



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

**TEK SERBESTLİK DERECELİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRLERİ
VE KONTROL UYGULAMALARI**

TOGAY IŞIKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY
TEMMUZ-2008



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

**TEK SERBESTLİK DERECELİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRLERİ
VE KONTROL UYGULAMALARI**

TOGAY IŞIKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY
TEMMUZ-2008

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK SERBESTLİK DERECELİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRLERİ VE
KONTROL UYGULAMALARI**

TOGAY IŞIKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Hakan Yavuz danışmanlığında hazırlanan bu tez 30/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

Yrd.Doç.Dr. Hakan Yavuz

Üye

Yrd.Doç.Dr. Selçuk Mıstıkoğlu

Üye

Yrd.Doç.Dr. Ersin Özdemir

Bu tez Enstitümüz Makina Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	II
ABSTRACT.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. DEK Sistemlerinin Yapılarına Göre İncelemesi	8
2.1.1. DEK Sistemlerinin Kıyı Uygulamaları.....	9
2.1.2. DEK Sistemlerinin Yakın Kıyı Uygulamaları.....	12
2.1.3. DEK Sistemlerinin Açık Deniz Uygulamaları	13
2.2. DEK Sistemlerinin Enerji Dönüşüm Sistemine Göre İncelemesi	23
2.3. DEK Sistemlerinin Kontrol Uygulaması Tipine Göre İncelemesi.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal	25
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Giriş	26
3.2.2. Sistemin Matematiksel Modeli	27
3.2.3. DEK Modeli	34
3.2.4. Sistemin Sabit Ayar Parmetleri Altında Hareket İncelemesi	39
3.2.5. PTO Ayarlarının Dalga Frekansına Uyumlu Değişimine Göre İnceleme ..	43
3.2.6. Dalga frekansının Fourier Transformundan Elde Edilişi	45
3.2.7. Zaman Değişkenli Sinyaller	46
3.3. Düzensiz Dalga Ortamında Tek SD' li DEK Kontrolü.....	49
3.3.1. Ayar Metotları	50
3.3.2. Sistem Yapısı.....	54
3.3.3. Sistem Matematik Modeli	56
3.3.3. Pasif Ayar Metotları	57
3.3.4. Aktif Ayar Metotları.....	58
3.3.5. Zaman Uzayında Simülasyon ve Sonuçları.....	63
4. ARAŞTIRMA VE TARTIŞMA	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	73
TEŞEKKÜR.....	80
ÖZGEÇMİŞ	81

ÖZET**TEK SERBESTLİK DERECELİ DALGA ENERJİSİ KONVERTÖRLERİ VE KONTROL UYGULAMALARI**

Enerji, insanoğlunun günlük hayatının önemli bir parçasıdır. Endüstriden telekominikasyona, birçok sektör çalışmalarını sürdürebilmek için enerjiye ihtiyaç duyar. Enerji günümüzde önemli bir konudur ve bu durum gelecekte de bu şekilde olmaya devam edecektir.

Enerji elde edilmesinde kullanılan teknikler çevreci metotlardan, çevreyi oldukça yüksek boyutlarda kirletenlere kadar olmak üzere enerji eldesinde kullanılan metoda bağlı olarak değişen şartlarda üretilmektedir. Termik santraller ve benzeri etkenler sebebi ile daha da kötüye giden küresel ısınma süreci, dünyanın bazı kesimlerinin halen nükleer santrallerden sızan radyasyondan etkileniyor olması dünyamızın artık daha iyi, daha güvenilir, daha sağlıklı ve çok daha çevreci enerji kaynaklarına ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Özellikle çevreci enerji kaynakları ile ilgili gelişmeler ümit verici olup güneş, rüzgâr ve dalga enerjisi konularında gelişmeler kaydedilmiştir. Güneş enerjisi pahalı bir kaynak olarak görünmektedir. Rüzgâr enerjisi güvenilir değildir. Dalga enerjisi ise tüm potansiyeli ile hala tam olarak incelenememiştir.

Yapılan çalışma esasen tek serbestlik dereceli dalga enerjisi sistemlerini konu almakta olup, bazı teknik sorunlara çözüm üretmeyi amaçlamaktadır. Bu tür sistemlerin uygulanmasında karşılaşılan en önemli teknik sorun bu sistemlerin kontrol edilmesidir. Bu sistemlerin karmaşık yapısı ve çalışma ortamlarının karmaşık durumu kontrol probleminin karmaşıklığına önemli katkıda bulunmakta ve söz konusu problemin çözümü zorlaştırmaktadır.

