. 2015. Karadeniz'in Güneybatı Sahillerinin Sahip Olduğu Dalga Enerji Potansiyelinin Zamansal ve Mekansal Analizi. Proje No. 214M436, Bursa Uludağ Üniversitesi.

Akpınar, A., Bingölbalı, B., Van Vledder, G. Ph. 2016. Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. *Ocean Engineering*, 126:, 276–298. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.09.026>

Alamian, R., Shafaghat, R., Miri, S. J., Yazdanshenas, N., Shakeri, M. 2014. Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32:, 468–476. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.036>

Alonso, R., Solari, S., Teixeira, L. 2015. Wave energy resource assessment in Uruguay. *Energy*, 93:, 683–696. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.114>

Anonim, 2020a. Seabased AB. <https://seabased.com/seabased-wave-parks.-> (Erişim tarihi:13.06.2020).

Anonim, 2020b. Wave Star. <http://wavestarenergy.com/concept> - (Erişim tarihi:13.06.2020).

Anonim, 2020c. Oceantec. <http://www.oceantecenergy.com/> - (Erişim tarihi:13.06.2020).

Anonim, 2020d. WaveDragon. <http://www.wavedragon.co.uk/technology-2/> - (Erişim tarihi:14.06.2020).

Anonim, 2015. The Paris Agreement UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. - (Erişim tarihi:25.07.2020).

Azzellino, A., Conley, D., Vicinanza, D., Kofoed, J. P. 2013. Marine Renewable Energies: Perspectives and Implications for Marine Ecosystems. *The Scientific World Journal*, 2013:, 1–3. <https://doi.org/10.1155/2013/547563>

Babarit, A., Hals, J., Muliawan, M. J., Kurniawan, A., Moan, T., Krokstad, J. 2012. Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters. *Renewable Energy*, 41:, 44–63. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.002>

Babarit, Aure'lien, Hals, J., Kurniawan, A., Moan, T., Krokstad, J. 2011. Power Absorption Measures and Comparisons of Selected Wave Energy Converters. *Ocean*

Space Utilization; *Ocean Renewable Energy*, Volume 5, Rotterdam, The Netherlands, ASMEDC: , 437–446. <https://doi.org/10.1115/OMAE2011-49360>

Bingölbalı, B. 2018. Karadeniz’in Güney Batı Kıyıları için İç İç Geçmiş Karelaj Sistemli Dalga Tahmin Modelinin Geliştirilmesi ve Dalga İklim Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye.

Bingölbalı, B., Akpınar, A., Jafari, H., Vledder, G. P. V. 2019. Downscaling of wave climate in the western Black Sea. *Ocean Engineering*, 172:, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.11.042>

Bozzi, S., Archetti, R., Passoni, G. 2014. Wave electricity production in Italian offshore: A preliminary investigation. *Renewable Energy*, 62:, 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.030>

Bozzi, S., Besio, G., Passoni, G. 2018. Wave power technologies for the Mediterranean offshore: Scaling and performance analysis. *Coastal Engineering*, 136:, 130–146. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.03.001>

Cameron, L., Doherty, R., Henry, A., Doherty, K., Bourdier, S., Whittaker, T. 2010. Design of the Next Generation of the Oyster Wave Energy Converter. *3rd International Conference on Ocean Energy*, 6 Oct. 2010, Bilbao.

Carballo, R., Sánchez, M., Ramos, V., Castro, A. 2014. A tool for combined WEC-site selection throughout a coastal region: Rias Baixas, NW Spain. *Applied Energy*, 135:, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.068>

Carballo, R., Sánchez, M., Ramos, V., Fraguera, J. A., Iglesias, G. 2015. The intra-annual variability in the performance of wave energy converters: A comparative study in N Galicia (Spain). *Energy*, 82:, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.020>

CEM, U. 2002. Coastal Engineering Manual. U.S. Army Corps of Engineers.

Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.-T., Schild, P., Sjöström, B.-O., Sørensen, H. C., Thorpe, T. 2002. Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(5):, 405–431. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00009-6)

Cornett, A. M. 2008. A Global Wave Energy Resource Assessment. *Canadian Hydraulics Centre*, National Research Council Ottawa, Ontario, Canada, Paper No. ISOPE-2008-TPC-579

de Andres, A., Maillet, J., Hals Todalshaug, J., Möller, P., Bould, D., Jeffrey, H. 2016. Techno-Economic Related Metrics for a Wave Energy Converters Feasibility Assessment. *Sustainability*, 8(11):, 1109. <https://doi.org/10.3390/su8111109>

Diaconu, S., Rusu, E. 2013. Evaluation of various WEC devices in the Romanian near shore. *Advances in Environment Technologies, Agriculture, Food and Animal Science*, ISBN: 978-1-61804-188-3.

- Drew, B., Plummer, A. R., Sahinkaya, M. N. 2009.** A review of wave energy converter technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 223(8):, 887–902. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE782>
- Erdin, C., Ozkaya, G. 2019.** Turkey's 2023 Energy Strategies and Investment Opportunities for Renewable Energy Sources: Site Selection Based on ELECTRE. *Sustainability*, 11(7):, 2136. <https://doi.org/10.3390/su11072136>
- Falcão, A. F. de O. 2010.** Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3):, 899–918. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.003>
- Goda, Y. 2000.** Random Seas and Design of Maritime Structures, *Advanced Series on Ocean Engineering*, 15, 443
- Goda, Y. 2010.** Random Seas and Design of Maritime Structures (Vol. 33), WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/7425>
- Guillou, N., Chapalain, G. 2018.** Annual and seasonal variabilities in the performances of wave energy converters. *Energy*, 165:, 812–823. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.001>
- Hagerman, G. 2001.** Southern New England Wave Energy Resource Potential. No. 206, Boston, USA, *Center for Energy and the Global Environment*, Tufts University.
- Henderson, R. 2006.** Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter. *Renewable Energy*, 31(2):, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.08.021>
- Iuppa, C., Cavallaro, L., Foti, E., Vicinanza, D. 2015.** Potential wave energy production by different wave energy converters around Sicily. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(6):, 061701. <https://doi.org/10.1063/1.4936397>
- Kamranzad, B., Etemad-Shahidi, A., Chegini, V. 2017.** Developing an optimum hotspot identifier for wave energy extracting in the northern Persian Gulf. *Renewable Energy*, 114:, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.026>
- Kofoed, J. P., Frigaard, P., Friis-Madsen, E., Sørensen, H. Chr. 2006.** Prototype testing of the wave energy converter wave dragon. *Renewable Energy*, 31(2):, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.005>
- Lavidas, G., Venugopal, V. 2017.** A 35 year high-resolution wave atlas for nearshore energy production and economics at the Aegean Sea. *Renewable Energy*, 103:, 401–417. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.055>
- Leishman, J. M., Scobie, G. 1976.** The Development of Wave Power: A Techno-economic Study, *National Engineering Laboratory*.
- Majidi Nezhad, M., Groppi, D., Rosa, F., Piras, G., Cumo, F., Garcia, D. A. 2018.** Nearshore wave energy converters comparison and Mediterranean small island grid

integration. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 30:, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.08.009>

Morim, J., Cartwright, N., Hemer, M., Etemad-Shahidi, A., Strauss, D. 2019. Inter- and intra-annual variability of potential power production from wave energy converters. *Energy*, 169:, 1224–1241. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.080>

Mota, P., Pinto, J. P. 2014. Wave energy potential along the western Portuguese coast. *Renewable Energy*, 71:, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.039>

Naty, S., Viviano, A., Foti, E. 2016. Wave Energy Exploitation System Integrated in the Coastal Structure of a Mediterranean Port. *Sustainability*, 8(12):, 1342. <https://doi.org/10.3390/su8121342>

WMO., S. 1998. Guide to Wave Analysis and Forecasting, *Secretariat of the World Meteorological Organization*.

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N. K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C. B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestvedt, J., Gomez-Echeverri, L., Hallegatte, S., Hegerl, G., Howden, M., Jiang, K., Jimenez Cisneroz, B., Kattsov, V., Lee, H., Mach, K. J., Marotzke, J., Mastrandrea, M. D., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppenheimer, M., Pereira, J. J., Pichs-Madruga, R., Plattner, G.-K., Pörtner, H.-O., Power, S. B., Preston, B., Ravindranath, N. H., Reisinger, A., Riahi, K., Rusticucci, M., Scholes, R., Seyboth, K., Sokona, Y., Stavins, R., Stocker, T. F., Tschakert, P., van Vuuren, D., van Ypserle, J.-P. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (R. K. Pachauri, & L. Meyer, Eds.), Geneva, Switzerland, : IPCC: , 151. Retrieved from <https://epic.awi.de/id/eprint/37530/>

Pecher, A., Kofoed, J. P., Espedal, J., Hagberg, S. Results of an Experimental Study of the Langlee Wave Energy Converter. *International Offshore and Polar Engineering Conference*. Beijing, China , 9.

Reikard, G., Robertson, B., Buckham, B., Bidlot, J.-R., Hiles, C. 2015. Simulating and forecasting ocean wave energy in western Canada. *Ocean Engineering*, 103:, 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.04.081>

Rusu, E. 2014. Evaluation of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments. *Energies*, 7(6):, 4002–4018. <https://doi.org/10.3390/en7064002>

Rusu, L., Onea, F. 2015. Assessment of the performances of various wave energy converters along the European continental coasts. *Energy*, 82:, 889–904. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.099>

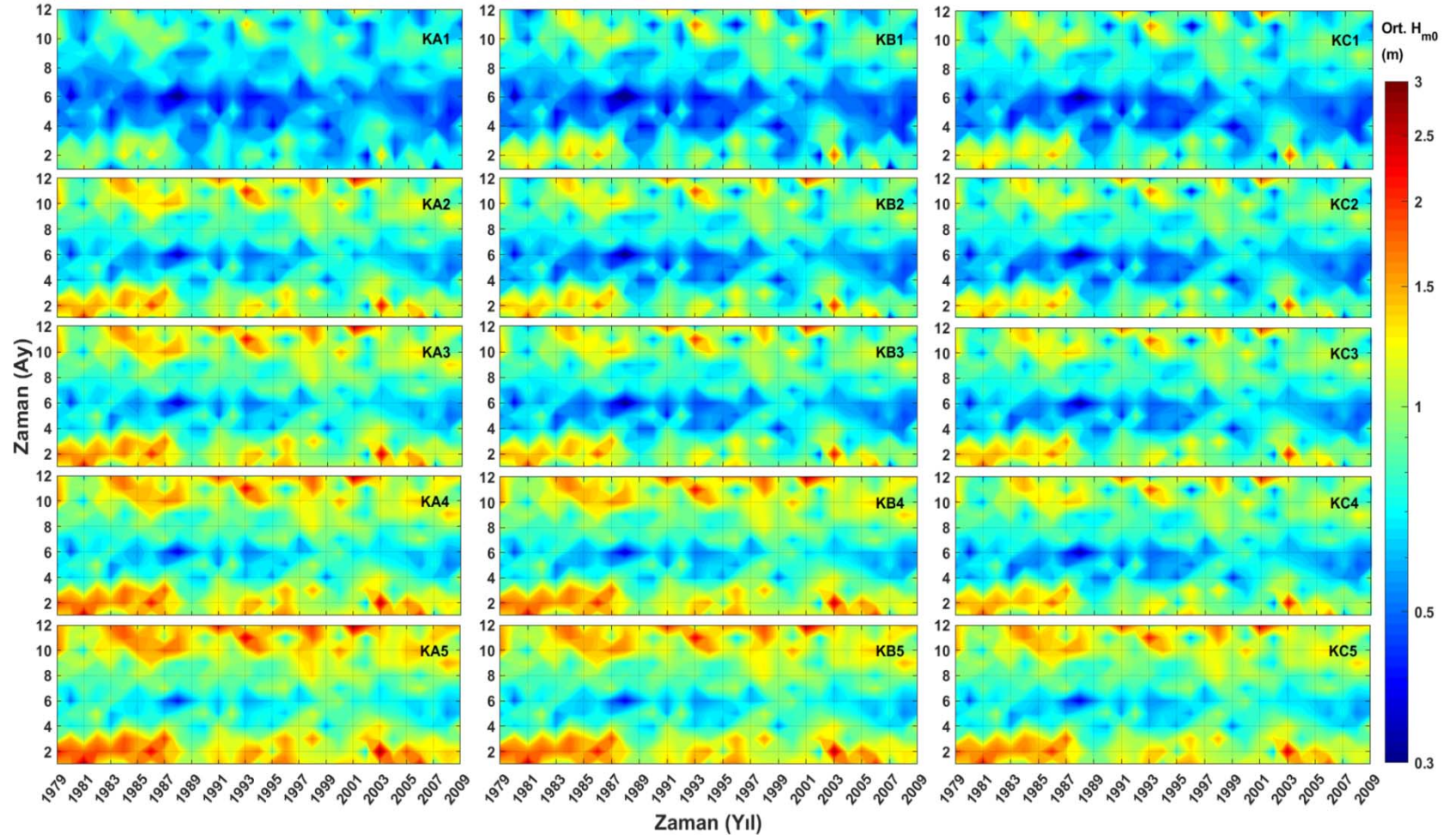
Rusu, L., Onea, F. 2017. The performance of some state-of-the-art wave energy converters in locations with the worldwide highest wave power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75:, 1348–1362. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.123>

- Sierra, J. P., Martín, C., Möso, C., Mestres, M., Jebbad, R. 2016.** Wave energy potential along the Atlantic coast of Morocco. *Renewable Energy*, 96:, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.071>
- Silva, D., Rusu, E., Soares, C. 2013.** Evaluation of Various Technologies for Wave Energy Conversion in the Portuguese Nearshore. *Energies*, 6(3):, 1344–1364. <https://doi.org/10.3390/en6031344>
- Vannucchi, V., Cappietti, L. 2016.** Wave Energy Assessment and Performance Estimation of State of the Art Wave Energy Converters in Italian Hotspots. *Sustainability*, 8(12):, 1300. <https://doi.org/10.3390/su8121300>
- Vicinanza, D., Margheritini, L., Kofoed, J. P., Buccino, M. 2012.** The SSG Wave Energy Converter: Performance, Status and Recent Developments. *Energies*, 5(2):, 193–226. <https://doi.org/10.3390/en5020193>
- Weinstein, A., Fredrikson, G., Parks, M. J., Nielsen, K. 2004.** AquaBuOY - the offshore wave energy converter numerical modeling and optimization. Oceans '04 MTS/IEEE Techno-Ocean '04 (IEEE Cat. No.04CH37600) (Vol. 4), Kobe, Japan, : IEEE: , 1854–1859. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2004.1406425>
- Whittaker, T., Collier, D., Folley, M., Osterried, M., Henry, A., Crowley, M. 2007.** The Development of Oyster – A Shallow Water Surging Wave Energy Converter. *Proceedings of the 7th European Wave and Tidal Energy Conference*. 11-14.
- Zheng, C., Pan, J., Li, J. 2013.** Assessing the China Sea wind energy and wave energy resources from 1988 to 2009. *Ocean Engineering*, 65:, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.03.006>

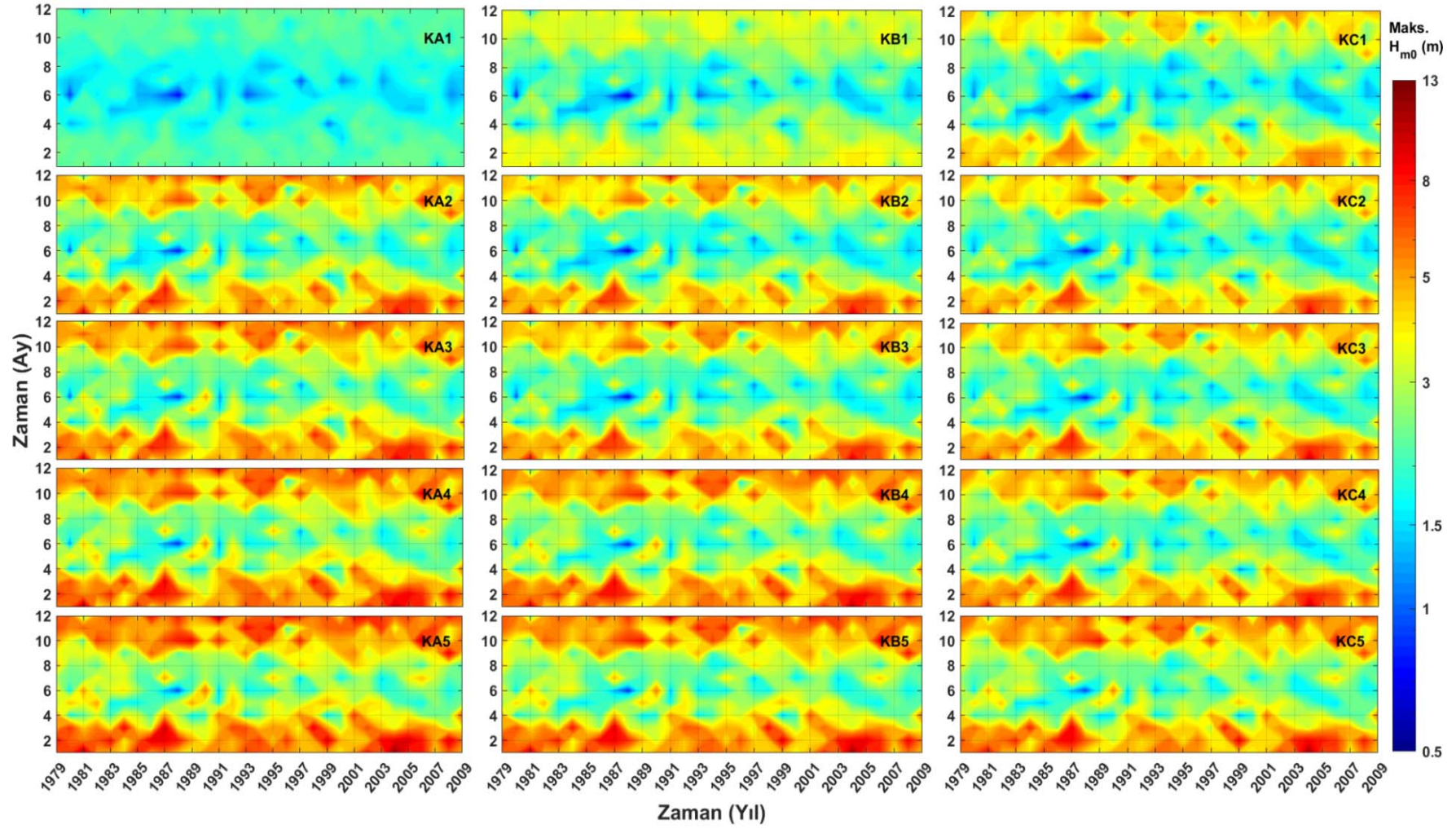
EKLER

- EK 1.** Ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücünün yıl içi ve aylık değişimleri
- EK 2.** Çalışmada kullanılan 15 DED sistemlerinin güç matrisleri
- EK 3.** Ölçeklendirilmiş DED sistemlerin enerji ve kapasite faktörünün değişim grafikleri
- EK 4.** Tam ve optimum ölçekli cihazların ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (P_n) ve çalışma saatleri (O_h)
- EK 5.** DED sistemlerinin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü, kapasite faktörü, beklenen elektrik enerjisi , nominal kapasite faktörü ve DED sisteminin yükleme saatlerin karşılaştırılması

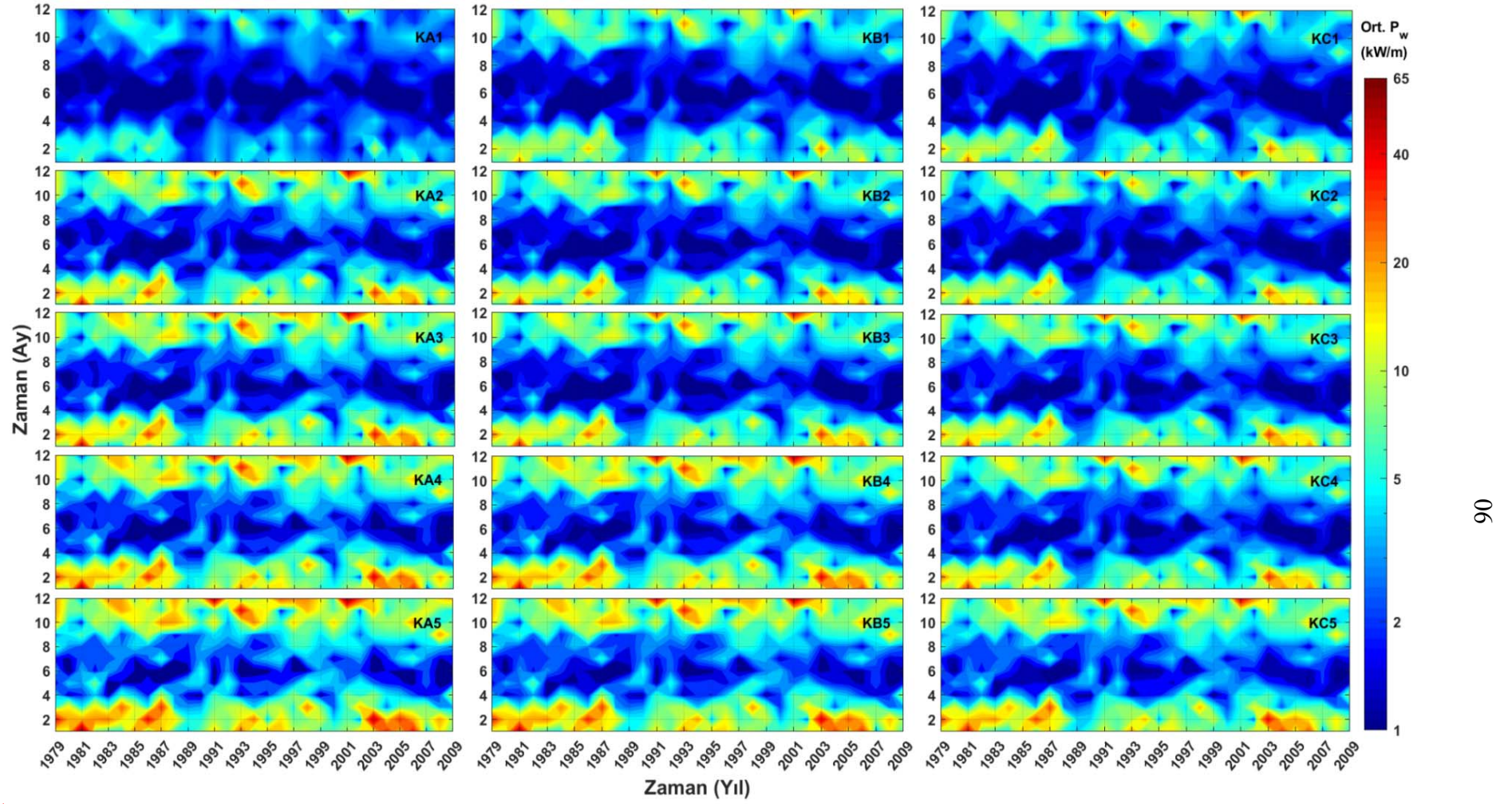
EK 1. Ortalama ve maksimum belirgin dalga yüksekliği ve dalga gücünün yıl içi ve aylık değişimleri



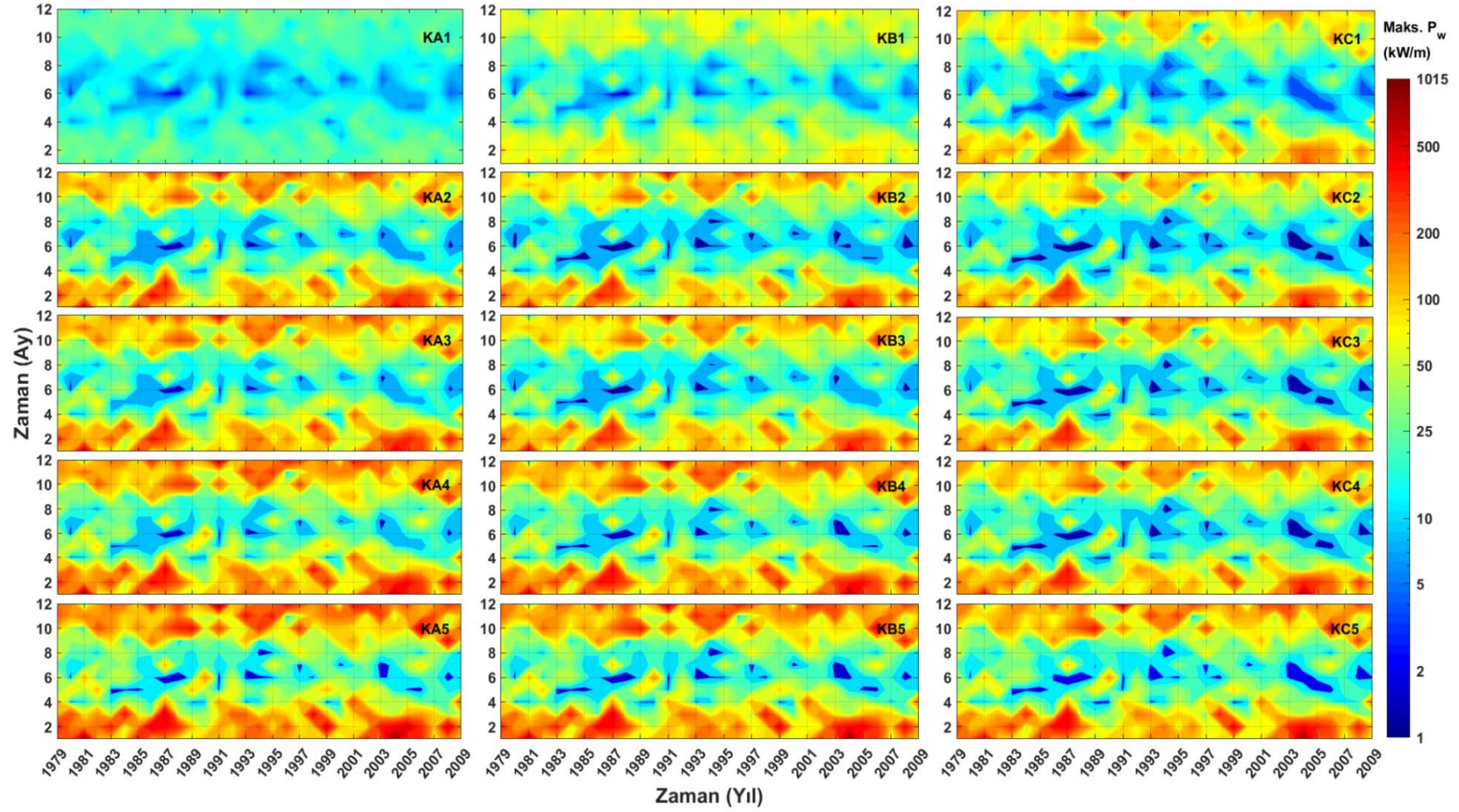
Ek Şekil 1.1. 15 istasyon (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



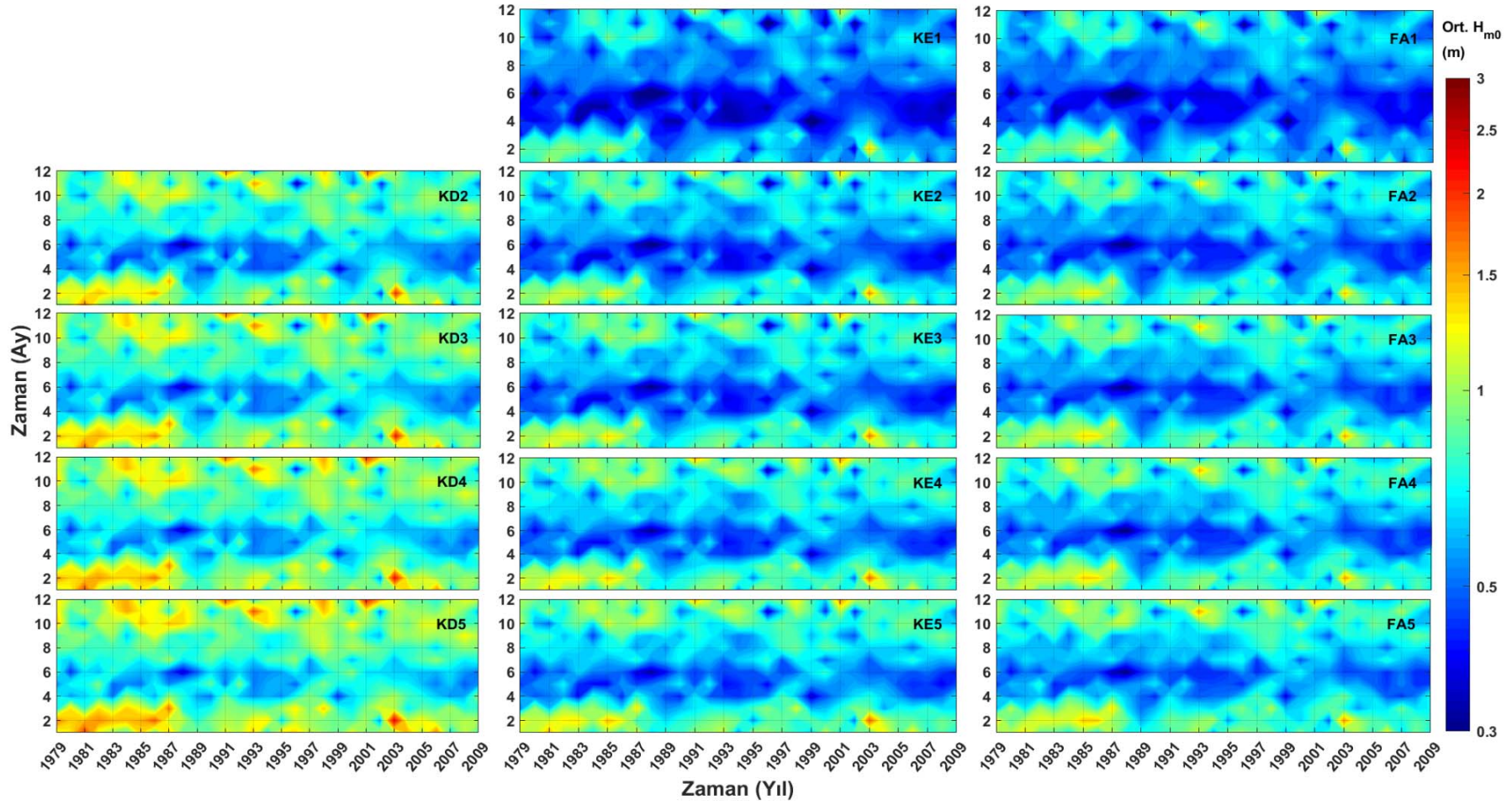
Ek Şekil 1.2. 15 istasyon (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



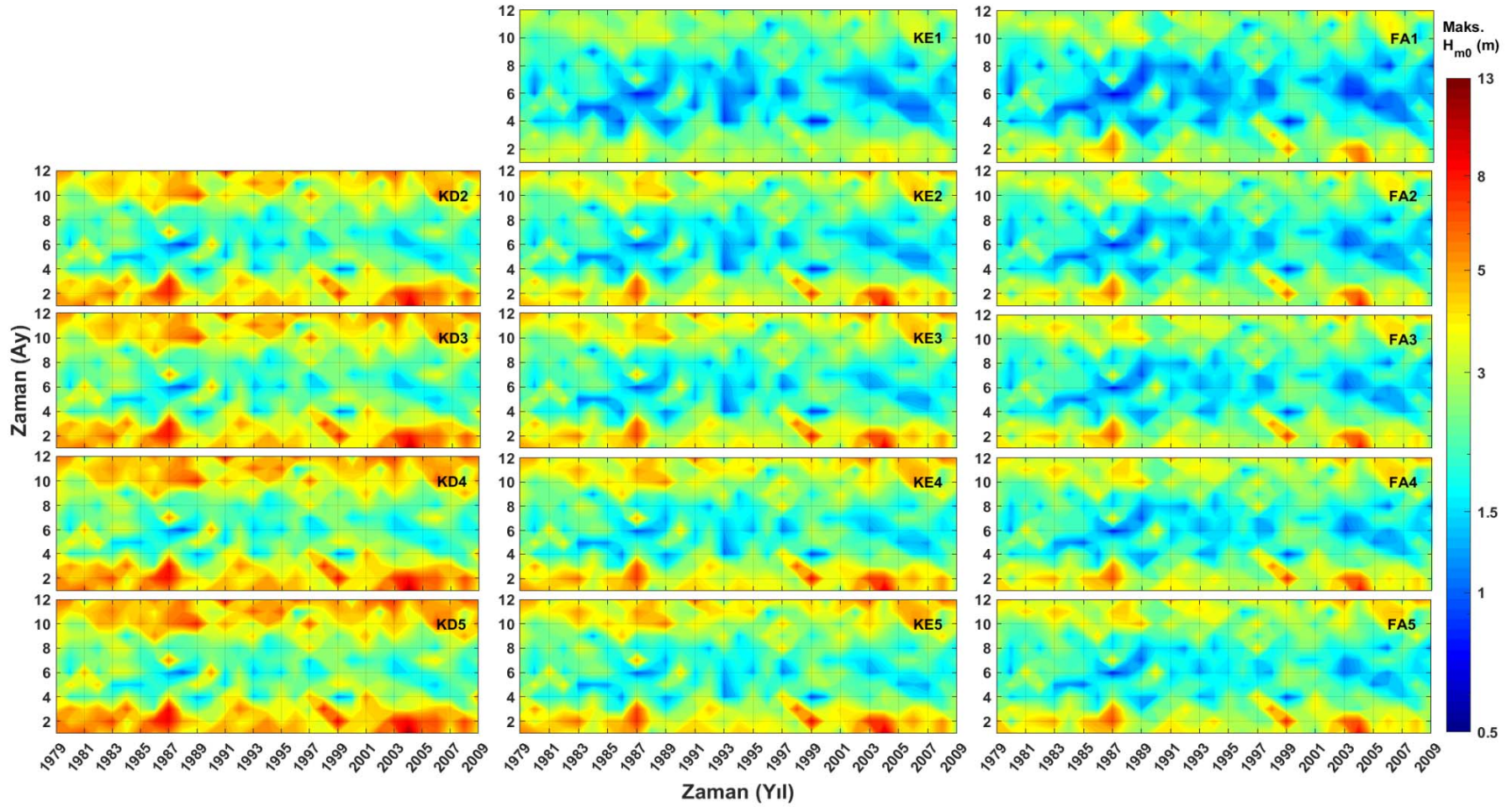
Ek Şekil 1.3. 15 istasyon (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



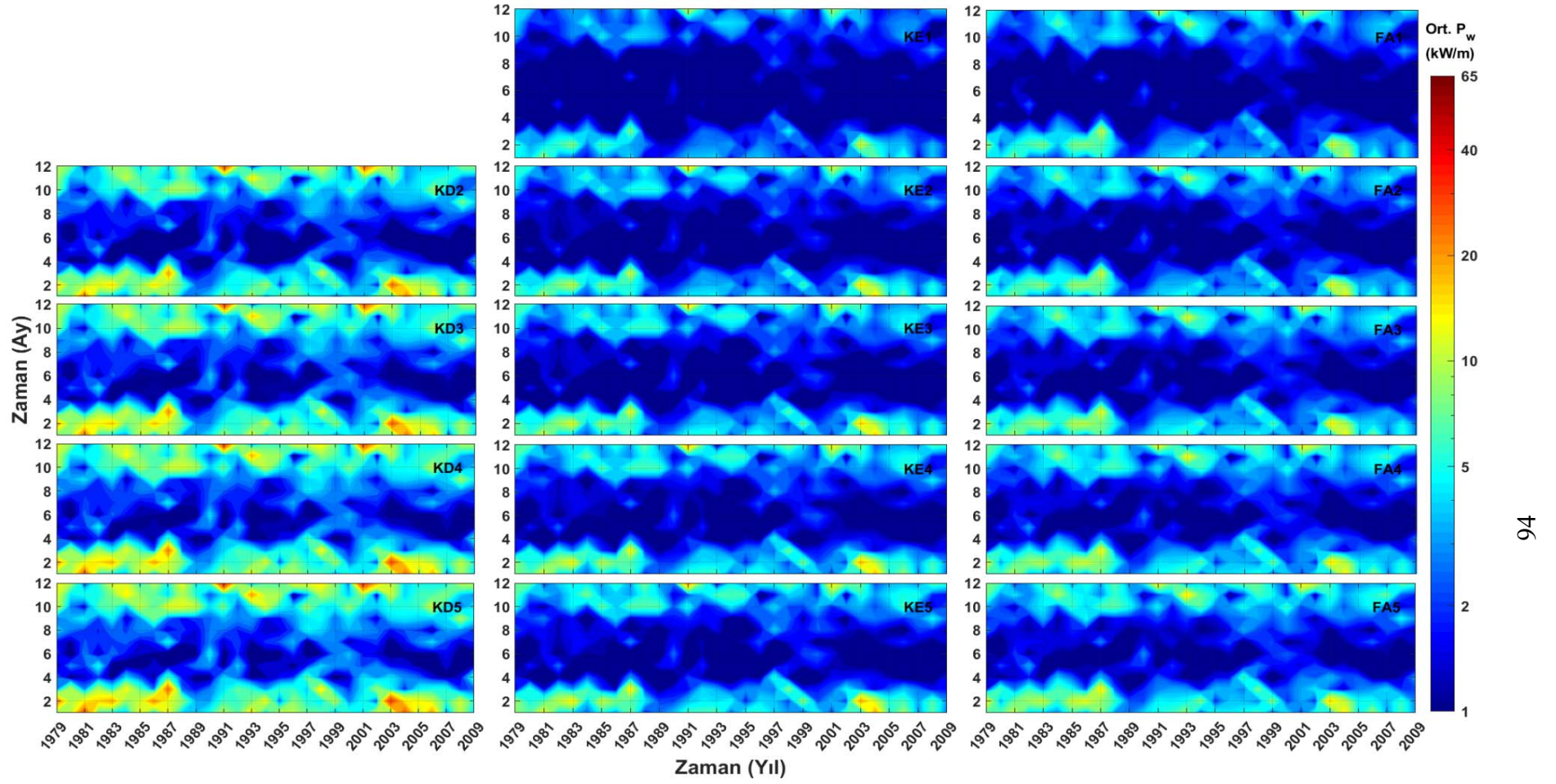
Ek Şekil 1.4. 15 istasyon (KA1 - KA5, KB1 - KB5 ve KC1 - KC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



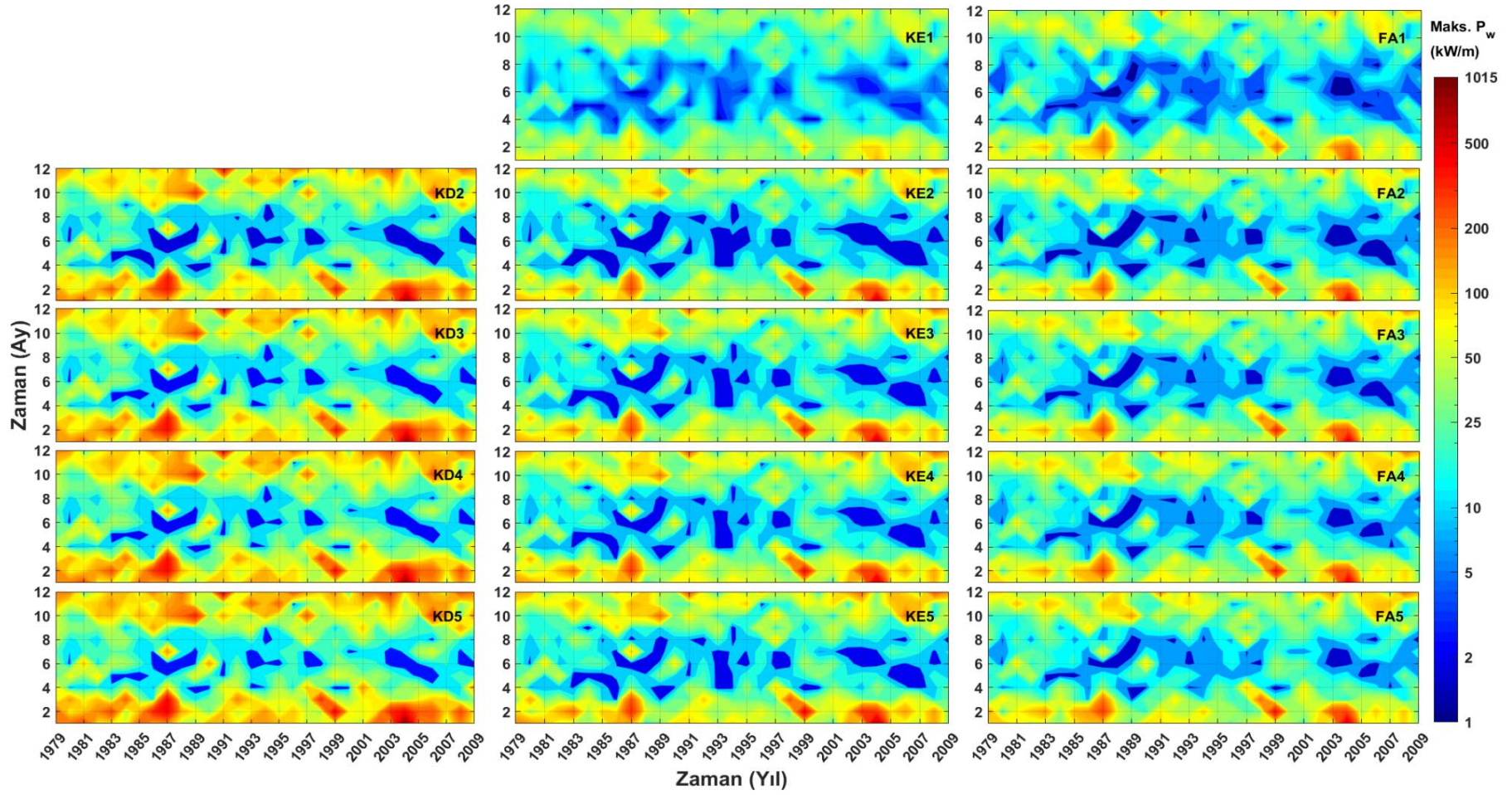
Ek Şekil 1.5. 14 istasyon (KD2-KD5, KE1-KE5, FA1-FA5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



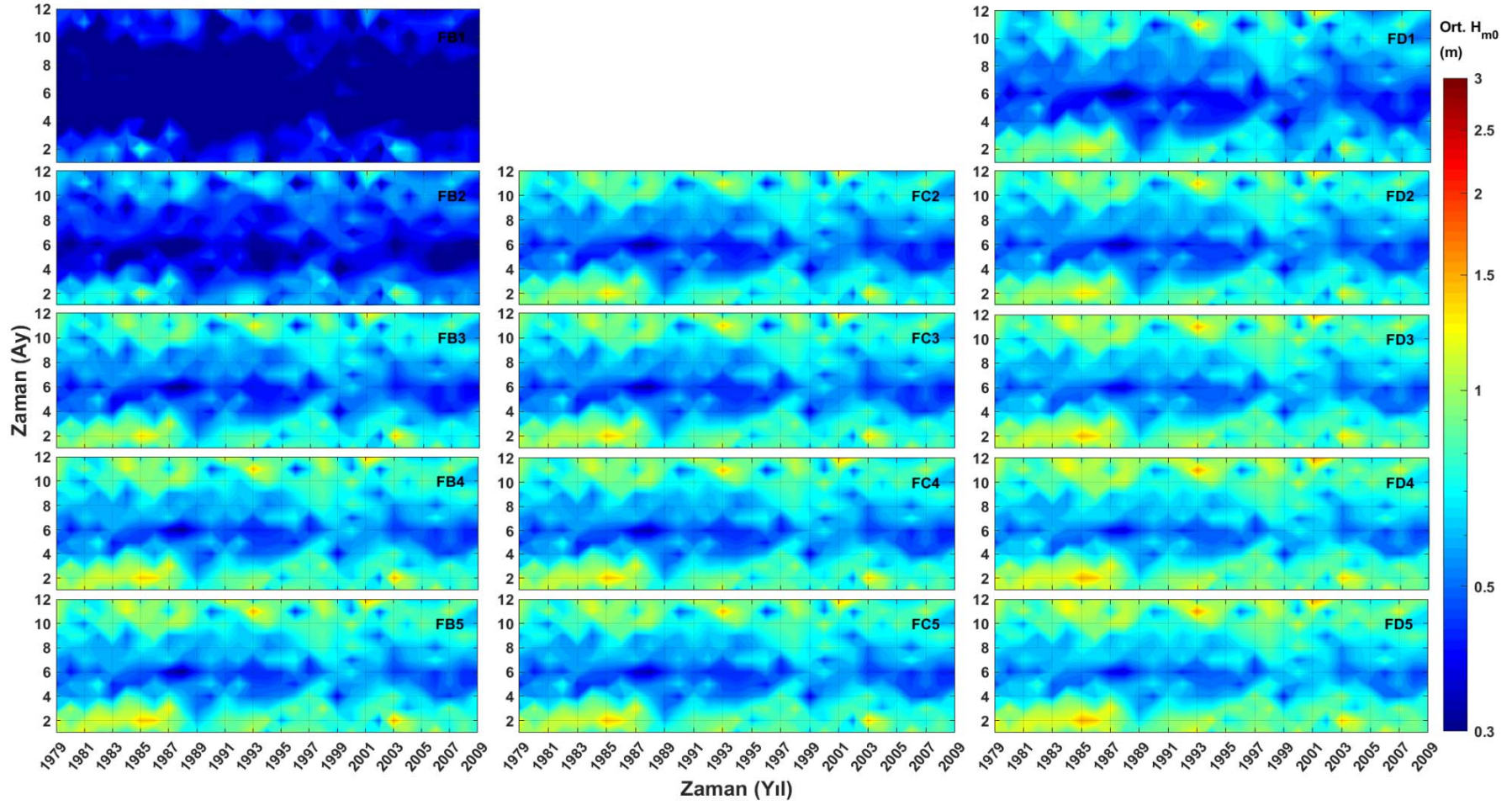
Ek Şekil 1.6. 14 istasyon (KD2-KD5, KE1-KE5, FA1-FA5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



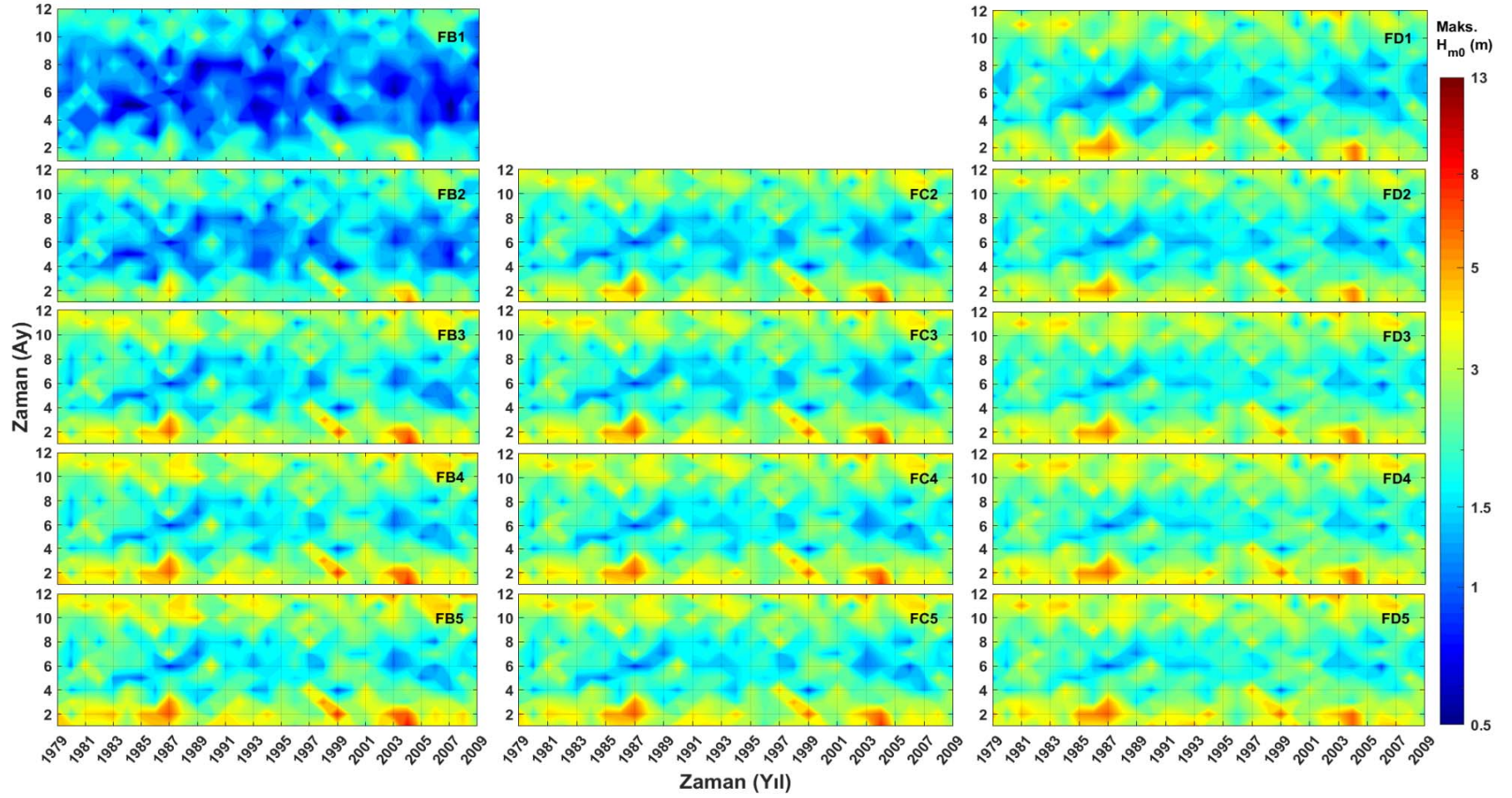
Ek Şekil 1.7. 14 istasyon (KD2-KD5, KE1-KE5, FA1-FA5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