Yapılan çalışma bu karmaşık kontrol probleminin tek serbestlik dereceli sistemlerde düzenli ve düzensiz dalga durumlarında kontrol uygulamasına yönelik çözümler sunmakta ve bu çözüm tekniklerinin sonuçlarını da karşılaştırarak sunulan önerilerin başarısını ortaya koymaktadır.

2008, 94 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dalga enerjisi konvertörleri, yenilenebilir enerji, dalga enerjisi konvertör modellemesi ve kontrolü

ABSTRACT**SINGLE DEGREE OF FREEDOM WAVE ENERGY CONVERTERS AND THEIR CONTROL APPLICATIONS**

Energy is one of the important utilities of daily life of mankind. From industry to communications and so many other technological sectors rely on power for continuing operation. It is very much clear that the energy is a highly important issue and will always be. The techniques used for production of energy vary from environmentally friendly ones to very much polluting ones depending on the process of energy extraction.

Considering that global warming is worsened by thermal power stations and some other factors and some parts of the world are still suffering from leaking radiation from nuclear power stations, it is clear that world needs better, safer and far more environmentally friendly sources of energy.

There are some hopes for environmentally friendly sources of energy such as solar, wind and wave energy. The solar energy source appears to be an expensive source and not favored. Wind energy is not widespread and unreliable as it depends on wind. The wave energy is a new type of renewable energy whose potential has yet to be explored.

The study presented aims at exploring the potential of single degree of wave energy converters where some technical issues are to be resolved. The main technical difficulty in practical application of such devices is the implementation of control on such systems. The complexity of the system as well as the environment that they operate in contributes to the overall complexity of the problem.

The study presents solutions to complex control problem for single degree of freedom systems in regular and irregular seas where a comparison of various techniques and respective results are presented to show the effectiveness of the proposed control techniques.

2008, 94 pages

Keywords: Wave energy converters, renewable energy, wave energy convertor modelling and control

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Frekansa Bağlı Olmayan Ek Kütle, ton
$a(\omega)$	Frekansa Bağlı Ek Kütle, ton
b, b_{inf}	Frekansa Bağlı Olmayan Sönümleme Katsayısı, kNs/m
$b(\omega)$	Frekansa Bağlı Yayılım Sönümleme Katsayısı, kNs/m
b_{loss}	Kayıplara Ait Sönümleme Katsayısı, kNs/m
b_{lower}	GÇÜ Sönümleme Katsayısı Alt Limiti, kNs/m
b_{pto}	GÇÜ Sönümleme Katsayısı, kNs/m
$b_{rad}(\omega)$	Frekansa Bağlı Radyasyon Sönümleme Katsayısı, kNs/m
b_{upper}	GÇÜ Sönümleme Katsayısı Üst Limiti, kNs/m
c	Frekanstan Bağımsız Yay Sabiti, kN/m
j, i	Sanal Sayı, $\sqrt{-1}$
k_{net}	Yüzme Düzlemi Yay Sabiti, kN/m
k_{pto}	GÇÜ Yay Sabiti, kN/m
m_{dry}	Kuru Kütle, ton
m	Toplam Kütle, ton
m_n	Spectrum Yoğunluğunun n ci Momenti $S(f)$
n	Data Set Numarası
s	Laplace Değişkeni ($s = \sigma + i\omega$).
t	Zaman, s
x_{max}	Maksimum Aşağı Yukarı Hareket Miktarı, m
$x(t), \mathbf{x}$	t Anında Gövdenin Pozisyonu, m
\dot{x}, \mathbf{v}	t Anında Gövdenin Hızı, m/s
$\ddot{x}(t)$	t Anında Gövdenin İvmesi, m/s ²
$A_{sub}(s)$	Transfer Fonksiyonu (s formunda) İmpuls Cevap Fonksiyonundan
$B_{sub}(s)$	Transfer Fonksiyonu (s formunda) İmpuls Cevap Fonksiyonundan
$F(t)$	Gövdeye Etki Eden Net Kuvvet, kN
$F_E(t)$	Dalga Kuvveti, kN
$F_E(s)$	Dalga Kuvvetinin Laplace Transformu.
$F_E^{stab}(t)$	$F_E(t)$ nin Dengeli Parçası
$F_E^{stab}(s)$	$F_E^{stab}(t)$ nin Laplace Transformu
$F_E^{unst}(t)$	$F_E(t)$ nin Dengesiz Parçası
$F_E^{unst}(s)$	$F_E^{unst}(t)$ nin Laplace Transformu
$F_R(t)$	t Anındaki Hareketten Kaynaklanan Radyasyon Kuvveti, kN
$H(t), H$	GÇÜ Kuvveti, kN
$H(s)$	$H(t)$ nin Laplace Transformu
$K_E(t)$	Dalga Etkisi İmpuls Cevap Fonksiyonu
$K_E(s)$	Dalga Etkisi İmpuls Cevap Fonksiyonunun Laplace Transformu
$K_R(t)$	Hareket Kaynaklı Radyasyon İmpuls Cevap Fonksiyonu
$K_R(s)$	$K_R(t)$ nin Laplace Transformu