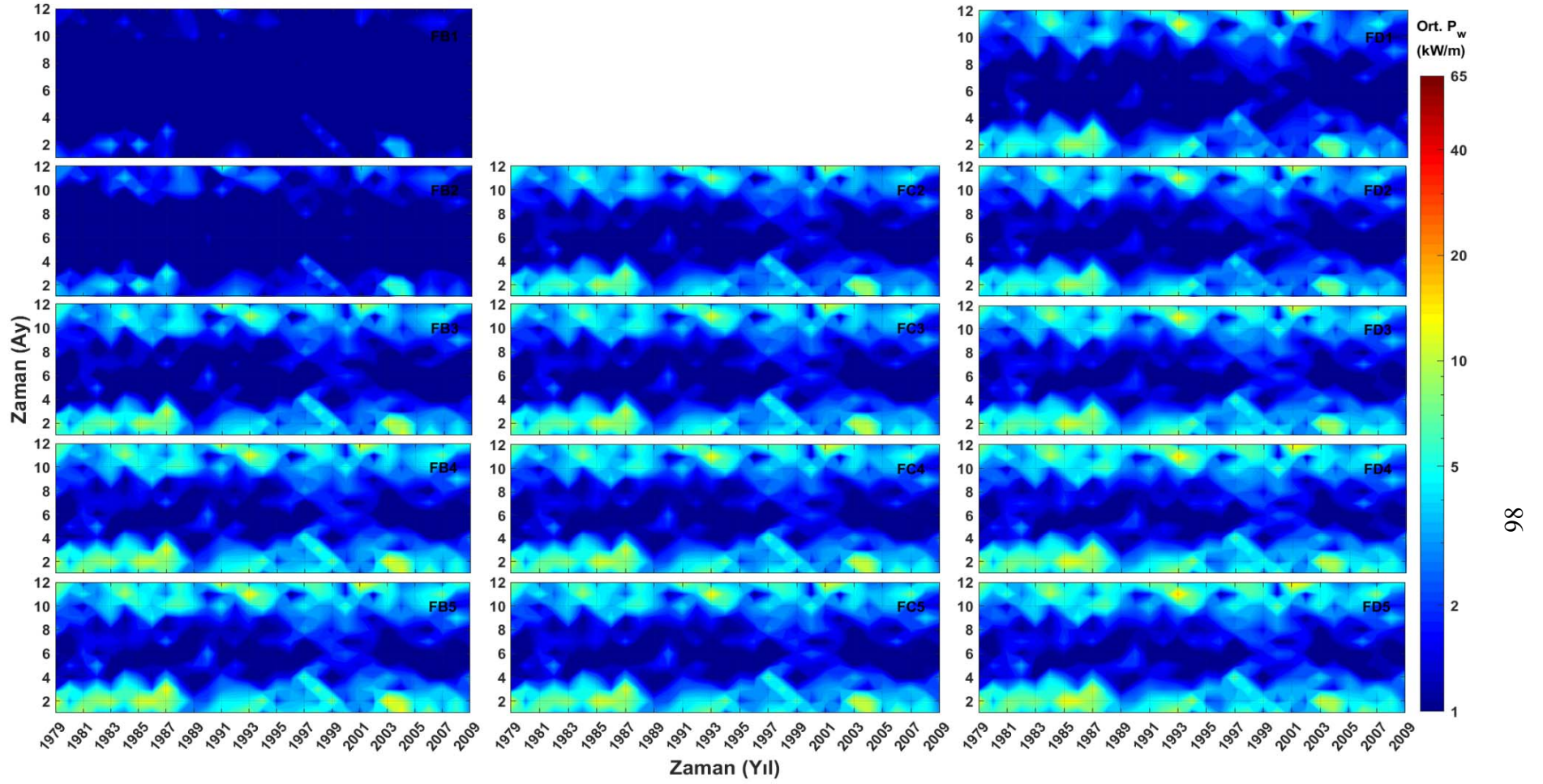
EK Şekil 1.8. 14 istasyon (KD2-KD5, KE1-KE5, FA1-FA5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



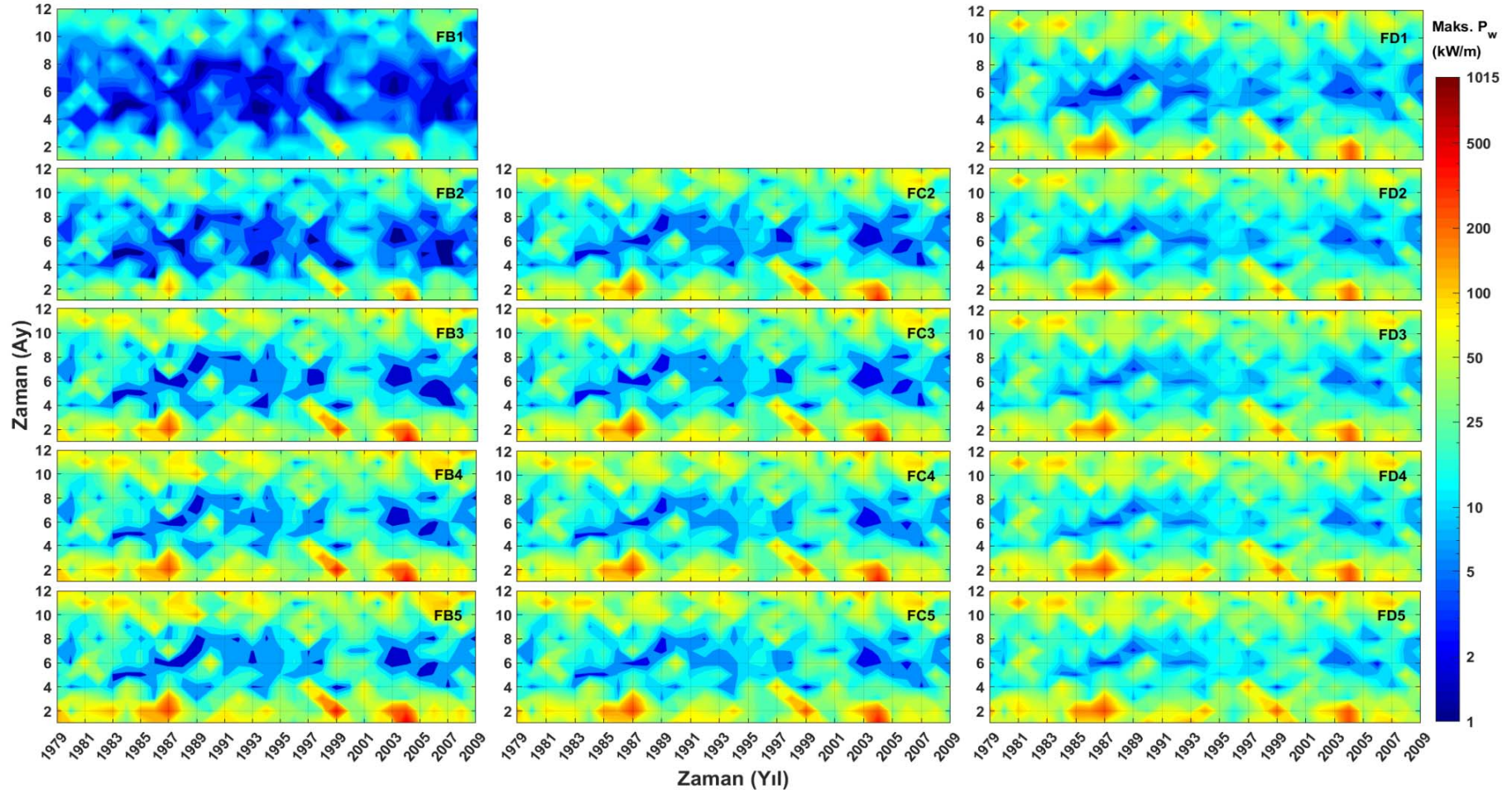
Ek Şekil 1.9. 14 istasyon (FB1-FB5, FC2-FC5, FD1-FD5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



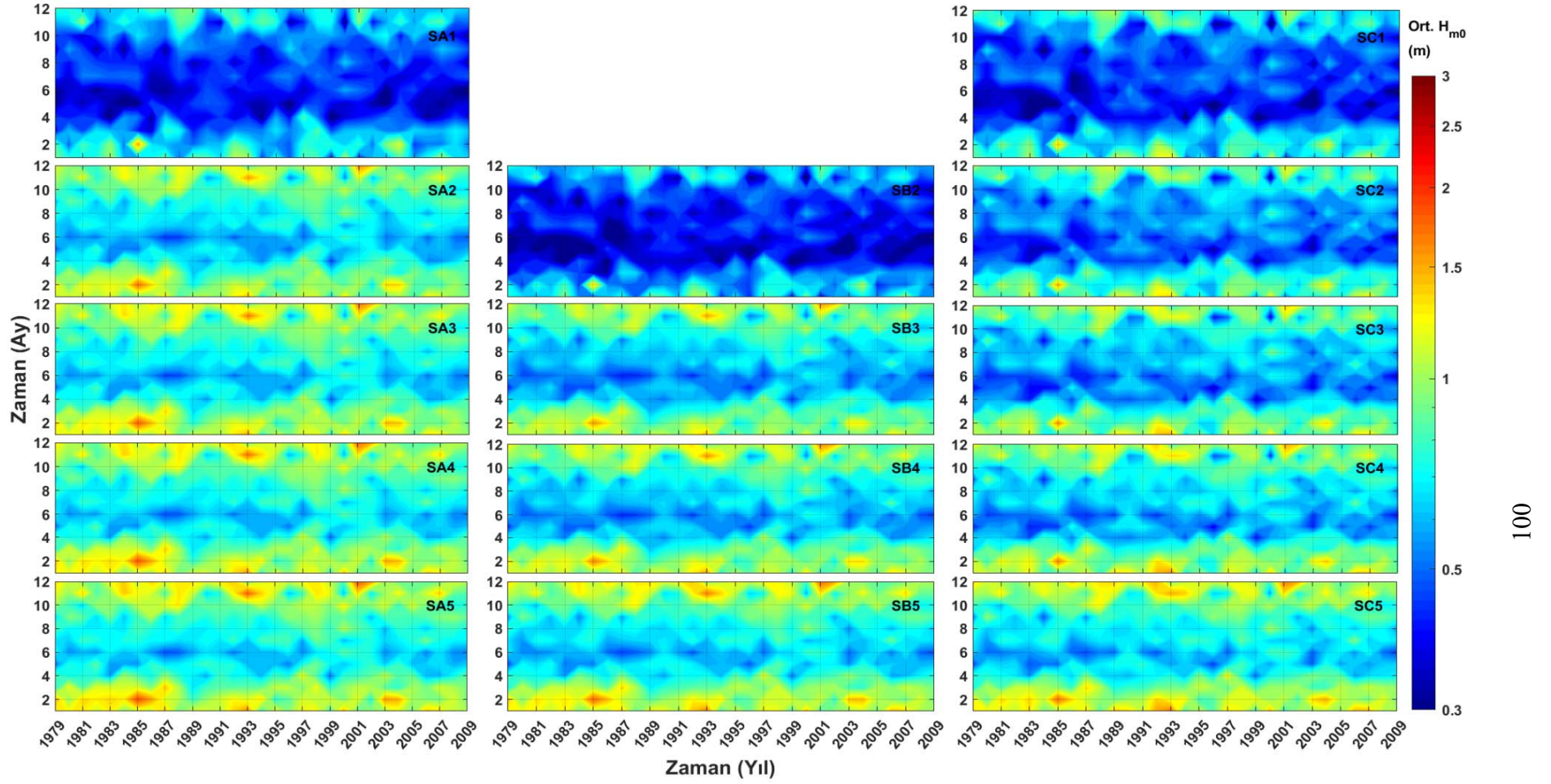
Ek Şekil 1.10. 14 istasyon (FB1-FB5, FC2-FC5, FD1-FD5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



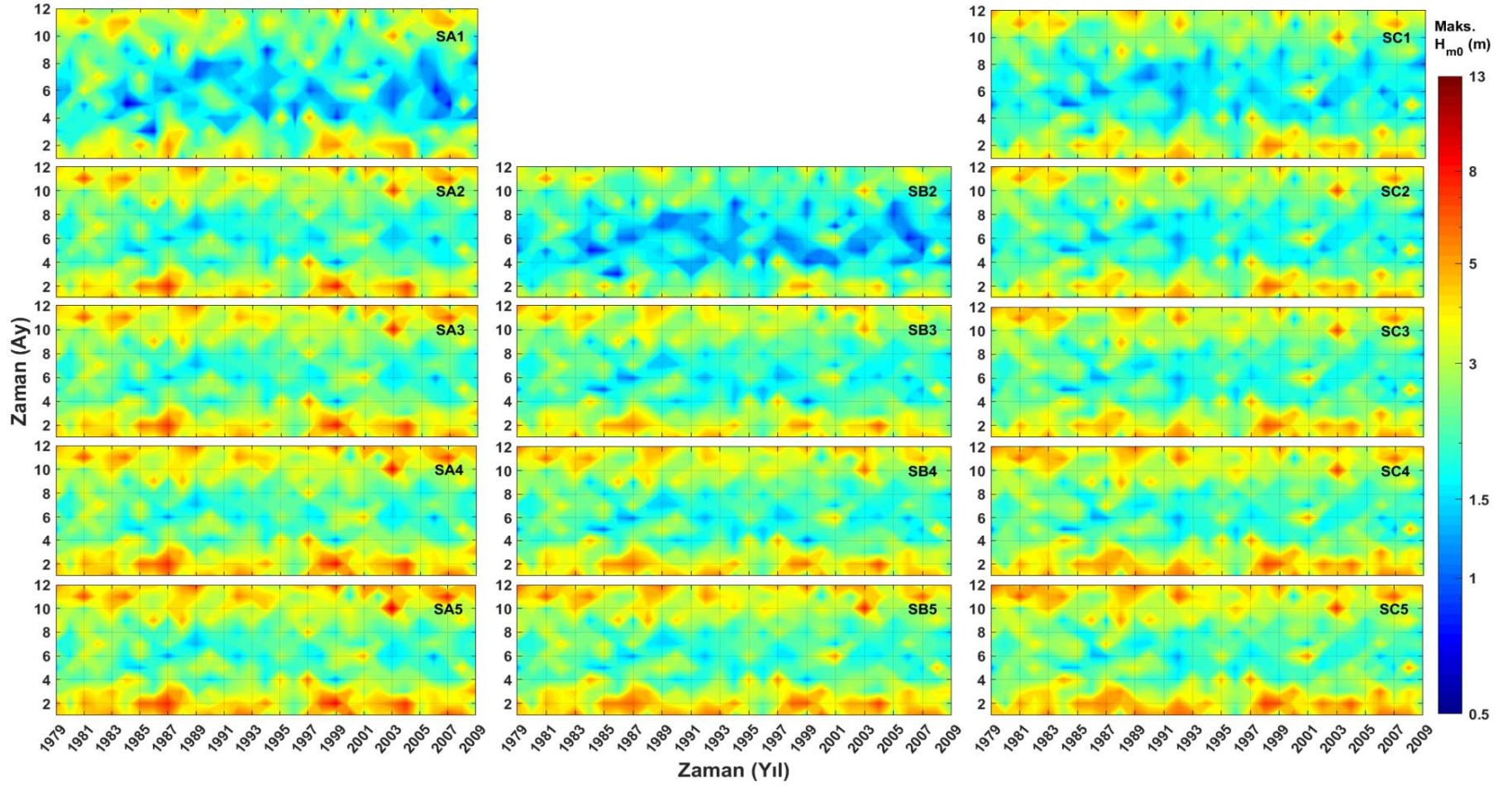
EK Şekil 1.11. 14 istasyon (FB1-FB5, FC2-FC5, FD1-FD5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



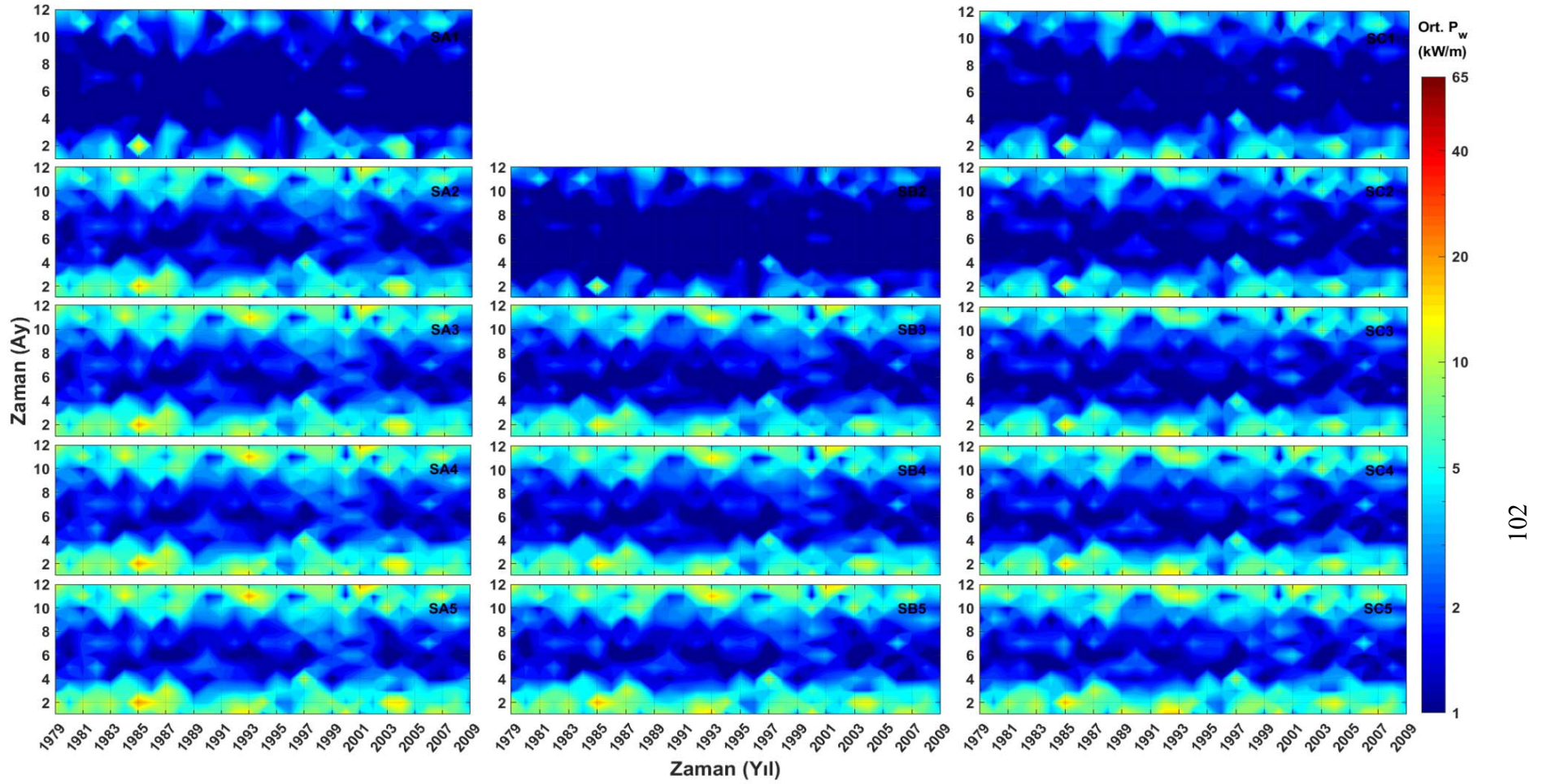
EK Şekil 1.12. 14 istasyon (FB1-FB5, FC2-FC5, FD1-FD5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



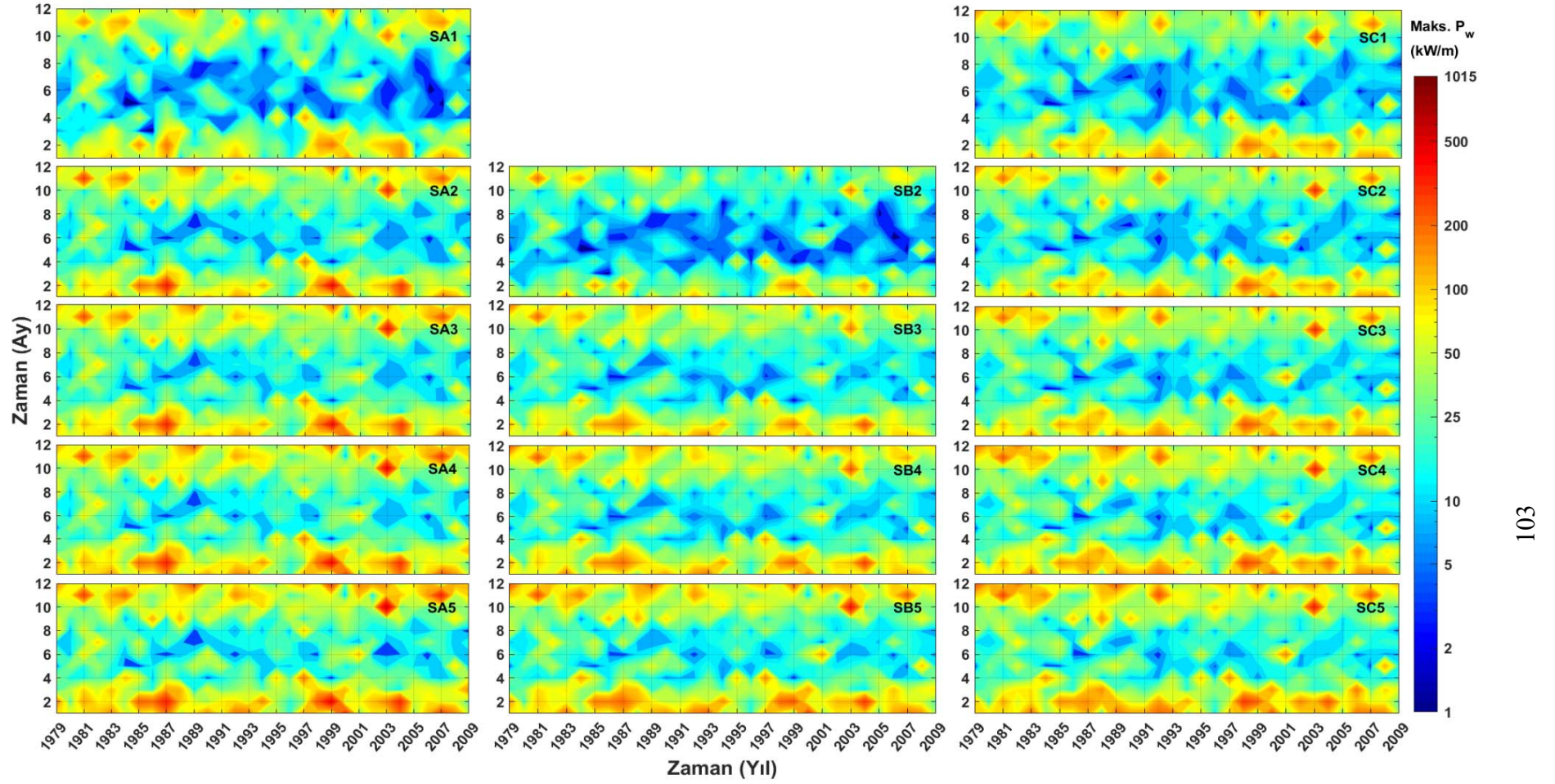
Ek Şekil 1.13. 14 istasyon (SA1-SA5, SB2-SB5, SC1-SC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



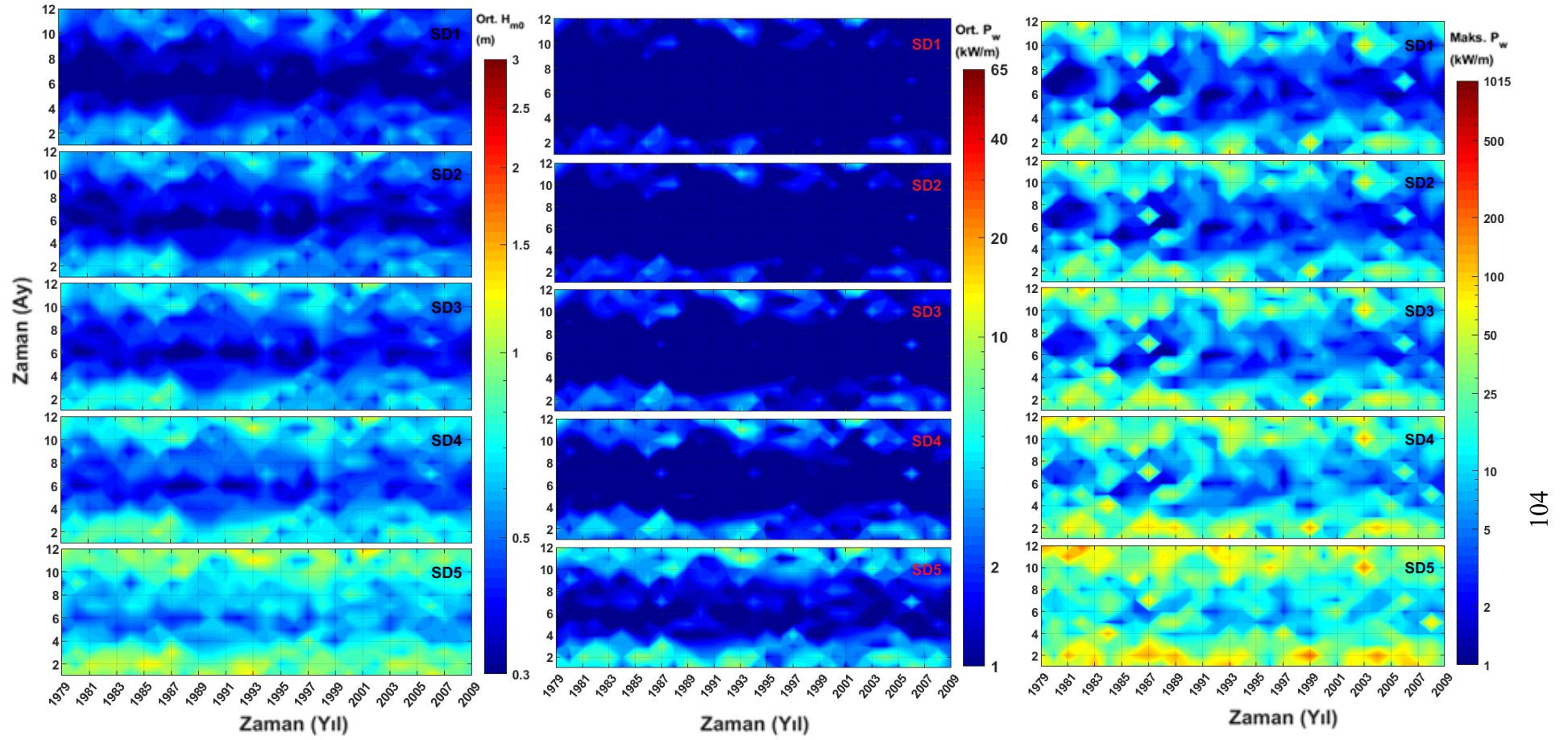
Ek Şekil 1.14. 14 istasyon (SA1-SA5, SB2-SB5, SC1-SC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum H_{m0} (m) değerlerinin yıl içi değişimi.



EK Şekil 1.15. 14 istasyon (SA1-SA5, SB2-SB5, SC1-SC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



EK Şekil 1.16. 14 istasyon (SA1-SA5, SB2-SB5, SC1-SC5) için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık maksimum P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.



EK Şekil 1.17. SD1, SD2, SD3, SD4 ve SD5 istasyonları için 31 yıllık zaman aralığı (1979 - 2009) boyunca aylık ortalama H_{m0} (m), ortalama ve maksimum P_w (kW/m) değerlerinin yıl içi değişimi.

EK 2. Çalışmada kullanılan 15 DED sistemlerinin güç matrisleri

Ek Çizelge 2.1. Pelamis DED sistemi için güç matrisi

	Dalga Enerji Peryodu T_e (s)																
	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	0	0
	1,5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37
	2	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	118	104	93	83	74	66
	2,5	89	138	180	212	231	238	238	230	218	199	181	183	146	130	118	103
	3	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	187	149
	3,5	0	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202
	4	0	0	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237
	4,5	0	0	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	359	338	300
	5	0	0	0	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348
	5,5	0	0	0	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	476	446	395
	6	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470
	6,5	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512
	7	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584
	7,5	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622
	8	0	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	690

EK Çizelge 2.2. WaveBob (F-2HB) DED sistemi için güç matrisi

Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)	Dalga Enerji Peryodu T _e (s)													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	6	11	19	25	30	44	50	53	44	34	22	20	17
	1,5	13	25	43	55	68	90	102	92	91	66	65	65	45
	2	24	45	65	100	121	153	175	151	122	126	87	61	58
	2,5	0	65	104	141	191	179	243	255	190	181	135	99	83
	3	0	96	137	205	244	357	293	353	260	248	184	137	120
	3,5	0	0	192	254	291	431	385	424	324	285	239	222	172
	4	0	0	256	366	403	551	536	531	473	420	289	268	179
	4,5	0	0	327	418	574	678	708	665	509	415	386	244	249
	5	0	0	358	514	658	824	828	618	638	512	453	384	333
	5,5	0	0	0	610	774	880	936	905	805	603	456	397	311
	6	0	0	0	711	952	974	1000	838	886	648	501	503	396
	6,5	0	0	0	788	1000	1000	1000	979	1000	727	577	435	424
7	0	0	0	871	1000	1000	1000	1000	1000	959	748	574	478	

EK Çizelge 2.3. WaveDragon DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Enerji Peryodu T_e (s)												
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	1	160	250	360	360	360	360	360	360	320	280	250	220	180
	2	640	700	840	900	1190	1190	1190	1190	1070	950	830	710	590
	3	0	1450	1610	1750	2000	2620	2620	2620	2360	2100	1840	1570	1310
	4	0	0	2840	3220	3710	4200	5320	5320	4430	3930	3440	2950	2460
	5	0	0	0	4610	5320	6020	7000	7000	6790	6090	5250	3950	3300
	6	0	0	0	0	6720	7000	7000	7000	7000	7000	6860	5110	4200
	7	0	0	0	0	0	7000	7000	7000	7000	7000	7000	6650	5740

EK Çizelge 2.4. WaveStar DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Enerji Peryodu T_e (s)										
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	49	73	85	86	83	78	82	67	63	59
	1,5	54	136	193	205	196	182	187	153	142	132	123
	2	106	265	347	347	322	294	265	244	224	207	193
	2,5	175	429	522	499	457	412	372	337	312	288	267
	3	262	600	600	600	600	540	484	442	399	367	340

EK Çizelge 2.5. Oyster 2 (B-OF) DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Enerji Peryodu T_e (s)												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	1	27	39	57	76	87	104	109	100	101	98	94	94	87
	1,5	63	92	126	188	201	213	201	239	207	198	183	150	154
	2	75	180	233	301	380	408	383	399	329	365	319	265	259
	2,5	0	254	378	467	568	623	618	601	519	523	481	390	428
	3	0	368	503	693	799	824	876	792	759	704	546	579	554
	3,5	0	0	655	934	1032	1085	1241	1075	973	925	862	747	688
	4	0	0	843	1093	1352	1427	1430	1390	1158	1224	1139	1138	863
	4,5	0	0	1219	1408	1844	1877	1807	1841	1862	1562	1404	1370	1191
	5	0	0	1247	1871	1965	1962	2000	2000	1833	1798	1814	1459	1442
	5,5	0	0	0	1979	2339	2308	2115	2389	2120	2013	1940	1518	1587
	6	0	0	0	2406	2713	2776	2344	2705	2451	2396	2182	2414	2133
	6,5	0	0	0	2778	3044	3001	2989	3211	2986	2896	2716	2455	2309
	7	0	0	0	2871	3119	3131	3127	3176	3332	2877	2925	2676	2658

EK Çizelge 2.6. AquaBuoy DED sistemi için güç matrisi

Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)		Dalga Pik Peryodu T _p (s)												
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	0	0	8	11	12	11	10	8	7	0	0	0	0
	1,5	0	13	17	25	27	26	23	19	15	12	12	12	7
	2	0	24	30	44	49	47	41	34	28	23	23	23	12
	2,5	0	37	47	69	77	73	64	54	43	36	36	36	19
	3	0	54	68	99	111	106	92	77	63	51	51	51	27
	3,5	0	0	93	135	152	144	126	105	86	70	70	70	38
	4	0	0	0	122	176	198	188	164	137	112	91	91	49
	4,5	0	0	0	223	250	239	208	173	142	115	115	115	62
5	0	0	0	250	250	250	250	214	175	142	142	142	77	
5,5	0	0	0	250	250	250	250	250	211	172	172	172	92	

EK Çizelge 2.7. Oyster DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Enerji Peryodu T_e (s)								
		5	6	7	8	9	10	11	12	13
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	0,5	0	0	0	0	0	0	1	3	3
	1	20	30	38	42	44	44	45	47	45
	1,5	80	85	92	97	102	103	104	100	104
	2	140	147	152	158	155	155	160	161	156
	2,5	192	197	208	202	203	209	211	201	204
	3	241	237	237	241	243	230	236	231	235
	3,5	0	271	272	269	268	267	270	260	260
	4	0	291	290	290	280	287	276	278	277
	4,5	0	291	290	290	280	287	276	278	277
	5	0	0	290	290	280	287	276	278	277
	5,5	0	0	290	290	280	287	276	278	277
	6	0	0	290	290	280	287	276	278	277

EK Çizelge 2.8. Oceantec DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Pik Periyodu T _p (s)												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)	1	85	87	59	39	25	16	10	7	5	3	2	2	1
	1,5	191	196	133	89	57	36	23	15	10	7	5	3	3
	2	339	348	234	158	101	64	41	27	18	12	9	6	4
	2,5	500	500	364	245	158	101	65	42	28	19	13	10	7
	3	500	500	500	337	228	145	93	61	41	28	19	14	10
	3,5	500	500	500	420	309	196	127	83	55	38	26	19	13
	4	500	500	500	500	401	258	166	109	72	49	34	24	18
	4,5	500	500	500	500	500	326	210	138	92	62	43	31	22
	5	500	500	500	500	500	383	259	170	113	77	54	38	27
	5,5	500	500	500	500	500	389	308	205	137	93	65	46	33

EK Çizelge 2.9. Seawave Slot-cone Generator (SSG) DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Enerji Peryodu T_e (s)													
		5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	0,5	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	198	208	218	228
	1	397	437	476	516	556	595	635	675	715	754	794	833	873	913
	1,5	893	982	1072	1161	1250	1340	1429	1518	1608	1697	1786	1875	1965	2054
	2	1588	1746	1905	2064	2223	2381	2540	2699	2858	3016	3175	3334	3493	3651
	2,5	2481	2729	2977	3225	3473	3721	3969	4217	4465	4713	4961	5209	5457	5705
	3	3572	3929	4287	4644	5001	5358	5715	6073	6430	6787	7144	7501	7859	8216
	3,5	4862	5348	5834	6321	6807	7293	7779	8265	8751	9238	9724	10210	10695	11183
	4	6350	6985	7620	8256	8891	9526	10161	10796	11431	12066	12701	13336	13971	14606
	4,5	8037	8841	9645	10448	11252	12056	12860	13663	14467	15271	16074	16878	17682	18486
	5	9923	10915	11907	12899	13892	14884	15876	16868	17860	18853	19845	20000	20000	20000
	5,5	12006	13207	14407	15608	16809	18009	19210	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	6	14288	15717	17146	18575	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	6,5	16769	18446	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	7	19448	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	7,5	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	8	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000

EK Çizelge 2.10. Archimedes Wave Swing (AWS) DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Enerji Peryodu T_e (s)																			
		5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	1	2	7	13	19	26	34	41	48	58	68	81	93	105	118	131	144	153	163	183	203
	1,5	4	15	28	41	56	72	85	99	121	143	173	203	226	248	266	285	309	334	357	380
	2	8	26	49	73	100	127	150	172	210	247	292	337	366	395	418	442	482	523	543	563
	2,5	15	43	78	113	159	205	234	263	320	376	438	499	531	563	603	643	675	708	741	774
	3	25	61	111	161	227	293	339	386	453	521	600	680	722	765	827	888	897	906	945	984
	3,5	35	92	155	218	305	391	454	517	605	694	772	851	913	975	1036	1096	1119	1141	1163	1185
	4	35	114	194	273	380	486	572	659	776	894	961	1027	1103	1179	1227	1275	1316	1357	1365	1374
	4,5	0	0	235	232	479	626	722	819	957	1096	1168	1240	1320	1401	1449	1497	1547	1598	1590	1583
	5	0	0	280	400	592	784	899	1014	1144	1274	1380	1487	1569	1651	1691	1731	1785	1838	1807	1777
	5,5	0	0	320	432	641	849	1033	1216	1331	1446	1568	1690	1778	1867	1919	1970	1977	1984	1994	2005
6	0	0	0	0	680	944	1155	1367	1495	1623	1759	1895	1936	2072	2137	2202	2205	2207	2226	2246	
6,5	0	0	0	0	720	1123	1335	1547	1678	1809	1936	2116	2200	2284	2332	2380	2425	2470	2452	2434	

EK Çizelge 2.11. Langlee DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Pik Peryodu T _p (s)												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)	1	19	29	47	57	52	37	29	20	17	13	9	7	7
	1,5	42	63	92	111	109	65	56	38	29	22	19	13	11
	2	66	99	151	201	165	105	85	59	52	41	23	24	19
	2,5	0	160	242	262	226	166	118	83	70	57	39	29	26
	3	0	213	319	372	327	211	152	116	94	75	66	45	42
	3,5	0	0	436	503	408	293	203	148	115	93	75	58	44
	4	0	0	554	540	521	355	261	192	144	123	84	81	56
	4,5	0	0	645	746	587	379	302	236	190	154	106	90	74
	5	0	0	796	926	695	486	341	287	211	168	136	111	94
	5,5	0	0	0	955	808	603	430	343	231	201	150	120	97
	6	0	0	0	1161	957	642	481	329	289	212	172	146	111
	6,5	0	0	0	1476	1039	702	488	397	312	237	204	153	120
7	0	0	0	1665	1197	821	612	466	385	252	223	181	146	

EK Çizelge 2.12. OEBuoy DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Pik Peryodu T _p (s)												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)	1	8	17	27	42	56	59	52	44	40	38	40	38	30
	1,5	17	39	61	96	126	132	117	99	89	87	89	85	66
	2	30	69	108	170	224	235	208	177	159	154	159	151	118
	2,5	47	108	169	266	350	368	324	276	249	241	248	236	185
	3	68	155	244	383	504	530	467	398	358	347	357	340	266
	3,5	93	212	332	521	686	721	636	542	487	472	486	463	362
	4	121	276	433	680	896	942	831	708	636	616	634	605	473
	4,5	154	350	548	861	1130	1190	1050	896	805	780	803	765	599
	5	190	432	677	1060	1400	1470	1300	1110	994	963	991	945	739
	5,5	0	523	819	1290	1690	1780	1570	1340	1200	1170	1200	1140	894
	6	0	622	975	1530	2020	2120	1870	1590	1430	1390	1430	1360	1060
	6,5	0	730	1140	1800	2370	2490	2190	1870	1680	1630	1670	1600	1250
7	0	847	1330	2080	2750	2880	2540	2170	1950	1890	1940	1850	1450	

EK Çizelge 2.13. Pontoon (Floating Heave Buoy Array) DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Pik Peryodu T _p (s)													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Belirgin Dalga Yüksekliği H _s (m)	1	180	166	153	171	125	87	72	65	85	85	37	29	16	
	1,5	223	195	157	148	261	192	223	139	155	155	74	67	46	
	2	0	0	214	227	396	335	237	235	172	138	115	104	70	
	2,5	0	0	0	440	598	514	379	342	204	169	142	128	95	
	3	0	0	0	681	801	735	594	486	199	174	151	134	121	
	3,5	0	0	0	904	1035	949	788	617	239	209	183	164	146	
	4	0	0	0	1131	1269	1163	982	743	285	248	216	195	175	
	4,5	0	0	0	1358	1488	1374	1187	869	330	287	250	225	201	
	5	0	0	0	1585	1712	1585	1392	988	380	334	285	263	226	
	5,5	0	0	0	1812	1937	1798	2138	1107	429	381	323	301	261	
	6	0	0	0	2040	2162	2010	2884	1234	439	416	361	336	295	
	6,5	0	0	0	2267	2386	2221	3143	1360	449	450	406	372	329	
	7	0	0	0	2494	2611	2433	3619	1483	506	464	451	408	363	

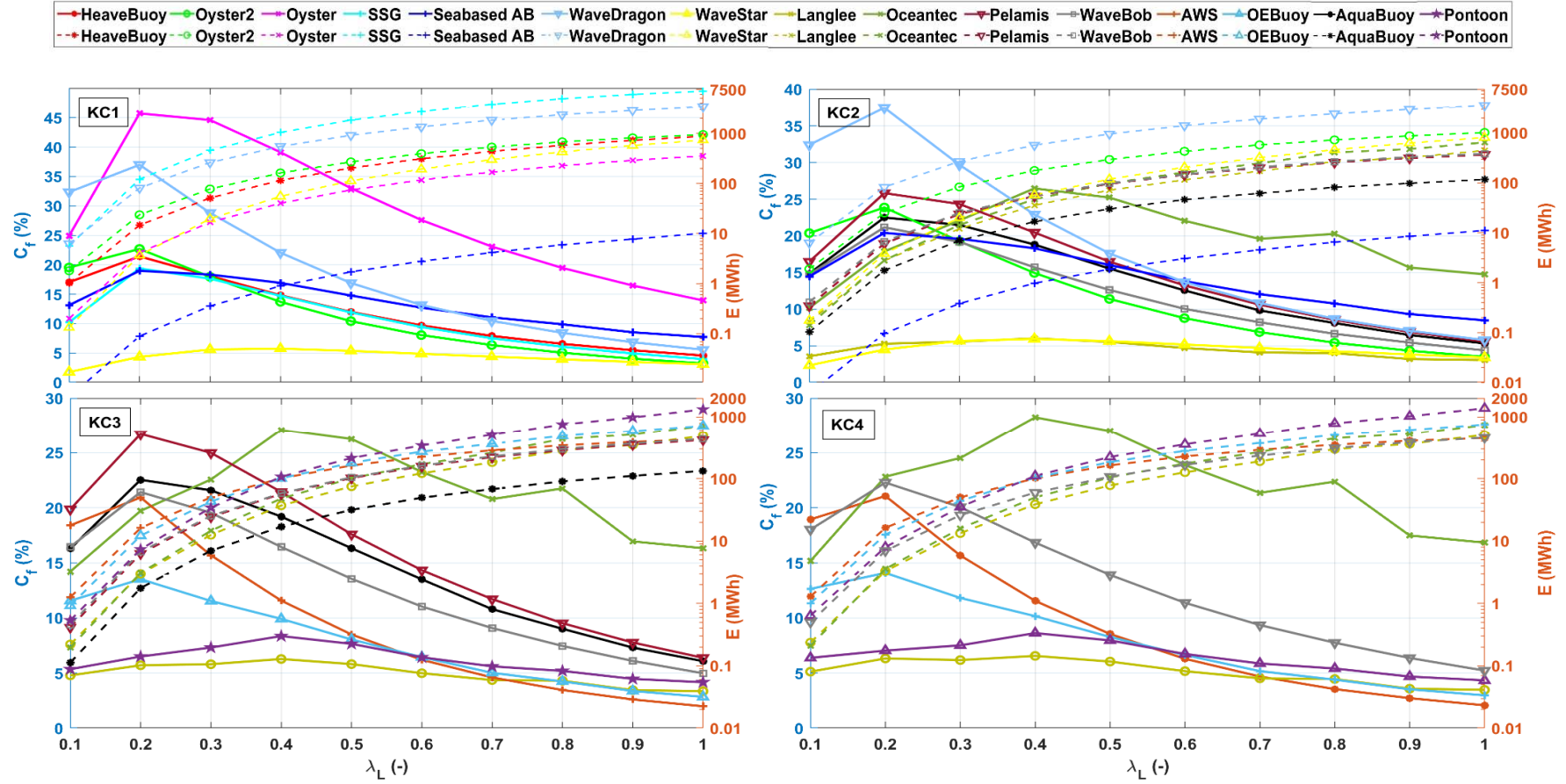
EK Çizelge 2.14. Bottom-fixed Heave Buoy Array (HeaveBuoy) DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Ortalama Peryodu $T_{ort.}$ (s)													
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	0	49	73	85	86	83	78	72	67	63	59	46	42	37
	1,5	54	136	193	205	196	182	167	153	142	132	123	107	94	80
	2	106	265	347	347	322	294	265	244	224	207	193	185	180	153
	2,5	175	429	522	499	457	412	372	337	337	288	267	225	236	228
	3	262	600	653	641	602	557	555	460	471	451	445	437	381	325
	3,5	0	0	0	900	848	785	717	662	656	557	551	571	580	478
	4	0	0	0	1123	1098	1030	984	825	857	821	830	735	635	652
	4,5	0	0	0	1339	1339	1202	1181	1050	1140	1012	948	863	845	828
	5	0	0	0	1689	1518	1403	1318	1248	1348	1115	1176	925	890	982
	5,5	0	0	0	0	1943	1749	1517	1477	1374	1395	1376	1289	1212	1117
	6	0	0	0	0	2192	2144	1618	1789	1586	1634	1783	1585	1346	1313

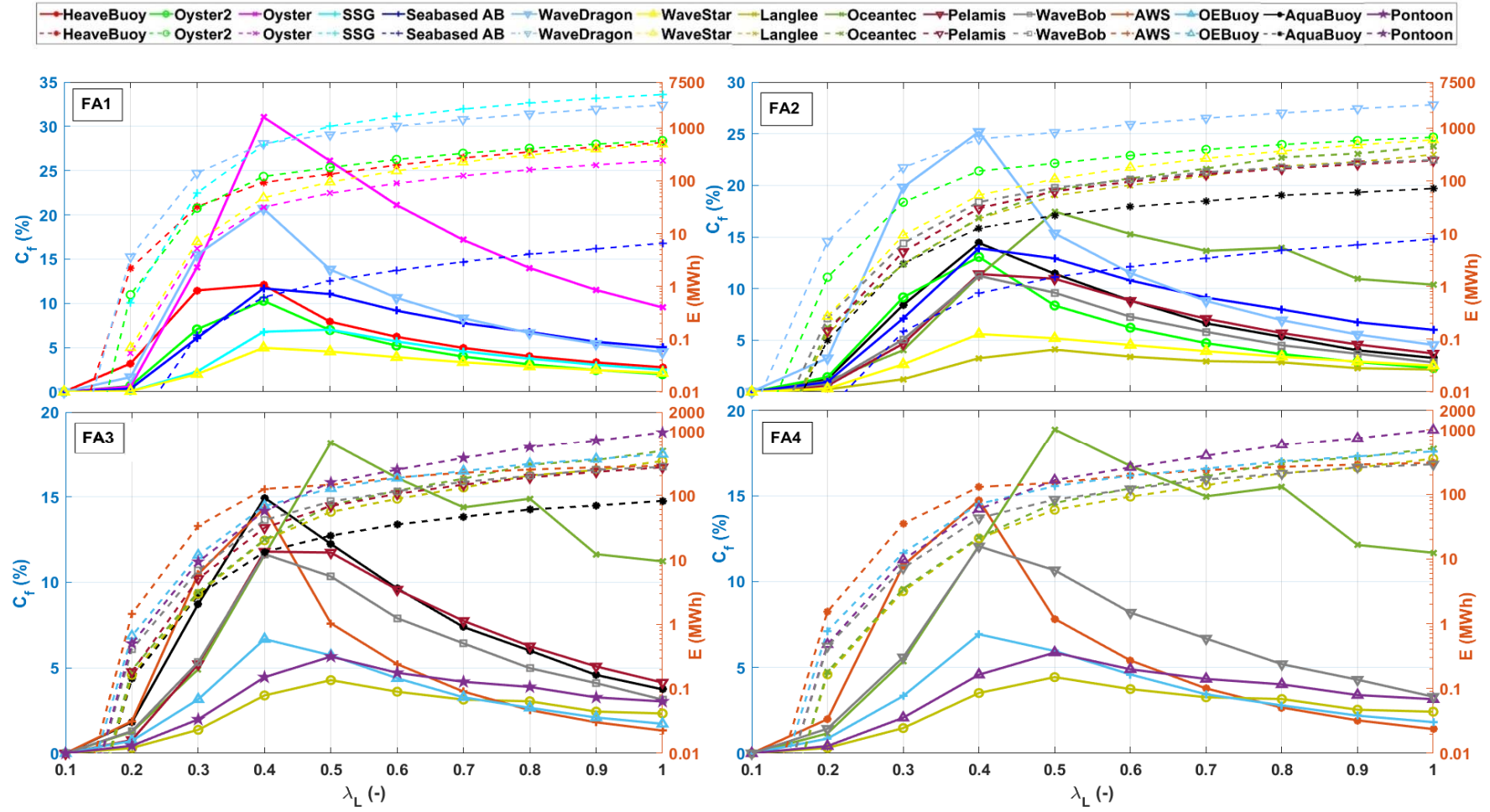
EK Çizelge 2.15. Seabased AB DED sistemi için güç matrisi