P_{ref}^i	i Nolu Spektrum Tarafından Taşınan Eneji Miktarı
P_{ins}	Elde Edilen Anlık Güç, kW
P_{avr}	Elde Edilen Ortalama Güç, kW
P_w	Dalga İle Taşınan Metre Başına Eneji Miktarı, kW/m
$S(f)$	Güç Spektrum Yoğunluğu, m^2s
T_o	DFT Pencere Uzunluğu, s
$T_{i\zeta}(t)$	Tahmin Edilen Dalga Periyodu, s
$T_{iv}(t)$	Tahmin Edilen Hız Periyodu, s
$X(s)$	$x(t)$ nin Laplace Transformu
Y^{TS}	Zamanda Ölçeklendirilmiş Y Değişkeni.
$Z(s)$	$\zeta(t)$ nın Laplace Transformu
δt	Örnekleme Aralığı, s
ΔT	Periyot Farkı, s
ρ	Deniz Suyu Yoğunluğu, ton/m^3
τ	Geçici Zaman Sabiti, s
ω	Açısal Hız, rad/s
ω_e	Enerji Frekansı, rad/s
ω_n	Sistem Tabii Frekansı, rad/s
$\overline{\omega_p}$	Bölge Tepe Frekansı, rad/s
$\overline{\omega_p}$	Ortalama Tepe Frekansı, rad/s
$\omega_{sld}(t)$	Kayar Dijital Fourier Transformuyla Bulunan Dalga Frekansı, rad/s
$\omega_{i\zeta}(t)$	Zaman Uzayında Analizle Belirlenen Dalga Frekansı, rad/s
$\omega_{iv}(t)$	Zaman Uzayında Analizle Belirlenen Dalga Frekansı, rad/s
ω_{wave}	Dalga Frekansı, rad/s
ω_p^i	i Spektrumuna Ait Tepe Frekansı, rad/s
$\zeta(t)$	Anlık Dalga Yükselti Ölçüm Sinyali, m
$\zeta'(t)$	Filtrelenmiş Anlık Dalga Yükselti Ölçüm Sinyali, m
f_{ord}	Filtre Derecesi
f_{pass}	Geçiş Bandı Sınır Frekansı, Hz
f_{stop}	Durdurma Bandı Sınır Frekansı, Hz
A_{rip}^{stop}	Durdurma Bandı Dalgalanma Etkisi, dB
A_{rip}^{pass}	Geçiş Bandı Dalgalanma Etkisi, dB
f_s	Örnekleme Frekansı, Hz
$f_{s/2}$	Örnekleme Frekansının Yarısı, Hz
H_p	Önemli Dalga Yüksekliği, m
T_p	Maksimum Period, s
γ	Spectrum Diklik Katsayısı (Peakedness)

GÇÜ	Mekanik Güç Çekici (power take-off) Sistemi
DEK	Dalga Enerjisi Konvertörü
PDF	Sanal Türevselli PID Kontrol
PAWEC	Noktasal Enerji Soğuran Dalga Enerjisi Konvertörü
ZU	Zaman Uzayı
SD	Serbestlik Derecesi
DFT	Dijital Fourier Transformu
KFT	Kayar Fourier Transformu
SİÜ	Sinyal İşleme Ünitesi