		Dalga Pik Peryodu T_p (s)													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Belirgin Dalga Yüksekliği H_s (m)	1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	
	1,5	2,6	2,5	2,3	2,2	2,3	2	1,9	1,7	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	
	2	4,4	4	3,7	3,6	3,5	3,1	2,8	2,5	2,3	2,2	2	1,8	1,7	
	2,5	0	6	5,2	4,5	4,6	4,3	3,9	3,6	3	2,8	2,5	2,7	2,6	
	3	0	7,4	6,7	6,2	5,7	5,4	4,7	4,1	4,1	3,7	3,3	3,3	3,2	
	3,5	0	0	8,4	7,3	6,9	5,8	5,4	4,9	4,4	4,2	3,7	3,4	3,6	
	4	0	0	8,9	8,6	7,6	6,8	6,2	5,6	5	4,6	4,5	4,3	3,6	
	4,5	0	0	10,6	9,5	8,7	7,6	7	6,1	5,9	5,4	5,1	5	4,7	
	5	0	0	12,2	10,8	9,8	8,6	7,3	7,2	6,3	5,9	5,7	5,4	5	
	5,5	0	0	0	11,1	10,1	8,9	8,1	7,5	6,8	6,4	6,1	5,5	5,8	
	6	0	0	0	13,1	11,3	10,1	9,1	8,3	7,5	6,7	6,9	6,4	5,8	
	6,5	0	0	0	13,5	11,6	10,4	9,8	9	7,6	7,3	7,5	6,2	6,4	
	7	0	0	0	15	12,9	10,9	10	8,8	8,6	8,2	7,6	7,3	6,8	

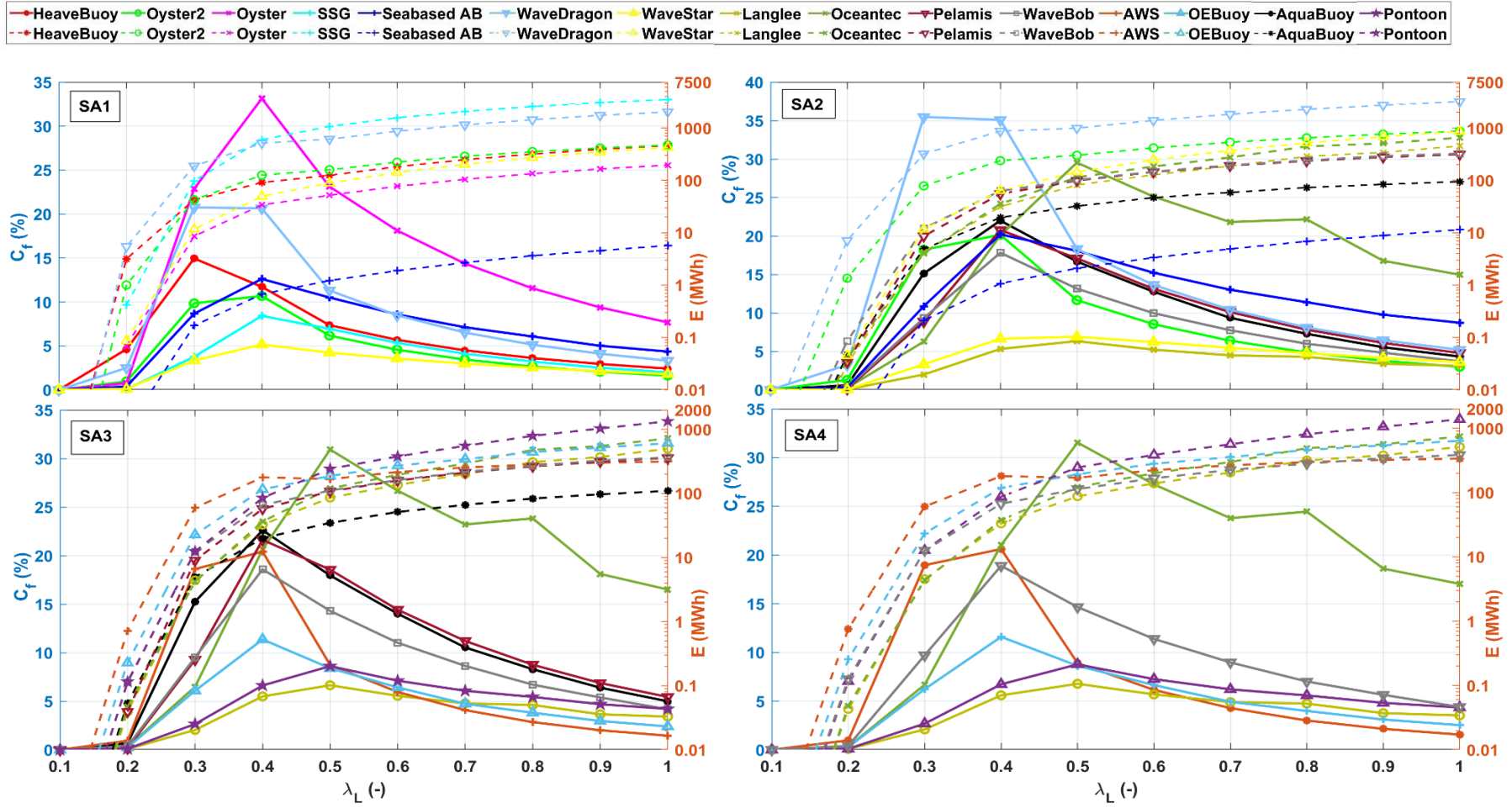
EK 3. Ölçeklendirilmiş DED sistemlerin enerji ve kapasite faktörünün değişim grafikleri



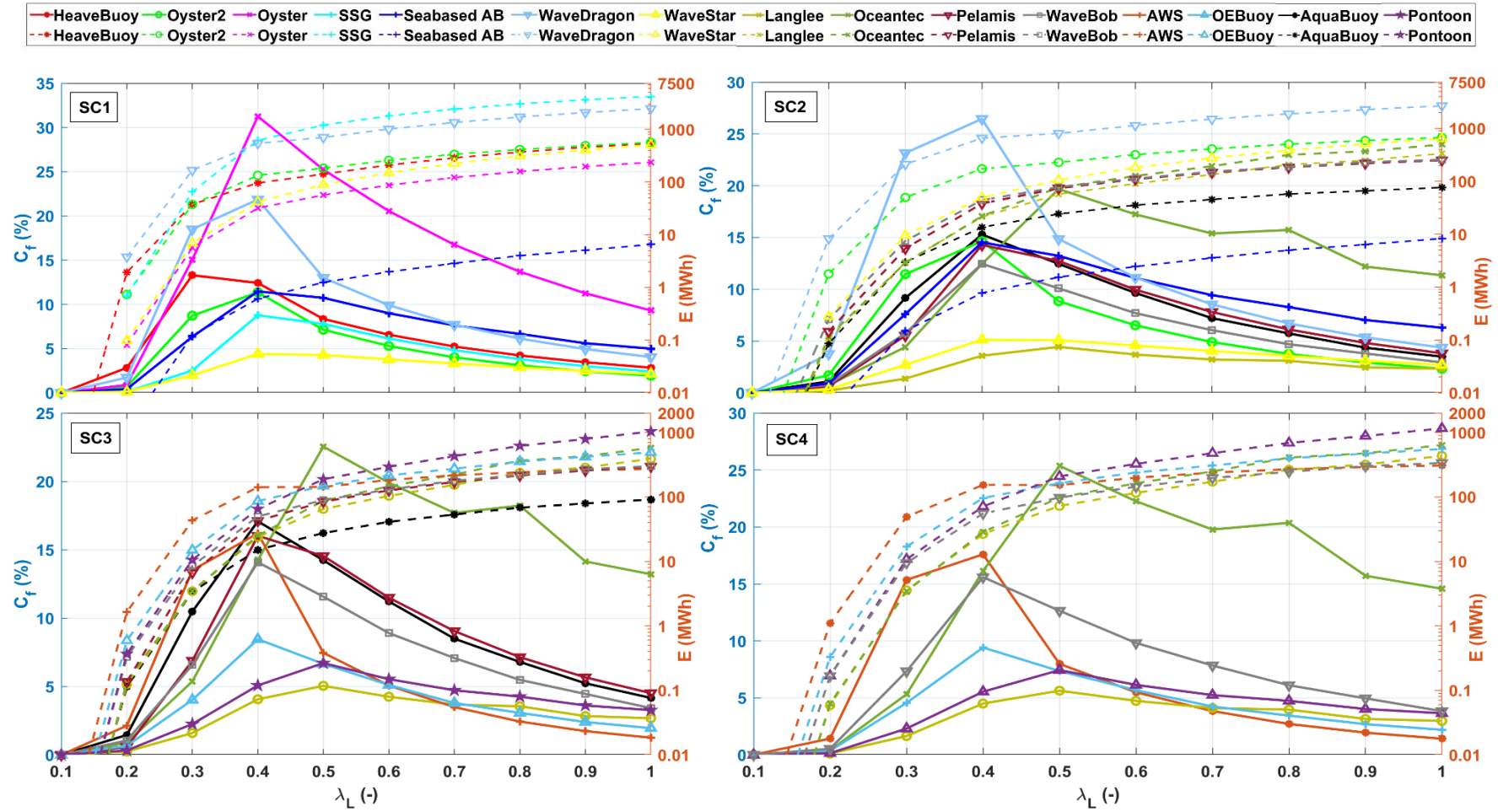
Ek Şekil 3.1. 15 farklı DED sistemlerinin 31 yıllık uzun vadeli dalga modeli sonuçlarına dayanarak elde edilen ortalama beklenen dalga enerjisi (MWh, kesik çizgiler, sağ y-ekseni) ve C_f (%), sürekli çizgiler, sol y-ekseni) KC1-KC4 konumları için ölçeklendirme faktörüne (λ_L) karşı değişimi



Ek Şekil 3.2. 15 farklı DED sistemlerinin 31 yıllık uzun vadeli dalga modeli sonuçlarına dayanarak elde edilen beklenen dalga enerjisi (MWh, kesik çizgiler, sağ y-ekseni) ve C_f (%), sürekli çizgiler, sol y-ekseni) FA1-FA4 konumları için ölçeklendirme faktörüne (λ_L) karşı değişimi



Ek Şekil 3.3. 15 farklı DED sistemlerinin 31 yıllık uzun vadeli dalga modeli sonuçlarına dayanarak elde edilen beklenen dalga enerjisi (MWh, kesik çizgiler, sağ y-ekseni) ve C_f (%), sürekli çizgiler, sol y-ekseni) SA1-SA4 konumları için ölçeklendirme faktörüne (λ_L) karşı değişimi



Ek Şekil 3.4. 15 farklı DED sistemlerinin 31 yıllık uzun vadeli dalga modeli sonuçlarına dayanarak elde edilen beklenen dalga enerjisi (MWh, kesik çizgiler, sağ y-ekseni) ve C_f (%), sürekli çizgiler, sol y-ekseni) SC1-SC4 konumları için ölçeklendirme faktörüne (λ_L) karşı değişimi

EK 4. Tam ve optimum ölçekli cihazların ortalama nominal güç (P_n), kapasite faktörü (C_f), beklenen güç (P), beklenen enerji (E), nominal kapasite (R_f) ve çalışma saatleri (O_h)

Ek Çizelge 4.1. KC1 (14 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

KC1	HeaveBuoy		Oyster2		Oyster		SSG		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,4
P_n (kW)	2192,0	7,8	3332,0	11,9	290,0	1,0	20000,0	71,6	15,0	0,1	7000,0	25,0	2709,0	109,7
C_f (%)	4,6	21,4	3,2	22,7	13,9	45,7	4,0	19,4	7,7	19,0	5,6	37,0	3,1	5,8
P (kW)	100,1	1,7	108,2	2,7	40,4	0,5	792,9	13,9	1,2	0,0	390,1	9,3	83,9	6,3
E (MWh)	877,1	14,7	947,4	23,7	354,1	4,2	6945,4	121,4	10,1	0,1	3417,2	81,1	734,8	55,2
R_f (%)	0,00	0,13	0,00	0,37	1,99	23,05	0,34	5,01	0,00	0,00	0,43	16,05	0,64	1,68
O_h (Sa)	4396,6	6365,3	4863,5	6702,7	4351,7	6006,7	4044,4	5844,4	4876,6	6438,9	5229,8	7472,4	4687,6	5647,4

EK Çizelge 4.2. KC2 (25 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

KC2	AquaBuoy		Oyster2		Langlee		Oceantec		Pelamis		WaveBob		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,2	1	0,2	1	0,4	1	0,4	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,4
P_n (kW)	250,0	0,9	3332,0	11,9	1665,0	67,4	500,0	20,2	750,0	2,7	1000,0	3,6	15,0	0,1	7000,0	25,0	2709,0	109,7
C_f (%)	5,3	22,5	3,5	23,9	3,1	6,0	14,8	26,5	5,6	25,8	4,4	21,2	8,5	20,4	5,8	37,5	3,4	5,9
P (kW)	13,3	0,2	116,4	2,8	50,9	4,1	73,8	5,4	41,9	0,7	43,8	0,8	1,3	0,0	404,9	9,4	92,4	6,5
E (MWh)	116,7	1,8	1019,8	24,9	445,6	35,5	646,3	46,9	367,2	6,1	383,4	6,6	11,1	0,1	3547,2	82,3	809,4	57,0
R_f (%)	0,21	0,73	0,02	0,85	0,00	0,00	0,27	1,04	0,03	1,20	0,03	0,29	0,00	0,00	0,37	17,55	1,13	2,57
O_h (Sa)	2892,5	5652,9	5094,6	7018,4	5121,8	7195,8	3681,2	6662,4	3042,7	6223	5121,8	6790,1	5121,8	6790,1	4996,2	7036,6	4896,4	5690,5

EK Çizelge 4.3. KC3 (53 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

KC3	AquaBuoy		Langlee		Oceantec		AWS		Pelamis		OEBuoy		WaveBob		Pontoon	
Ölçek	1	0,2	1	0,4	1	0,4	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,4
P_n (kW)	250,0	0,9	1665,0	67,4	500,0	20,2	2470,0	8,8	750,0	2,7	2880,0	10,3	1000,0	3,6	3619,0	146,5
C_f (%)	6,1	22,5	3,4	6,3	16,3	27,1	2,0	20,9	6,4	26,7	2,8	13,5	5,0	21,4	4,2	8,4
P (kW)	15,2	0,2	56,0	4,2	81,6	5,5	49,3	1,8	47,9	0,7	82,0	1,4	49,9	0,8	151,0	12,2
E (MWh)	133,2	1,8	490,2	37,1	715,2	48,0	431,6	16,2	419,6	6,3	718,4	12,2	436,9	6,7	1323,1	107,3
R_f (%)	0,53	0,83	0,00	0,00	0,72	1,30	0,01	2,31	0,11	1,48	0,00	0,00	0,15	0,36	0,00	0,00
O_h (Sa)	3000,3	5535,9	5233,6	7502	3743,8	6530	3783,3	6353,9	3113,2	6250,7	5233,6	6855,3	5233,6	6855,3	5233,4	7481,2

EK Çizelge 4.4. KC4 (76 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

KC4	AWS		Langlee		Oceantec		OEBuoy		Pontoon		WaveBob	
Ölçek	1	0,2	1	0,4	1	0,4	1	0,2	1	0,4	1	0,2
P_n (kW)	2470,0	8,8	1665,0	67,4	500,0	20,2	2880,0	10,3	3619,0	146,5	1000,0	3,6
C_f (%)	2,1	21,1	3,5	6,6	16,8	28,3	3,0	14,1	4,3	8,6	5,2	22,3
P (kW)	51,4	1,9	58,0	4,4	84,2	5,7	86,0	1,5	157,2	12,6	52,3	0,8
E (MWh)	450,7	16,3	508,0	38,7	737,4	50,1	753,6	12,7	1377,4	110,7	458,2	7,0
R_f (%)	0,01	2,30	0,00	0,00	0,99	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,45
O_h (Sa)	3760	6493,1	5364,5	7685,9	3745,1	6518,1	5364,5	6880,4	5364,1	7605,6	5364,5	6880,4

EK Çizelge 4.5. FA1 (13 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

FA1	HeaveBuoy		Oyster2		Oyster		SSG		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4
P_n (kW)	2192,0	88,7	3332,0	134,9	290,0	11,7	20000,0	1767,8	15,0	0,6	7000,0	283,3	2709,0	109,7
C_f (%)	2,8	12,1	2,0	10,3	9,5	31,0	2,5	7,0	5,0	11,7	4,5	20,7	2,1	5,0
P (kW)	60,9	10,7	66,3	13,9	27,6	3,6	496,7	124,2	0,8	0,1	314,7	58,6	57,4	5,5
E (MWh)	533,2	93,8	580,5	121,5	242,1	31,9	4351,4	1087,9	6,6	0,6	2757,2	513,6	502,6	47,8
R_f (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,70	0,02	0,03	0,00	0,00	0,09	0,31	0,00	0,02
O_h (Sa)	3886,9	7501,8	3954,9	7339,7	3872,8	6503,1	5111,6	7528,9	3955,2	6997,2	6335,3	8453,8	3913,1	6211,1

EK Çizelge 4.6. FA2 (22 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

FA2	AquaBuoy		Oyster2		Langlee		Oceantec		Pelamis		WaveBob		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,4	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4
P_n (kW)	250,0	10,1	3332,0	134,9	1665,0	147,2	500,0	44,2	750,0	30,4	1000,0	40,5	15,0	0,6	7000,0	283,3	2709,0	109,7
C_f (%)	3,3	14,4	2,3	13,1	2,2	4,1	10,4	17,5	3,7	11,4	2,8	11,2	6,0	13,9	4,5	25,2	2,5	5,6
P (kW)	8,2	1,5	77,1	17,6	36,0	6,0	51,9	7,7	27,8	3,5	28,4	4,5	0,9	0,1	318,2	71,4	68,8	6,1
E (MWh)	71,9	12,8	675,1	154,4	315,5	52,8	454,6	67,6	244,0	30,3	249,1	39,8	7,9	0,7	2787,8	625,0	602,9	53,8
R_f (%)	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10	1,44	0,01	0,04
O_h (Sa)	3017,5	7439,7	4515,6	7842	4517,1	7141,8	3962,4	6962,4	3509,8	6758,2	4517,1	7483,4	4517,1	7483,4	5857,7	8331,4	4467,2	6425,8

EK Çizelge 4.7. FA3 (51 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

FA3	AquaBuoy		Langlee		Oceantec		AWS		Pelamis		OEBuoy		WaveBob		Pontoon	
Ölçek	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,5
P_n (kW)	250,0	10,1	1665,0	147,2	500,0	44,2	2470,0	100,0	750,0	30,4	2880,0	116,6	1000,0	40,5	3619,0	319,9
C_f (%)	3,7	14,9	2,3	4,3	11,2	18,2	1,3	14,4	4,1	11,8	1,7	6,7	3,1	11,6	3,0	5,7
P (kW)	9,4	1,5	38,8	6,3	56,1	8,0	32,9	14,4	31,0	3,6	49,8	7,8	31,4	4,7	109,8	18,1
E (MWh)	82,0	13,2	340,2	55,2	491,7	70,4	288,2	125,7	272,0	31,4	436,1	68,2	275,2	41,3	962,0	158,6
R_f (%)	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,10	0,01	0,14	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
O_h (Sa)	3114,5	7371,3	4640,1	7250,9	4043,4	7008,4	4235,5	7422,5	3543	6734,3	4640,1	7582,2	4640,1	7581,4	4638,2	7248,9

EK Çizelge 4.8. FA4 (75 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

FA4	AWS		Langlee		Oceantec		OEBuoy		Pontoon		WaveBob	
Ölçek	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,5	1	0,4
P_n (kW)	2470,0	100,0	1665,0	147,2	500,0	44,2	2880,0	116,6	3619,0	319,9	1000,0	40,5
C_f (%)	1,4	14,7	2,4	4,4	11,7	18,9	1,8	6,9	3,2	5,9	3,3	12,1
P (kW)	34,8	14,7	40,4	6,5	58,4	8,4	52,3	8,1	114,1	18,8	33,0	4,9
E (MWh)	305,2	129,1	353,7	57,2	511,5	73,2	458,3	70,8	1000,0	164,4	288,8	42,7
R_f (%)	0,01	0,19	0,00	0,00	0,02	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
O_h (Sa)	4318,9	7499,1	4778,2	7388,7	4121,8	7087,6	4778,2	7652	4776,1	7385,9	4778,2	7651,2

EK Çizelge 4.9. SA1 (12 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SA1	HeaveBuoy		Oyster2		Oyster		SSG		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,3	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,3	1	0,4
P_n (kW)	2192,0	32,4	3332,0	134,9	290,0	11,7	20000,0	809,5	15,0	0,6	7000,0	103,5	2709,0	109,7
C_f (%)	2,4	15,0	1,6	10,7	7,7	33,1	2,0	8,4	4,4	12,6	3,3	20,8	1,8	5,2
P (kW)	52,9	4,8	54,1	14,4	22,3	3,9	399,2	68,1	0,7	0,1	232,4	21,5	48,8	5,7
E (MWh)	463,7	42,5	473,5	126,1	195,1	34,1	3496,7	596,8	5,7	0,7	2035,8	188,2	427,8	49,6
R_f (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	3,25	0,06	0,41	0,00	0,00	0,14	0,31	0,03	0,01
O_h (Sa)	3234,9	7396,5	3289,6	7675	3214,4	7167,5	3537,4	7152,9	3290	7387,5	4922,4	7144,2	3240,5	6658,4

EK Çizelge 4.10. SA2 (24 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SA2	AquaBuoy		Oyster2		Langlee		Oceantec		Pelamis		WaveBob		Seabased		ABWave		DragonWave		Star	
Ölçek	1	0,4	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,3	1	0,5		
P_n (kW)	250,0	10,1	3332,0	134,9	1665,0	147,2	500,0	44,2	750,0	30,4	1000,0	40,5	15,0	0,6	7000,0	103,5	2709,0	239,4		
C_f (%)	4,3	22,0	3,0	20,2	3,1	6,3	15,0	29,5	4,8	20,8	3,7	17,8	8,7	20,2	5,2	35,5	3,6	6,9		
P (kW)	10,8	2,2	99,5	27,2	52,0	9,3	74,8	13,1	35,9	6,3	37,1	7,2	1,3	0,1	364,6	36,7	98,1	16,6		
E (MWh)	94,9	19,5	872,0	238,2	455,1	81,7	655,5	114,4	314,4	55,3	325,0	63,2	11,5	1,1	3194,1	321,8	859,6	145,0		
R_f (%)	0,05	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,08	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	5,64	0,43	0,20		
O_h (Sa)	2989,4	7857,4	5905,8	8387,6	5914,4	8260,2	4071,5	7838,9	3302,1	7776,4	5914,4	8158,5	5914,4	8158,5	5809,5	6624,1	5809,4	7329,9		

EK Çizelge 4.11. SA3 (52 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SA3	AquaBuoy		Langlee		Oceantec		AWS		Pelamis		OEBuoy		WaveBob		Pontoon	
Ölçek	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,5
P_n (kW)	250,0	10,1	1665,0	147,2	500,0	44,2	2470,0	100,0	750,0	30,4	2880,0	116,6	1000,0	40,5	3619,0	319,9
C_f (%)	5,0	22,6	3,4	6,6	16,5	30,9	1,5	20,4	5,4	21,6	2,4	11,4	4,2	18,6	4,2	8,6
P (kW)	12,5	2,3	56,9	9,8	82,6	13,7	35,9	20,4	40,8	6,6	69,3	13,3	41,7	7,5	152,4	27,6
E (MWh)	109,5	20,0	498,6	85,7	723,3	119,7	314,3	178,7	357,8	57,5	606,9	116,1	365,3	65,9	1335,3	241,5
R_f (%)	0,10	0,07	0,00	0,00	0,25	0,80	0,00	1,69	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
O_h (Sa)	3166,3	7754,5	6101,2	8324,7	4191,5	7854,9	4456,4	8132,3	3441,3	7707,9	6101,2	8135,9	6101,2	8135,9	6101,1	8321,5

EK Çizelge 4.12. SA4 (70 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SA4	AWS		Langlee		Oceantec		OEBuoy		Pontoon		WaveBob	
Ölçek	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,5	1	0,4
P_n (kW)	2470,0	100,0	1665,0	147,2	500,0	44,2	2880,0	116,6	3619,0	319,9	1000,0	40,5
C_f (%)	1,6	20,6	3,5	6,8	17,0	31,5	2,5	11,6	4,3	8,8	4,4	18,9
P (kW)	38,5	20,6	58,8	10,0	85,2	13,9	72,9	13,5	157,4	28,1	44,0	7,6
E (MWh)	337,5	180,5	514,8	87,3	746,2	122,1	639,0	118,4	1378,5	245,8	385,3	67,0
R_f (%)	0,00	1,72	0,00	0,00	0,36	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
O_h (Sa)	4484,7	8102,2	6208,2	8342,2	4240,4	7848,4	6208,2	8107,6	6207,8	8338,3	6208,2	8107,6

EK Çizelge 4.13. SC1 (14 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SC1	HeaveBuoy		Oyster2		Oyster		SSG		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,3	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4
P_n (kW)	2192,0	32,4	3332,0	134,9	290,0	11,7	20000,0	809,5	15,0	0,6	7000,0	283,3	2709,0	109,7
C_f (%)	2,8	13,3	1,9	11,4	9,3	31,3	2,4	8,8	5,0	11,5	4,0	21,9	2,1	4,4
P (kW)	62,2	4,3	64,4	15,3	27,0	3,7	481,8	71,0	0,7	0,1	282,7	62,0	57,8	4,8
E (MWh)	545,3	37,8	564,1	134,2	236,5	32,1	4220,1	621,5	6,6	0,6	2476,6	542,7	506,7	42,1
R_f (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	5,51	0,07	0,51	0,00	0,00	0,12	3,92	0,09	0,11
O_h (Sa)	3494,5	6273,4	3613,8	6611	3476,2	5948	4187,8	7081,8	3615,1	6217	5439,1	8435,9	3559,1	5294,8

EK Çizelge 4.14. SC2 (26 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SC2	AquaBuoy		Oyster2		Langlee		Oceantec		Pelamis		WaveBob		Seabased AB		WaveDragon		WaveStar	
Ölçek	1	0,4	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4
P_n (kW)	250,0	10,1	3332,0	134,9	1665,0	147,2	500,0	44,2	750,0	30,4	1000,0	40,5	15,0	0,6	7000,0	283,3	2709,0	109,7
C_f (%)	3,5	15,3	2,3	14,6	2,3	4,4	11,3	19,7	3,8	14,3	2,9	12,5	6,3	14,5	4,4	26,5	2,7	5,1
P (kW)	8,7	1,5	77,0	19,7	38,5	6,5	56,7	8,7	28,6	4,3	29,3	5,0	0,9	0,1	305,7	74,9	73,0	5,6
E (MWh)	76,4	13,5	675,0	172,9	337,2	57,1	496,9	76,2	250,7	38,0	256,7	44,1	8,3	0,8	2677,7	656,6	639,4	49,3
R_f (%)	0,02	0,08	0,00	0,04	0,00	0,00	0,12	0,57	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10	6,02	0,36	0,32
O_h (Sa)	2741,9	6981,3	4307	7497,4	4312,9	6622,2	3566,1	6433	3031,9	6666,6	4312,9	7189	4312,9	7189	5341,4	8353,4	4238,7	5859,6

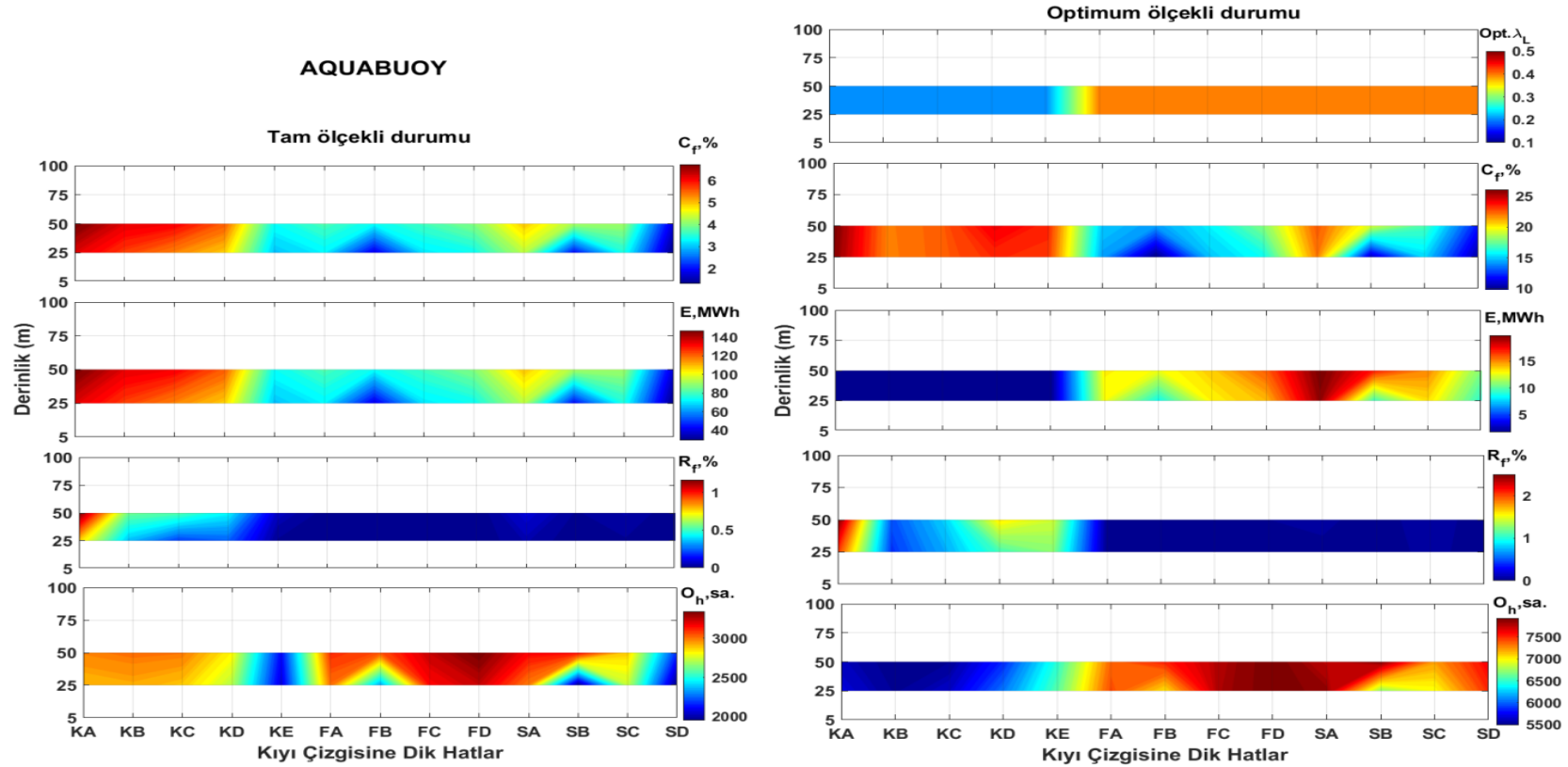
EK Çizelge 4.15. SC3 (51 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SC3	AquaBuoy		Langlee		Oceantec		AWS		Pelamis		OEBuoy		WaveBob		Pontoon	
Ölçek	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,4	1	0,5
P_n (kW)	250,0	10,1	1665,0	147,2	500,0	44,2	2470,0	100,0	750,0	30,4	2880,0	116,6	1000,0	40,5	3619,0	319,9
C_f (%)	4,2	17,1	2,7	5,0	13,2	22,5	1,3	16,2	4,5	16,0	2,0	8,5	3,4	14,1	3,3	6,7
P (kW)	10,4	1,7	44,6	7,4	66,1	10,0	31,0	16,2	33,9	4,9	56,2	9,9	34,2	5,7	118,4	21,5
E (MWh)	91,2	15,1	390,5	65,1	578,7	87,3	271,4	141,9	296,6	42,6	492,5	86,4	299,6	49,9	1037,2	188,0
R_f (%)	0,05	0,10	0,00	0,00	0,20	0,65	0,00	1,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
O_h (Sa)	2887,1	7230,1	4720,2	7168,4	3782,9	6884,9	3935,8	7562,5	3147,4	7037,9	4720,2	7608	4720,2	7608	4719,1	7166,3

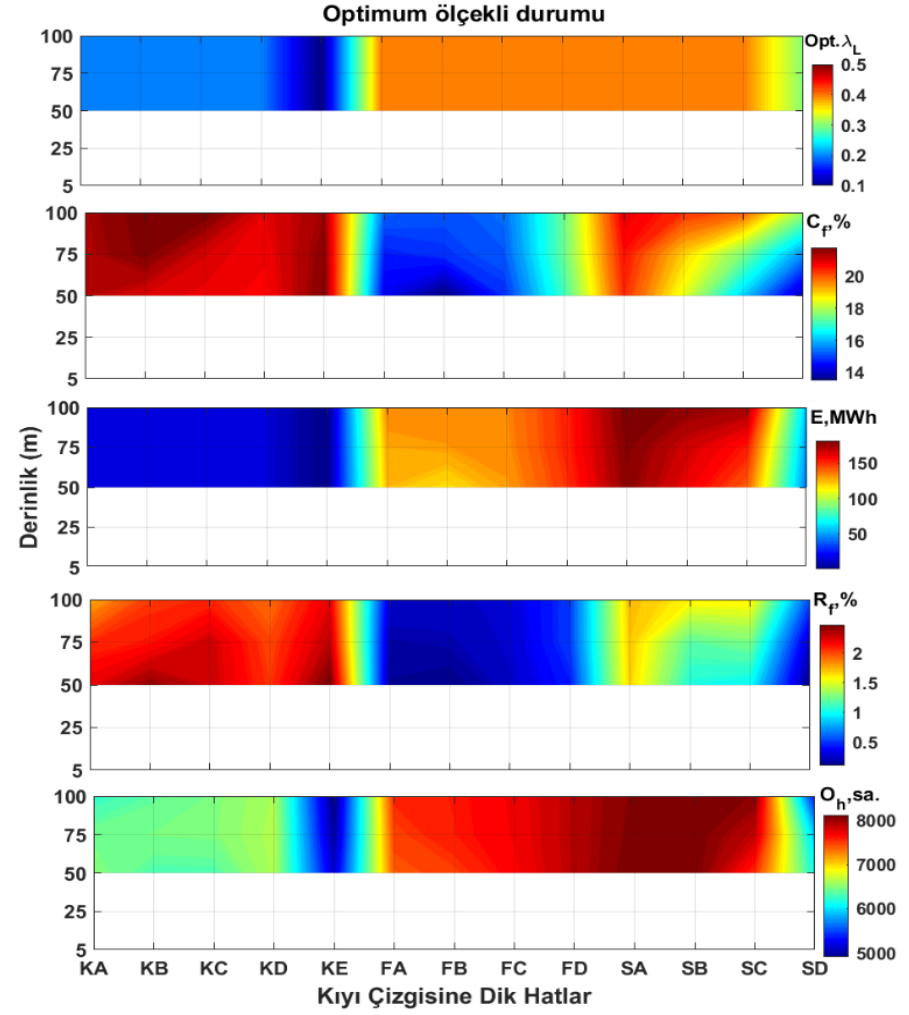
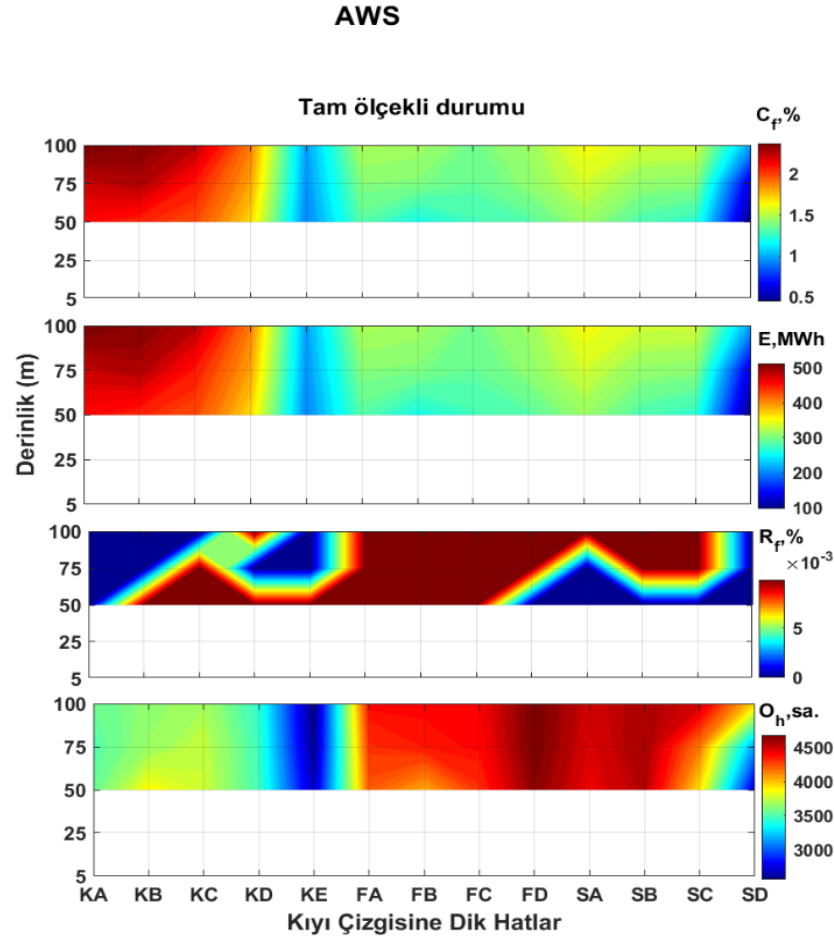
EK Çizelge 4.16. SC4 (77 m derinlik) konumundaki yedi cihaz için tam ve optimum ölçekli DED sistemleri için ortalama nominal güç, kapasite faktörü, beklenen güç, beklenen enerji, nominal kapasite ve çalışma saatleri

SC4	AWS		Langlee		Oceantec		OEBuoy		Pontoon		WaveBob	
Ölçek	1	0,4	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,5	1	0,4
P_n (kW)	2470,0	100,0	1665,0	147,2	500,0	44,2	2880,0	116,6	3619,0	319,9	1000,0	40,5
C_f (%)	1,4	17,6	3,0	5,6	14,6	25,4	2,2	9,4	3,7	7,4	3,8	15,6
P (kW)	35,1	17,6	49,5	8,3	72,9	11,2	63,3	11,0	132,2	23,8	38,4	6,3
E (MWh)	307,0	154,1	434,0	72,6	638,6	98,2	554,6	96,2	1157,6	208,5	336,1	55,3
R_f (%)	0,01	1,27	0,00	0,00	0,27	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
O_h (Sa)	4152,5	7876,1	5219,4	7742,5	4001,6	7404,9	5219,4	7869,2	5217,5	7739,0	5219,4	7869,2

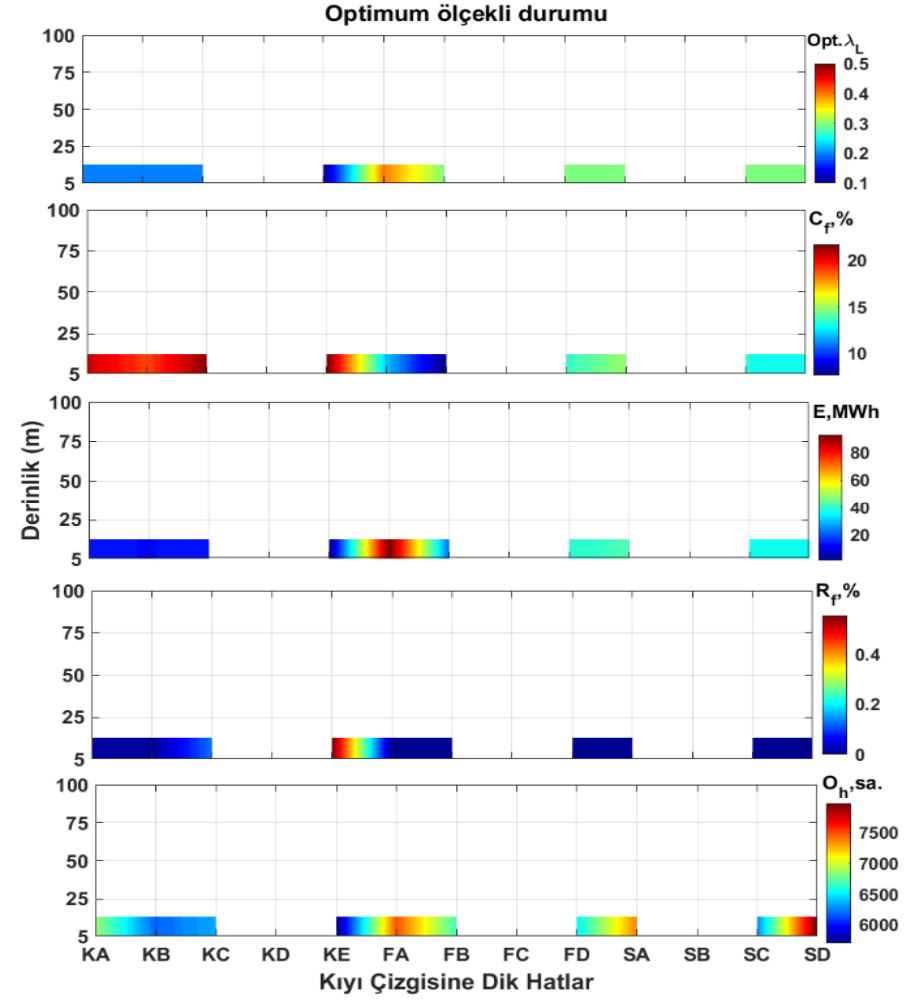
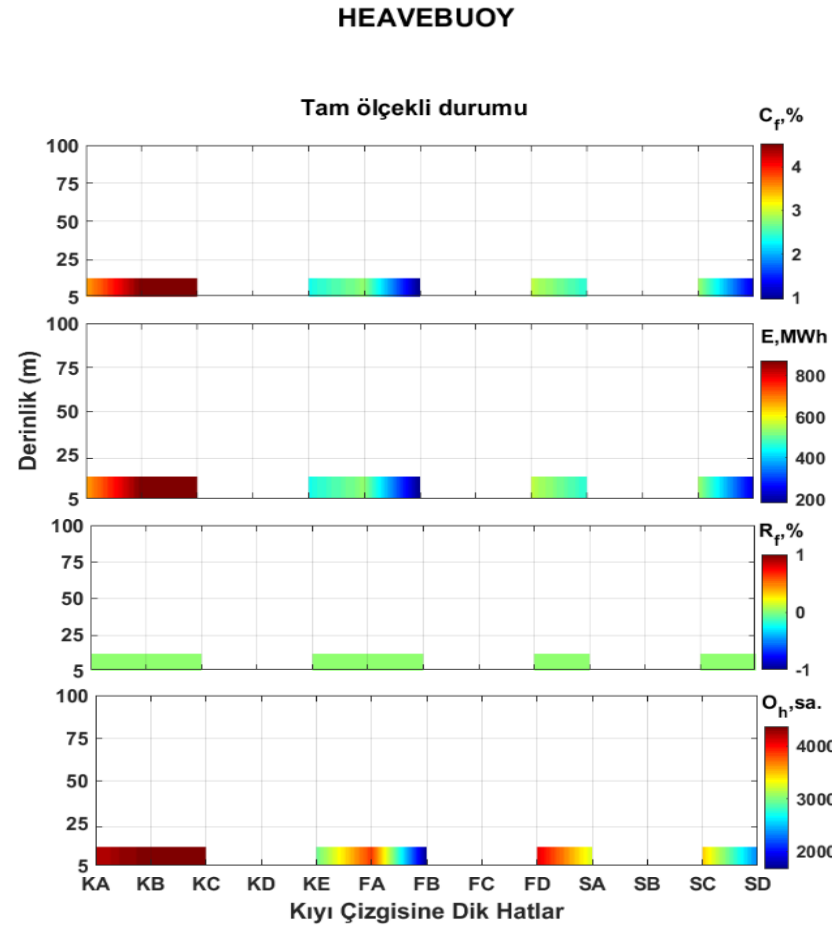
EK 5. DED sistemlerinin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü, kapasite faktörü, beklenen elektrik enerjisi , nominal kapasite faktörü ve DED sisteminin yükleme saatlerin karşılaştırılması



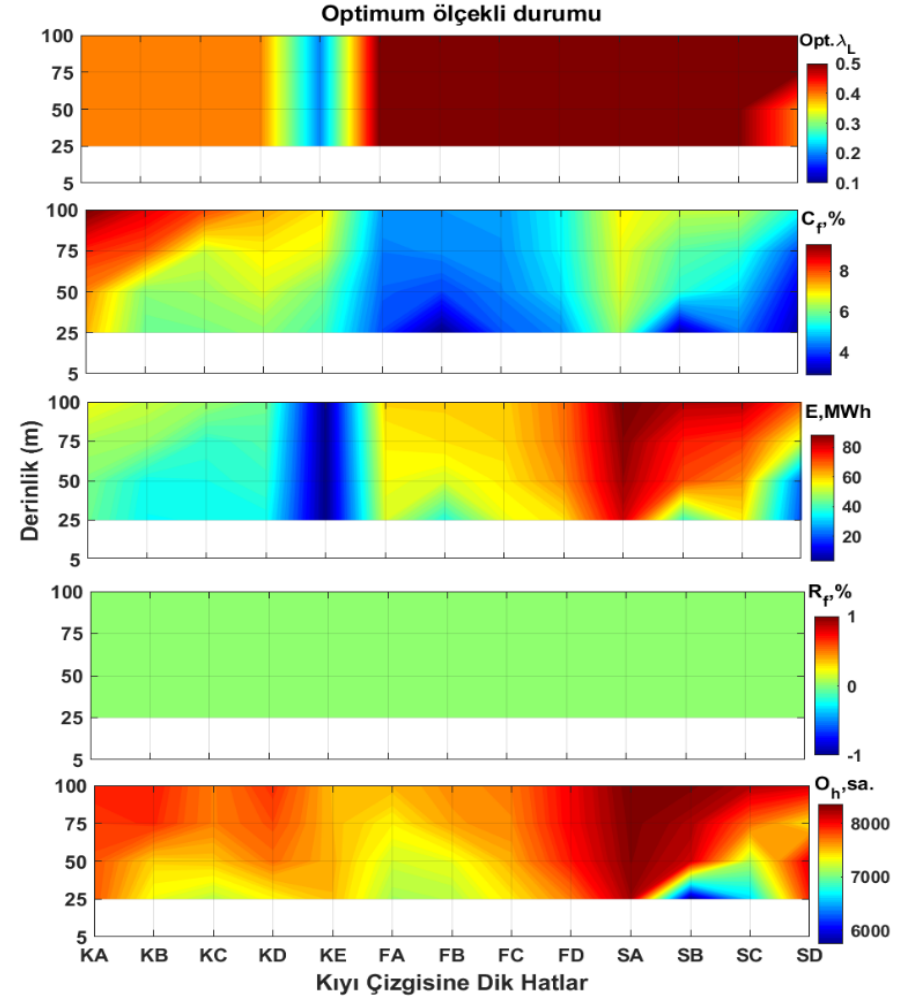
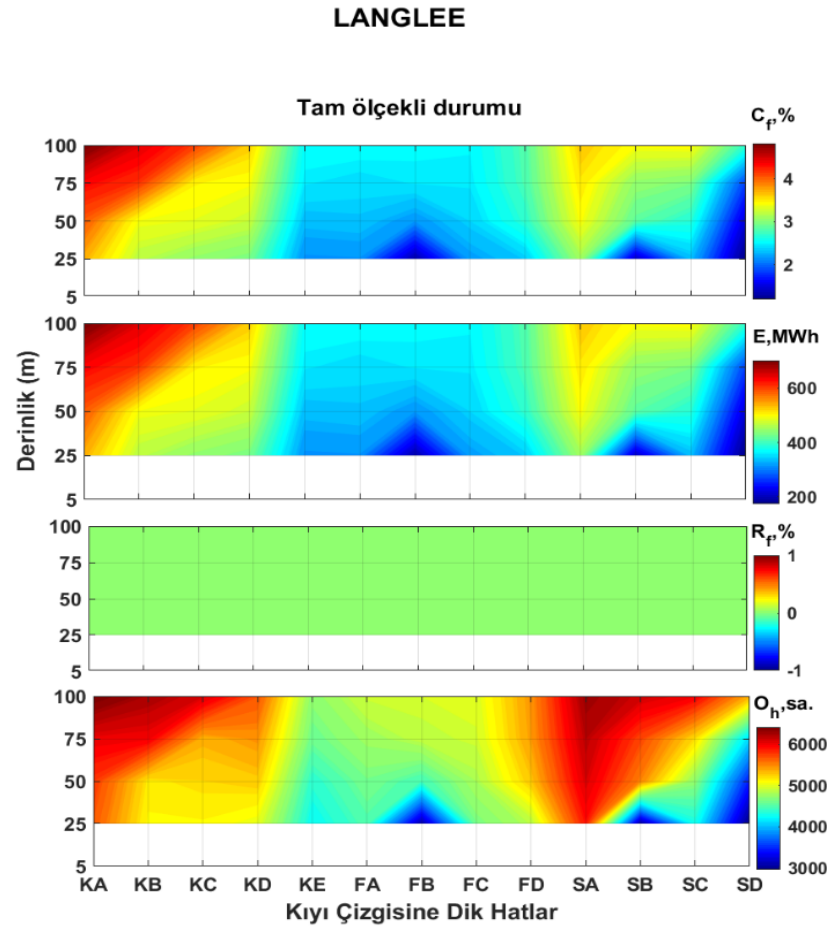
EK Şekil 5.1. AquaBuoy DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