ÇİZELGELER DİZİNİ**Sayfa**

Çizelge 2.1. Son yıllarda yayınlanan dalga enerjisi konvertör kontrolü makaleleri	24
Çizelge 3.1. Dalga enerjisi konvertörünün fiziksel özellikleri.....	26
Çizelge 3.2. Aşağı-yukarı hareketli model için gerekli datalar.....	39
Çizelge 3.3. Ayar metotlarının özeti ve uygulama için gerekli bilgi	52
Çizelge 4.1. DEK'in fiziksel özellikleri.....	68
Çizelge 4.2. JOHNSWAP dalga enerji spektrum parametreleri	68
Çizelge 4.3. Herbir DS1-8 kullanılarak aktif ve pasif ayar teknikleri için oluşan sekiz düzensiz dalga alanından ortalama güç kazanımı (kW).....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dünyadaki dalga enerjisi potansiyeli (kW/m olarak enerji seviyesi) (Alister ve Ngoc, 2008).....	3
Şekil 2.2. Dalga enerji konvertörlerinin hareket tipleri (Alister ve Ngoc, 2008).....	6
Şekil 2.3. Kıyı tipi dalga enerjisi konvertörlerine örnekler (Falnes, 1997).....	9
Şekil 2.4. Salyangoz (Limpet) kıyı tipi dalga enerjisi konvertörü (Thorpe, 1999).....	10
Şekil 2.5. Salyangoz (Limpet) modele ait gerçek bir görünüm (Heath, 2008)	10
Şekil 2.6. Su kolonu salınımlı model (Thorpe, 1999).....	11
Şekil 2.7. A Sınıfı kıyı tipi DEK çalışma prensibinin basit gösterimi (Newman, 1979)	12
Şekil 2.8. Yakın kıyı tipi konvertörlerinden OSPREY (Balık Kartalı) modeli (Falnes, 1997)	13
Şekil 2.9. Pelamis adlı açık deniz dalga enerjisi konvertörü (Anonymous, 2007c).....	14
Şekil 2.10. Pelamis'e ait diğer bir görünüm (Anonymous, 2008)	14
Şekil 2.11. Pelamis'e ait bağlantı şekli (Anonymous, 2007b)	15
Şekil 2.12. Farklı DEK modellerinde kullanılan ortak çalışma prensibi gösterimi (Bernhoff ve Leijon, 2006)	16
Şekil 2.13. Archimedes wave swing adlı DEK(Bernhoff ve Leijon, 2006; Morris, 2007)	17
Şekil 2.14. Su osilasyonlu tip DEK (Anonymous, 1996)	17
Şekil 2.15. SPERBOYTM yüzen duba halinde su sütünü osilasyonlu konvertör (Anonymous, 2007e).....	18
Şekil 2.16. SPERBOYTM nın 2007 tasarımı (Anonymous, 2007e).....	19
Şekil 2.17. SPERBOYTM'ye ait şematik ve katı model (Anonymous, 2007a)	19

Şekil 2.18. İkiz zarlı dalga enerjisi konvertörü (Anonymous, 2007d; Anonymous, 2007e).....	20
Şekil 2.19. Açık deniz DEK sistemlerine örnekler (Falnes, 1997)	21
Şekil 2.20. PS Frog'a ait şematik ve üç boyutlu gösterim (Falnes, 1997; Anonymous, 2007a).....	21
Şekil 2.21. Briston Üniversitesi'nin Bristol Silindiri (Anonymous, 2007c).....	22
Şekil 2.22. Edinburgh Üniversitesi'nin Duck adlı dalga enerjisi konverterinin başlıca bileşenleri (Falnes, 1993).....	23
Şekil 2.23. DEK'nin enerji üretim sisteminin içerisindeki konumu (Alister ve Ngoc, 2008)	23
Şekil 3.1. Silindirik dalga enerjisi konvektörünün geometrik görünümü.....	25
Şekil 3.2. PAWEC sistem modelinin tümü.....	28
Şekil 3.3. PAWEC sisteminin simülasyon modeli	35
Şekil 3.4. DEK bloğu ve detayları	36
Şekil 3.5. Ayar elemanı.....	37
Şekil 3.6. Güç çekme bloğu	38
Şekil 3.7. Ortalama güç hesabı bloğu.....	39
Şekil 3.8. Dalga frekansı, dalga periyodu uyumu ve radyasyon katsayısı.....	41
Şekil 3.9. Yer değiştirme, hız, dalga kuvveti ve güç çekme kuvveti eğrileri	42
Şekil 3.10. İdeal PAWEC gücü, anlık güç, ortalama güç hareket eğrileri.....	42
Şekil 3.11. Dalga frekansı, dalga periyodu uyumu ve radyasyon katsayısı.....	43
Şekil 3.12. Yer değiştirme, hız, dalga kuvveti ve güç çekme kuvveti eğrileri.....	44
Şekil 3.13. İdeal PAWEC gücü, anlık güç, ortalama güç hareket eğrileri.....	44

Şekil 3.14. DFT'den sağlanan tahmini frekans ve üretilen sinyalin frekansı ile yayılım katsayısı.....	48
Şekil 3.15. Değişken zamanlı dalga frekansta DFT tahmini ile ayarlanması durumunda tek SD DEK'in cevabı.....	48
Şekil 3.16. Değişken zamanlı dalga frekansta DFT tahmini ile ayarlanması durumunda tek SD DEK'in performansı.....	49
Şekil 3.17. Genel sistem yapısı ve blok diyagramlarının bağlantıları.....	55
Şekil 3.18. Tüm ayar sistemleri için genel sistem yapısı.....	56
Şekil 3.19. Pasif ayarlama için ayar modeli.....	58
Şekil 3.20. KFT ayarlaması için sistem yapısı.....	59
Şekil 3. 21 Zaman serisi dalga frekansını tahmin eden sistem yapısı.....	60
Şekil 3.22. Dalga yükseklik verisi ve periyot tahminli SİÜ.....	61
Şekil 3.23. Filtrelenmiş ve filtrelenmemiş dalga yükseklik spektrumları.....	62
Şekil 3.24. Periyot tahmini için dalga yükseklik bilgisinin zaman serisi analizi.....	63
Şekil 3.25. Dalga yüksekliği veri girdisi (üstte), pasif frekanslardan (P1 için ω_p ve P2 için ω_e) ve aktif ayar frekanslarından(A1 için $\omega_{std}(t)$ ve A2 için $\omega_{t\zeta}(t)$) ..	63
Şekil 3.26. Periyot tahmini ve PDF kullanılarak PTOS yay sabiti kontrolü.....	65
Şekil 3.27. A2 metodu dalga yüksekliği [$T_{t\zeta}(t)$] ve hız [$T_{iv}(t)$] arasındaki periyot farkını (ΔT) minimize ederken filtrelenmiş dalga yüksekliği (üstte), nihai cihaz hız artışı (ortada).....	66
Şekil 4.1. Dalga frekansı tahmin hatası durumunda güç eldesinde performans kaybı ...	69
Şekil 4.2. Pasif ayar tekniği ile kontrol uygulamasının genel durumu (Tablo 4'de listelenen güç kazanımı).....	70

Şekil 4.3. Pasif (P2) ve tüm aktif kontrol tekniklerinin genel performans durumu (Tablo 4’de listelenen güç kazanımı).....	70
--	----

1.GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler sonucunda ortaya çıkan ve her geçen gün artan enerji ihtiyacı insanlığı yeni enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu konuda özellikle gelişen çevre bilincinin de etkisi ile yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalarda ciddi artış görülmektedir. Bu konuda yapılan ilk çalışmalar rüzgâr ve güneş enerjisine kaymış ve bu konulardaki teknolojik gelişmelerle belirli bir seviyeye ulaşmıştır. Bu tespit, özellikle söz konusu sistemlerin ticari ürüne dönüşmüş olmasından da anlaşılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli yeri olan ancak halen geliştirilme aşamasında olan bir başka kaynak ise dalga enerjisidir. Bu kaynak henüz tam anlamı ile değerlendirilememektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda söz konusu kaynağın çok ciddi boyutlarda olduğu ancak teknolojik gelişmelerin uygulamaya geçmek için henüz yetersiz olduğu durumu ortaya çıkmaktadır. Literatür taramasında, söz konusu alanda yapılan çalışmalarda özellikle dalga enerjisi çeviricileri sistemlerinin açık denizlerde kullanılması planlanan tiplerinin en yüksek enerji potansiyeline sahip olduklarını göstermektedir. Ancak, açık denizlerde bu enerjinin elde edilmesi için sistemin bu enerjiyi absorbe edebilmesi ve bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirecek olan enerji dönüşüm sistemine aktarması gerekmektedir. Son 30 yılda yapılan araştırmalar özellikle açık deniz şartlarında enerji konvertörünün salınımlar yapması gerektiğini ve bu salınımların denizdeki dalga ile uyum içinde (aynı fazda) olması gerektiğini, bunun sonucunda da sistemin sürekli olarak rezonansta kalması gerektiğini ortaya koymuştur.