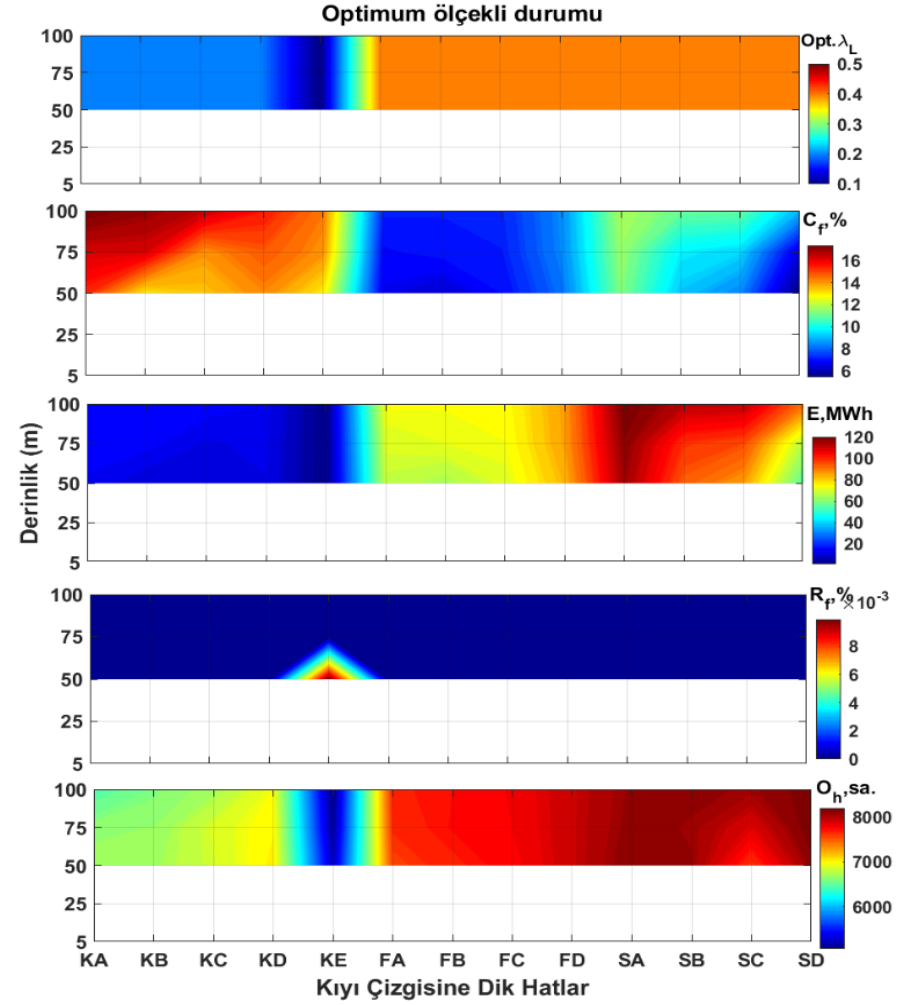
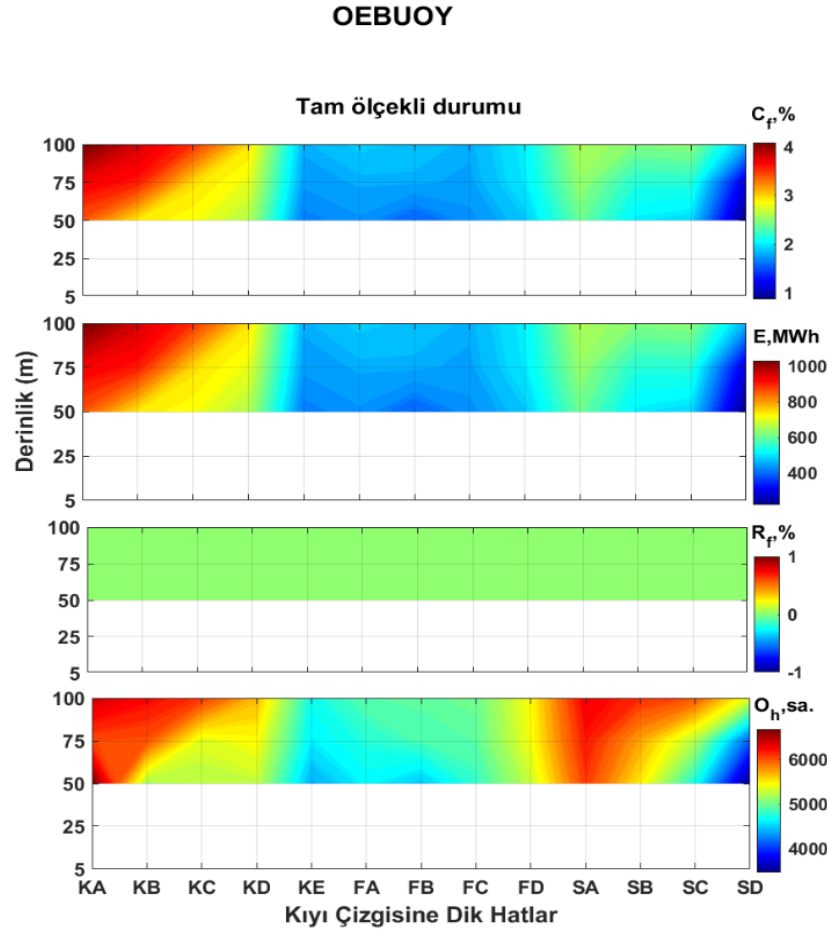
EK Şekil 5.2. AWS DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



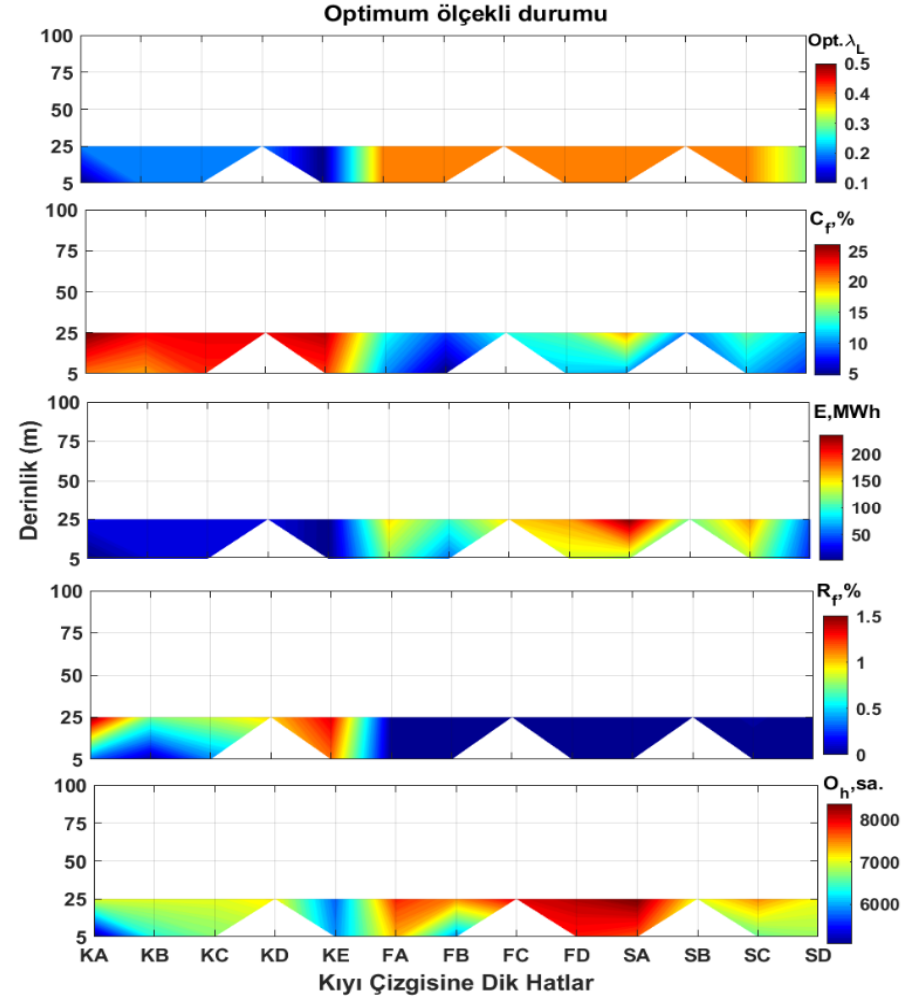
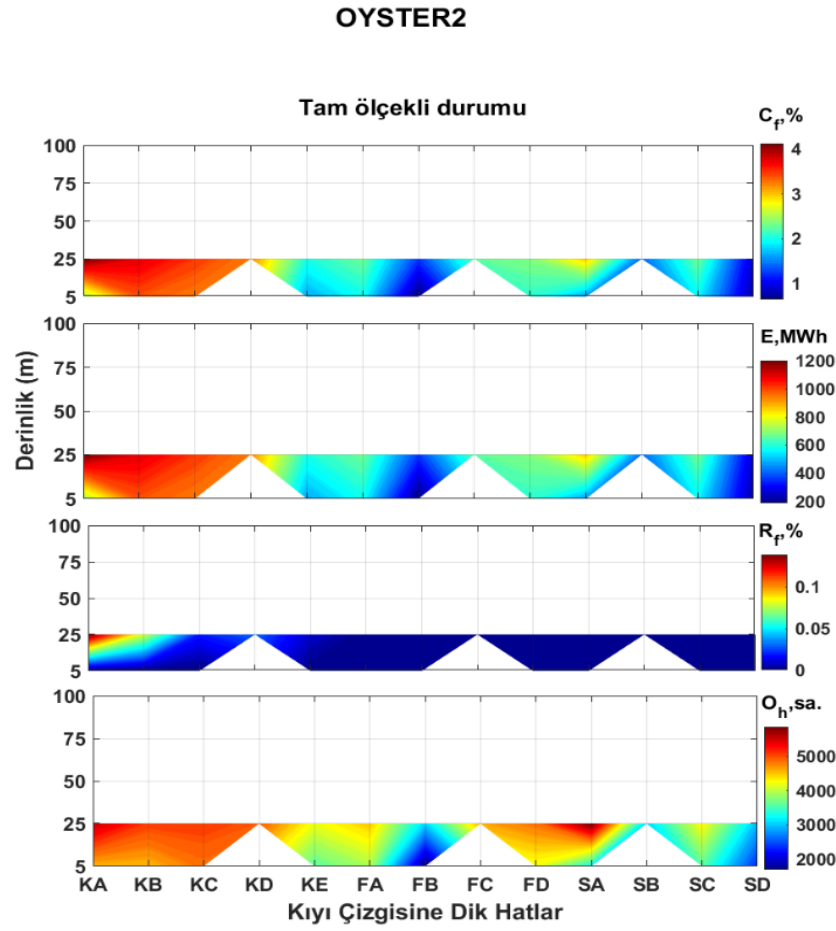
EK Şekil 5.3. HeaveBuoy DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



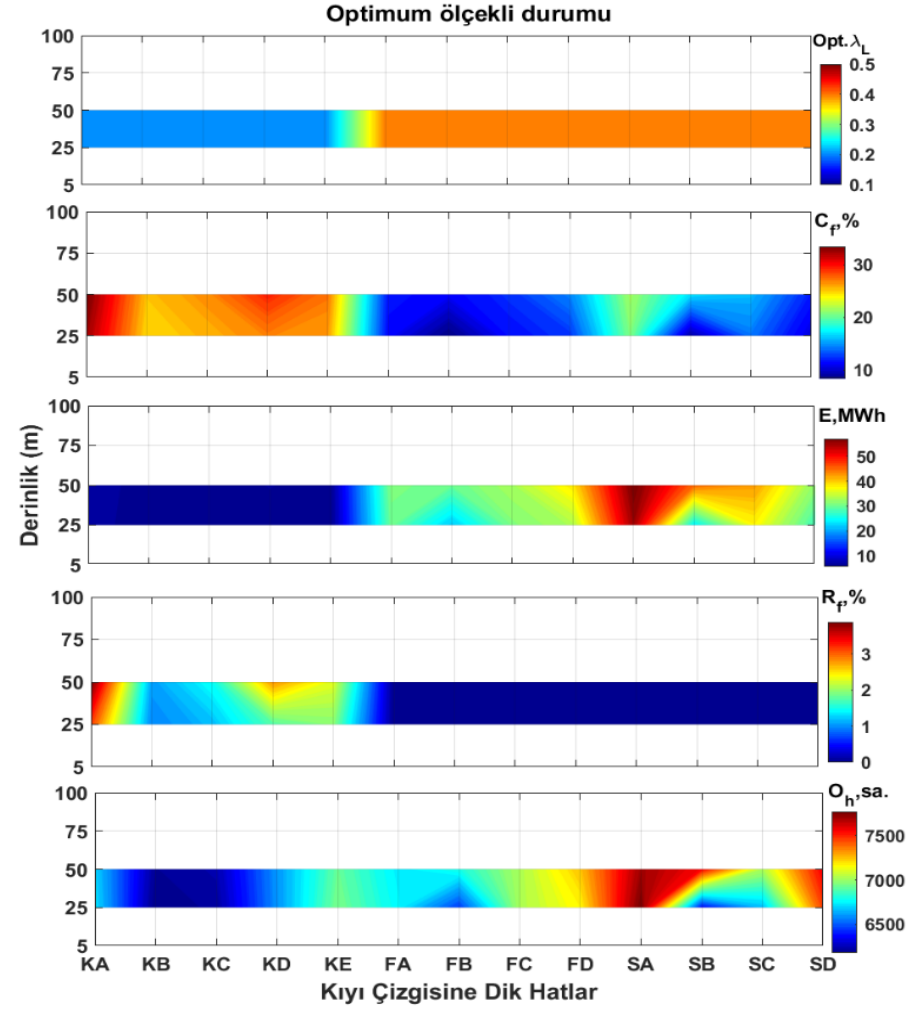
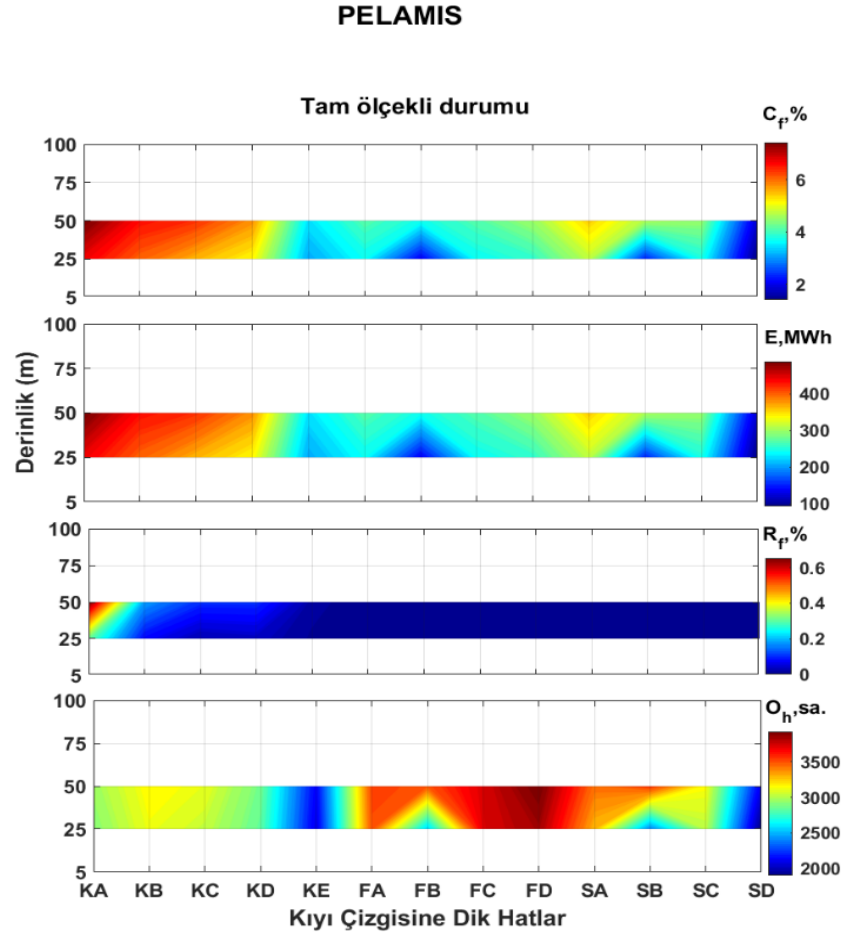
EK Şekil 5.4. Langlee DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



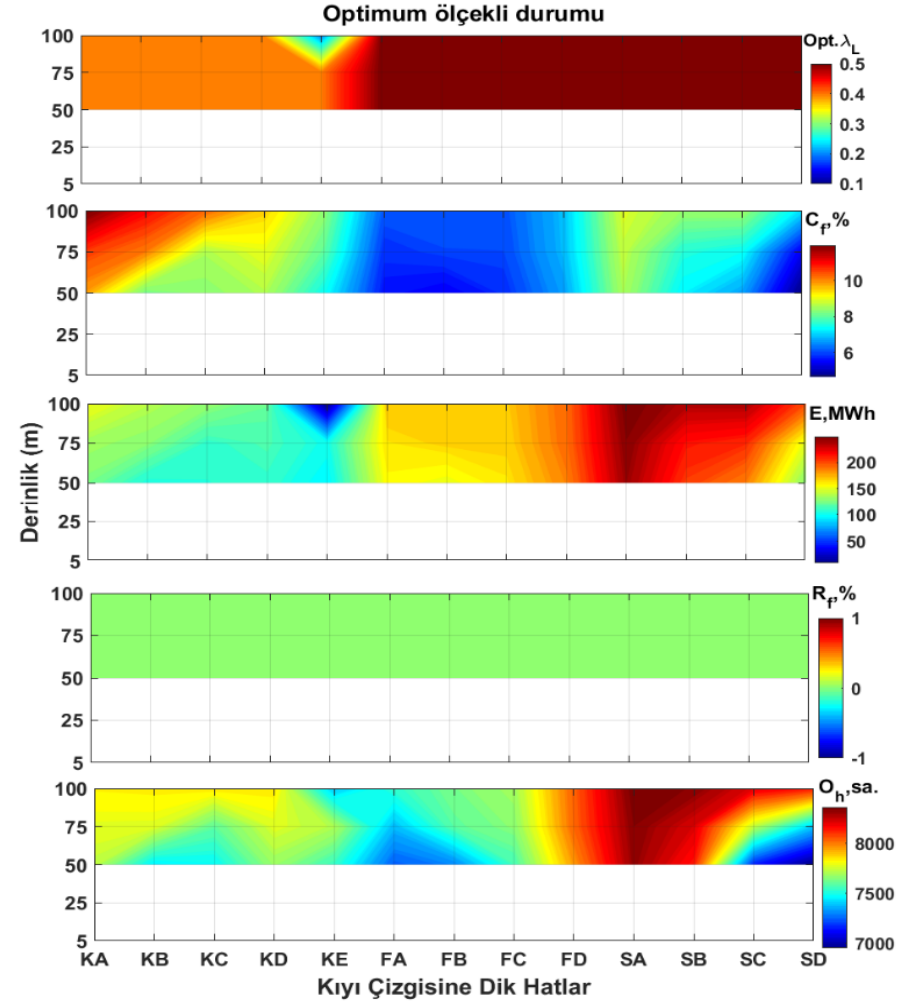
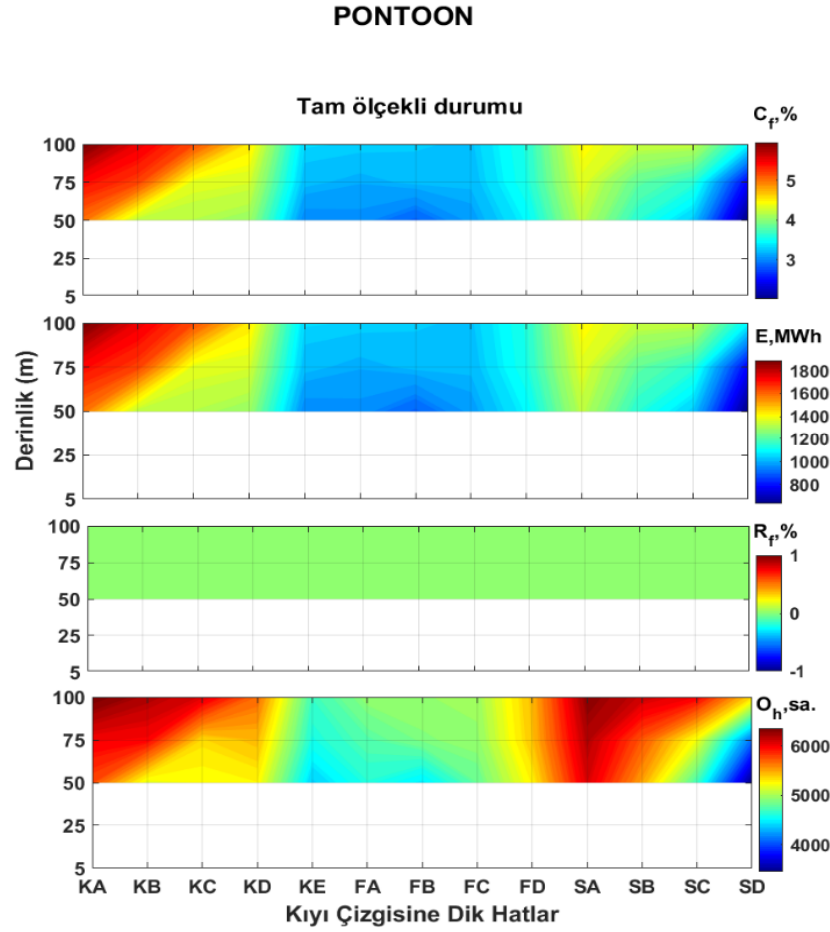
EK Şekil 5.5. OEBuoy DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



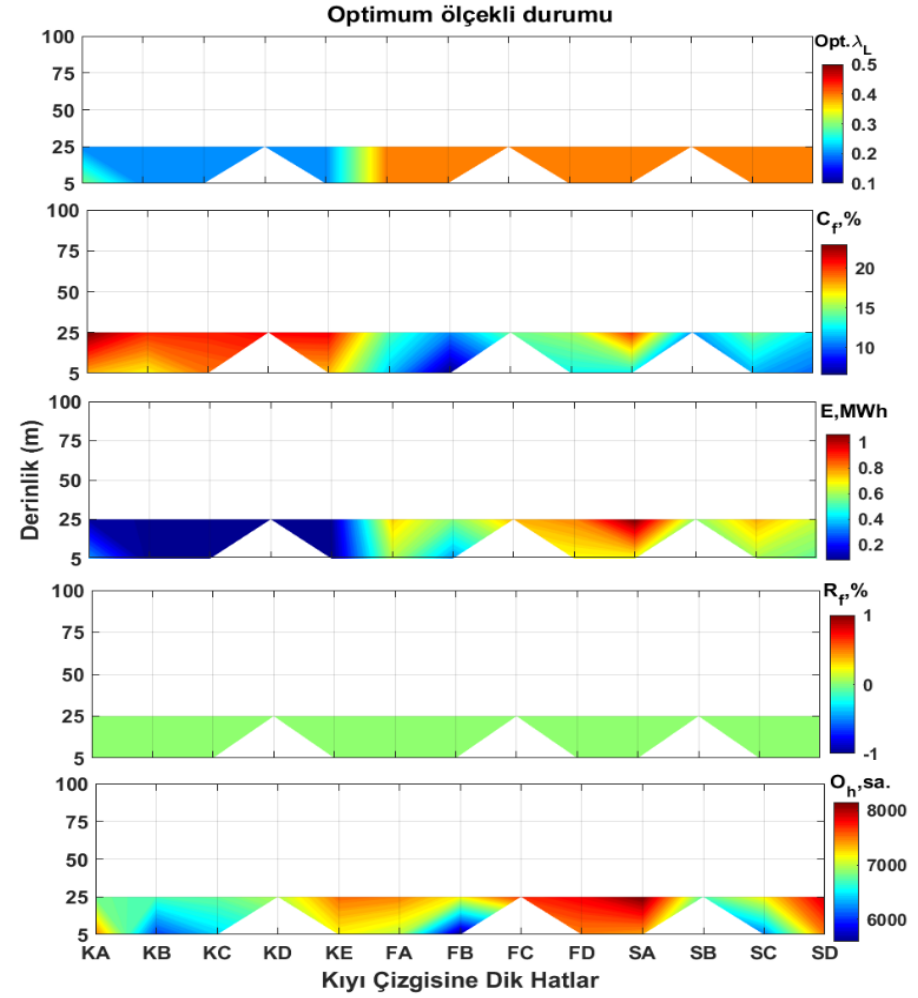
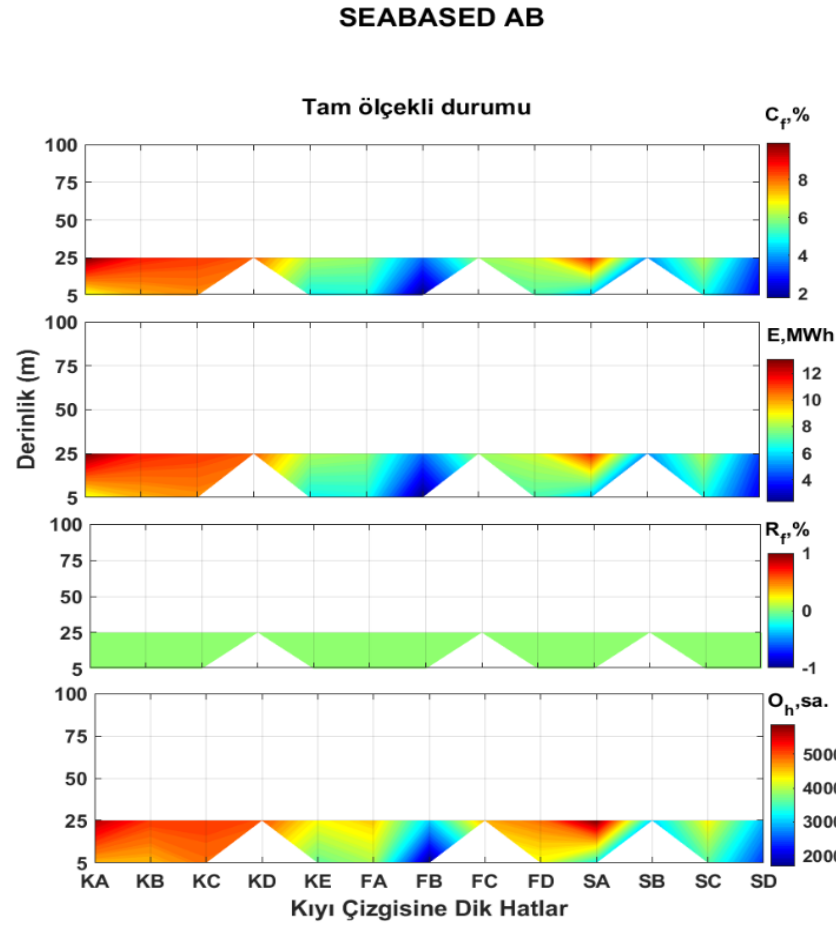
EK Şekil 5.6. Oyster2 DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



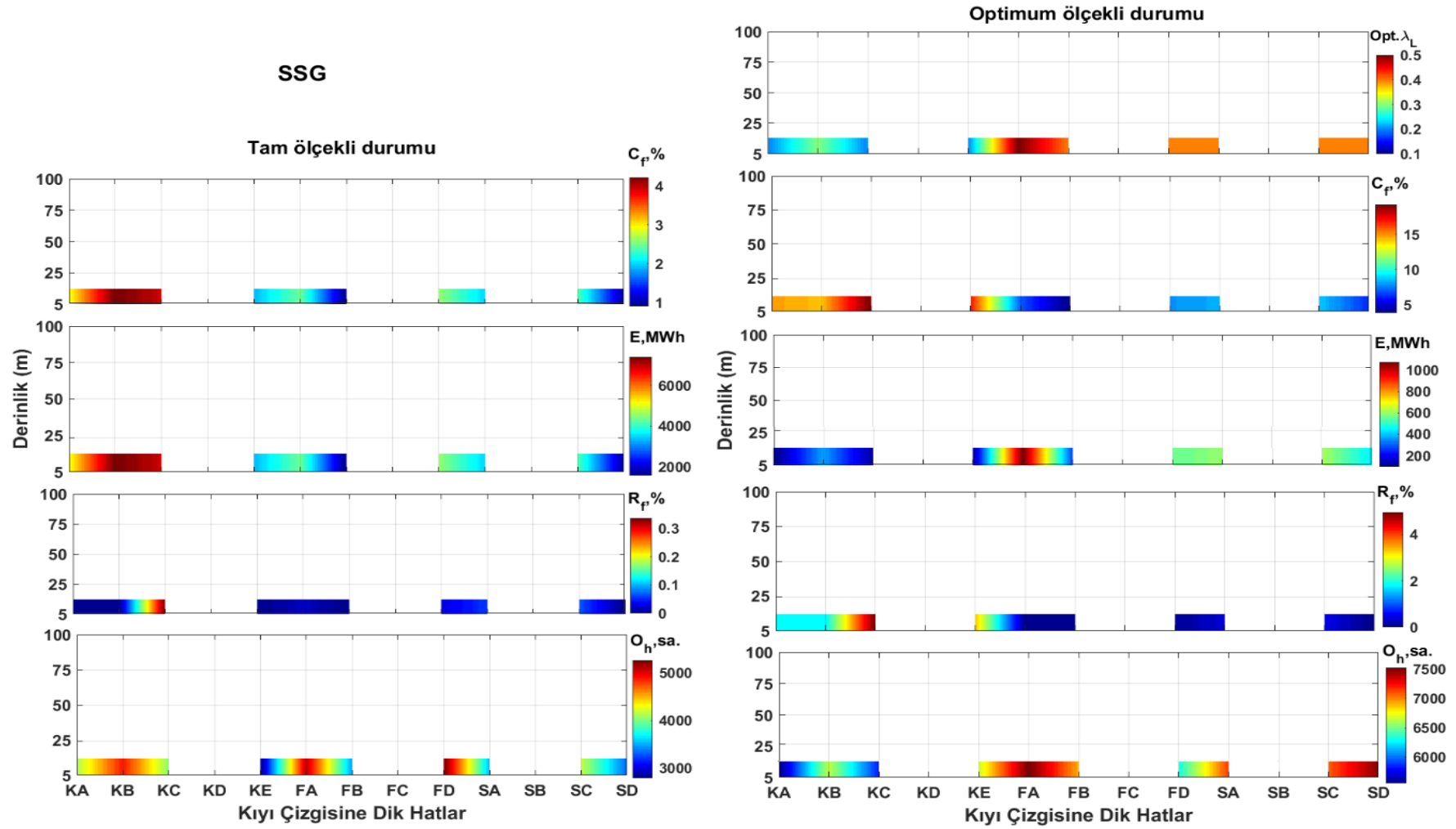
EK Şekil 5.7. Pelamis DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



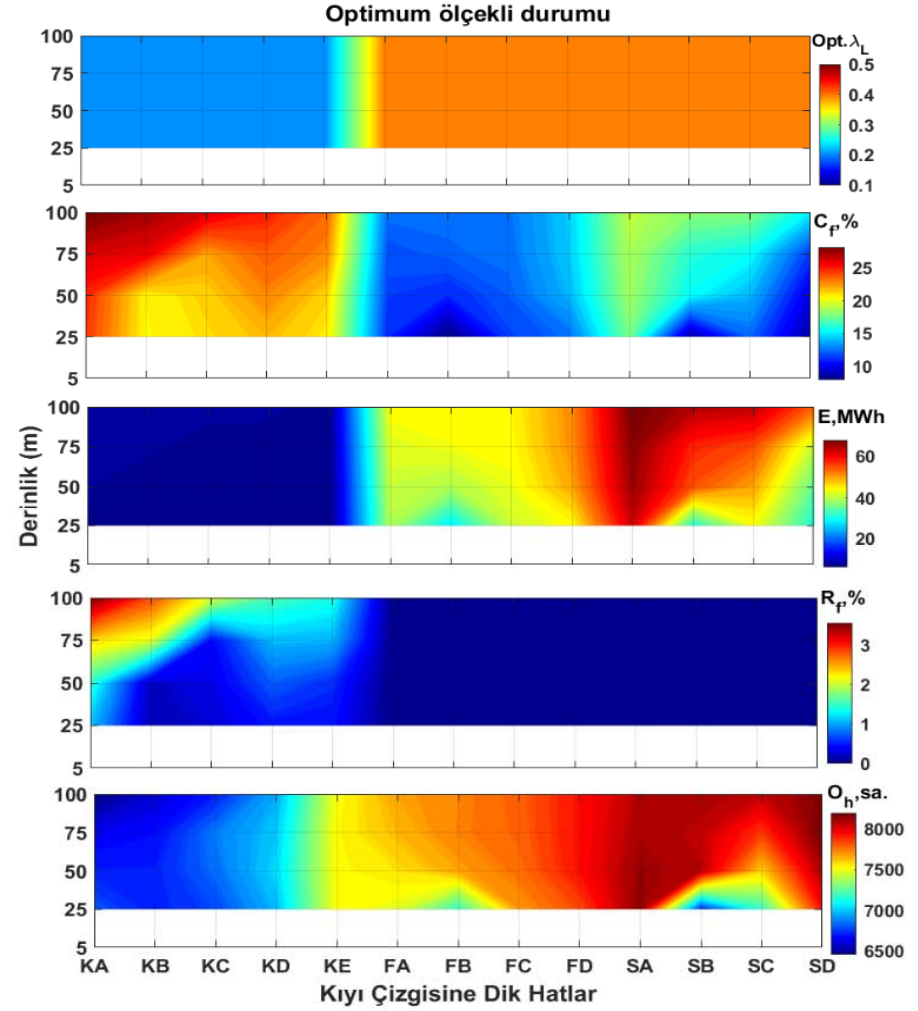
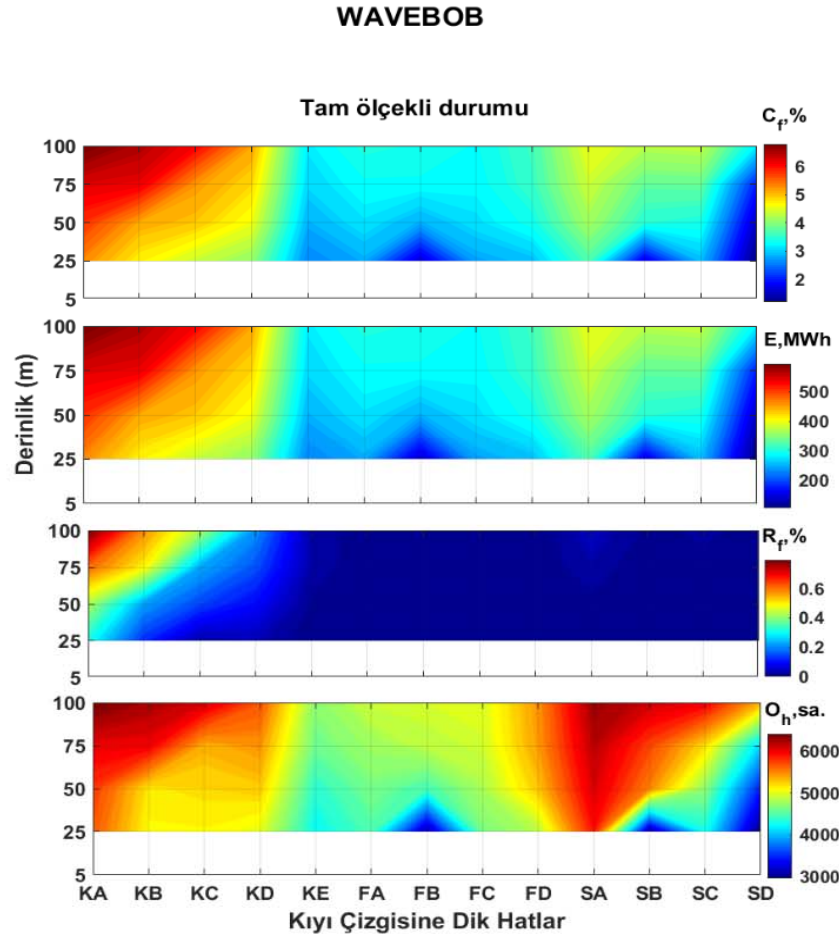
EK Şekil 5.8. AquaBuoy DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



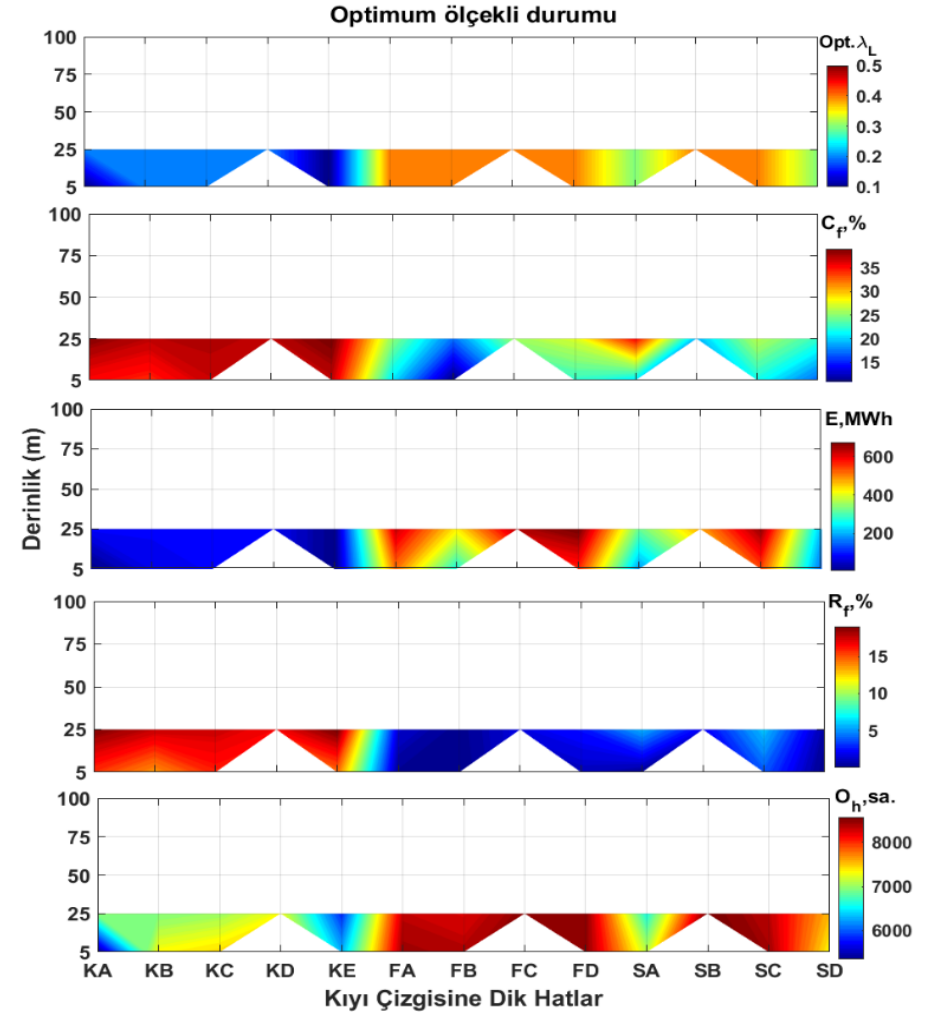
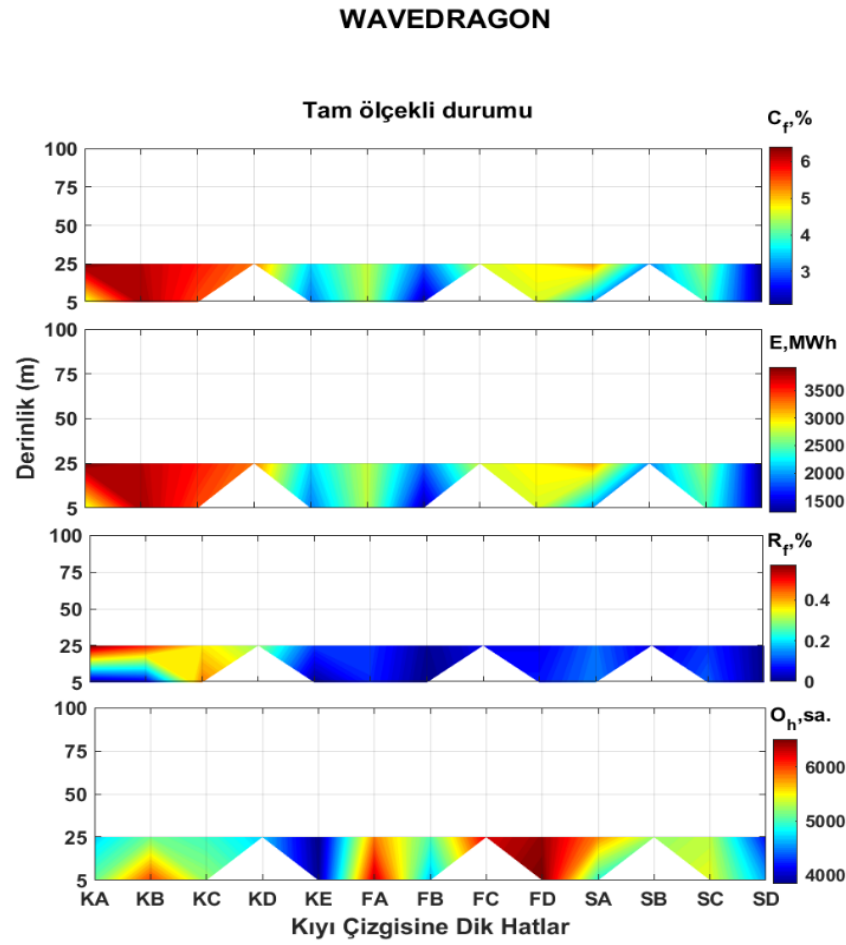
EK Şekil 5.9. Seabased AB DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



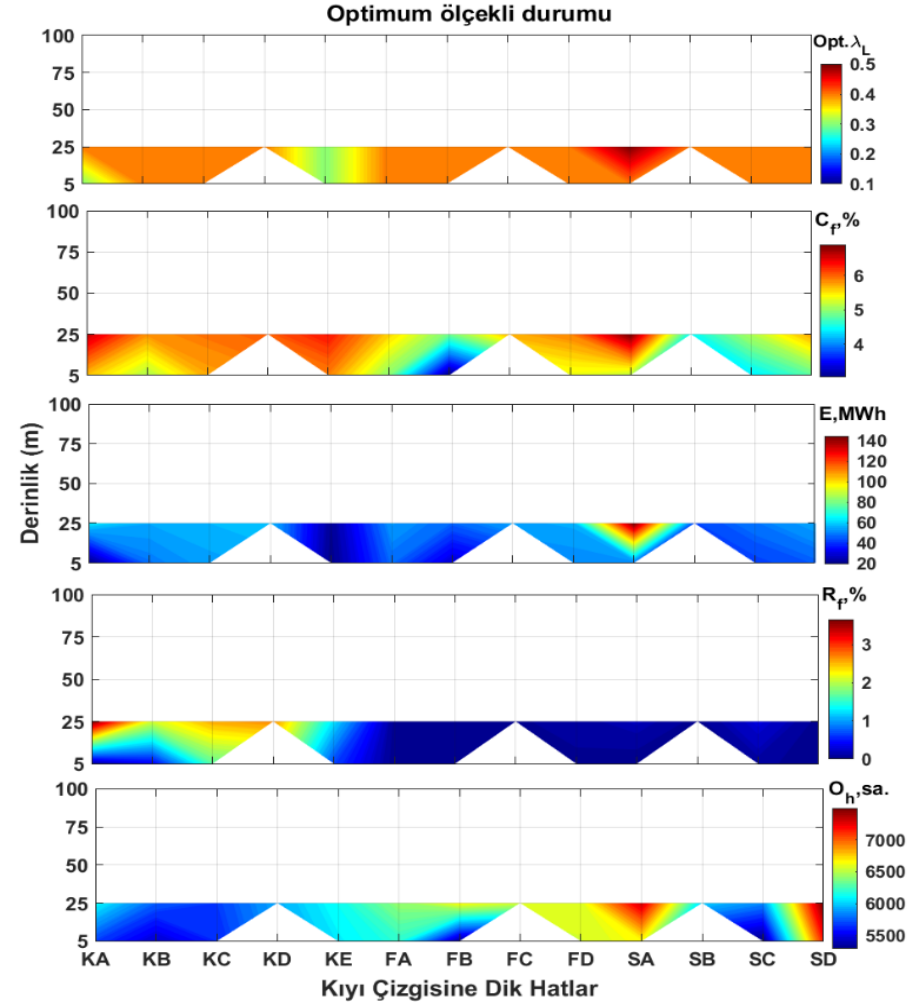
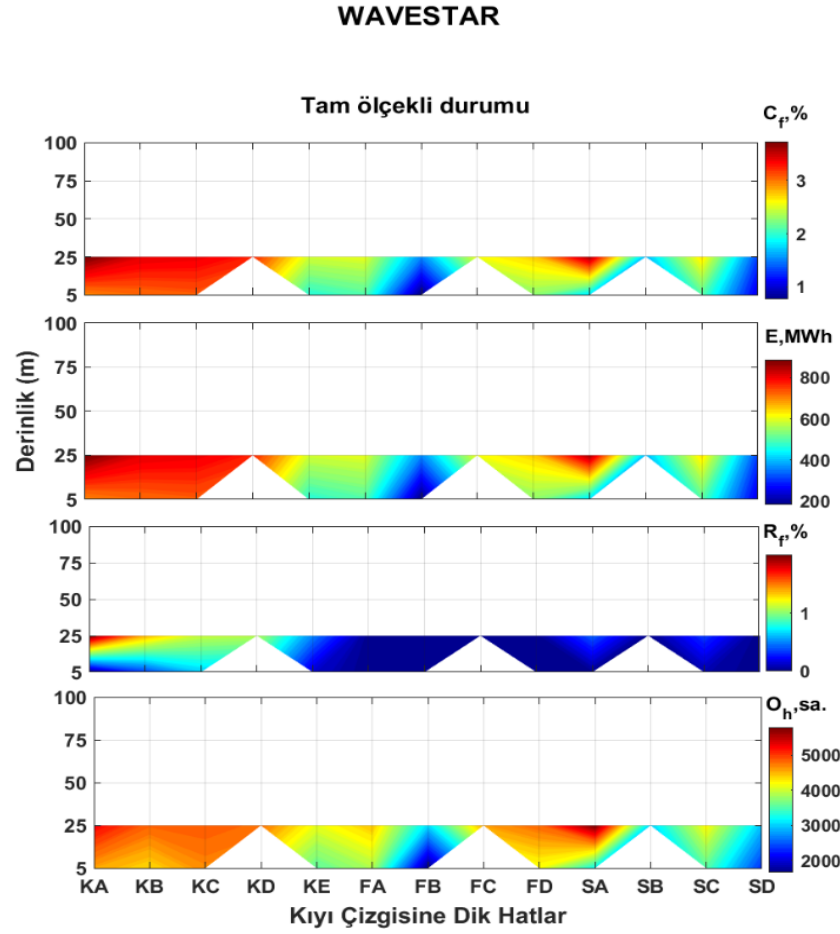
EK Şekil 5.10. SSG DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



EK Şekil 5.11. WaveBob DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_p), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_p) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



EK Şekil 5.12. WaveDragon DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumundaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması



EK Şekil 5.13. WaveStar DED sistemin çalışma bölgesinde tam ve optimum ölçek durumdaki ölçeklendirme faktörü (λ_L), kapasite faktörü (C_f), beklenen elektrik enerjisi (E), nominal kapasite faktörü (R_f) ve DED sisteminin yükleme saatlerin (O_h) karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ajab Gul MAJIDI
Doğum Yeri ve Tarihi : Herat-Afganistan 10.09.1993
Yabancı Dil : İngilizce, Peştünce, Darice (Farsça), Hintçe (Urduca)

Eğitim Durumu
Lise : Hiwad Özel Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : TÜBİTAK Araştırma Projesi Bursiyeri

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

Yayınları:

Majidi, A.G., Bingölbalı, B., Akpınar, A. 2020. The Changes of Theoretical Wave Power from Offshore to Coast in the South-western Black Sea. The 3rd International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering. *E3S Web of Conferences*.

Majidi, A.G., Bingölbalı, B., Akpınar, A., 2020. Power Production Performance of Different Wave Energy Converters in the Southwestern Black Sea. World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 163, *International Journal of Energy and Power Engineering*, 14(7), 191 - 195.

Majidi, A.G., Bingölbalı, B., Akpınar, A., Rusu, E. 2020. Dimensionless Normalized Wave Power in the Hot-spot Areas of the Black Sea. *E3S Web of Conferences*, 173:, 01001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017301001>.

Majidi, A.G., Korkmaz, S., Marrouchi, Y., 2018. Bilgisayar Programı ile İçmesuyu Dağıtım Şebekesi Tasarımı: Bursa, Görükle Mahallesi Uygulaması, *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi (SUCEV2018)*, 22-24 March 2018, Bursa, Turkey.

Marrouchi, Y., Korkmaz, S., Majidi, A.G., 2018. Su Dağıtım Şebekesinin Bilgisayar Tabanlı Analizi: Bursa, Nilüfer İlçesi, Balkan ve Kurtuluş Mahalleleri, *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi (SUCEV2018)*, 22-24 March 2018, Bursa, Turkey.