Açık denizde değişen dalga şartlarında konvertörün rezonansta kalması durumu sadece makinenin kendi titreşim frekansının dalganınkine göre ayarlanabilmesi (eşit yada yaklaşık eşit yapılabilmesi) ile mümkündür. Makinenin bunu gerçekleştirebilmesi için ise sistemin uygun şekilde tasarlandığı kabul edilen yay ve değişken kütle elemanlarının özelliklerini değiştirmesi gerekmektedir. Bu amaçla yay elemanının yay katsayısı değiştirilebilir. Ayrıca, sistem içindeki bir su deposuna su eklenip çıkartılarak da makinenin toplam kütlesi değiştirilebilmektedir. Ancak, burada ele alınacak olan temel sorun deniz dalgasının karmaşık yapısı ve bu şartlarda ayar parametrelerinin alması gereken değer olup, bu şekilde değerlendirildiğinde işlem esasen karmaşık bir kontrol problemidir.

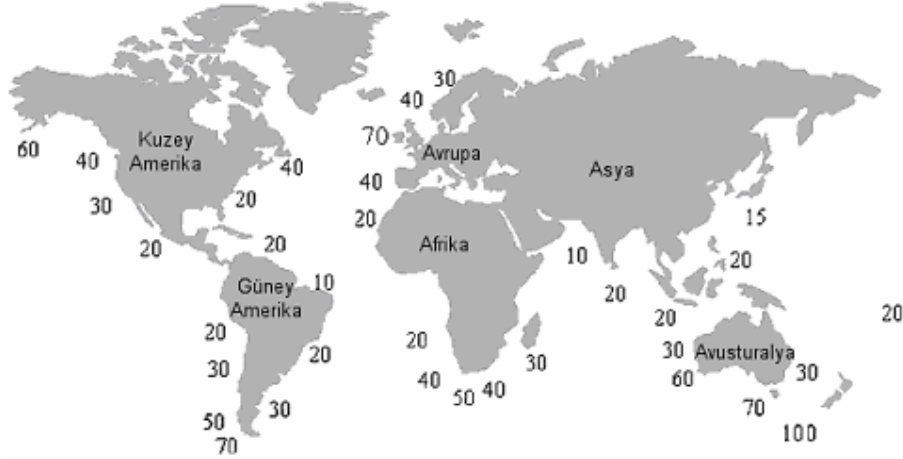
Ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar çok sınırlı düzeydedir. Literatürde ülkemizde bu konu ile ilgili sadece 4 makaleye ulaşılabilmektedir. Söz konusu alanda hali hazırda 30 yıllık literatür tarandığında toplam 2 adet yoğun ilgi gören hızlı tip kontrol uygulamasına ait teori ile karşılaşılr. Bunlar kompleks eşlenik (Complex conjugate) ve kilitleme kontrol (latching control) şeklinde isimlendirilmiştir. Kompleks eşlenik kontrol faz ve genlik kontrolü olmak üzere 2 ayrı kontrol işleminden oluşurken, kilitleme kontrol sadece sönümlleme elemanı kontrolünü içerir.

Bu çalışma ile amaçlanan ise, ülkemizin bilimsel ve teknolojik araştırma gücüne yeni yetenekler kazanımına ve ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasına katkı sağlamak üzere söz konusu alanda araştırma yapmaktır.

Çalışmalar düzenli ve düzensiz dalga formları olmak üzere iki farklı düzeyde ele alınacaktır. Yapılacak çalışmaya esas oluşturan kontrol sistemleri incelemesi ise her iki dalga tipi içinde incelenecek olup, sonuçları pratik uygulamalar açısından karşılaştırılacaktır. Bu amaçla, en son gelişmeler ışığında yapılan modelleme çalışmalarına konu olan sistem modelleri incelenecek simülasyonlarla sistemlerin enerji üretim performansı değerlendirilecektir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Özellikle enerji alanında yapılan araştırmalara 1970’li ve 1980’li yıllarda ortaya çıkan petrol krizleri ile büyük önem ve hız kazandırmıştır. Özellikle bu krizlerden sonraki dönemlerde özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi konularında araştırmalar yapılmış ve hali hazırda kullanılan sistemler geliştirilmiştir. Ancak, güneş ve rüzgâr enerjisinin artan ihtiyaca cevap verememesi, söz konusu alanlardaki araştırmalara dalga enerjisi konularının da dâhil edilmesine sebep olmuştur. Özellikle dalga enerjisi konularına odaklanan ülkeler özellikle denizlere kıyısı bulunan ülkelerdir. Buna karşın teknoloji geliştirip bu teknoloji ile üretilen ürünlerin satışına bağılı gelir elde eden ülkelerde de denize kıyısı olmadığı halde söz konusu alanda yatırımlar ve çalışmalar yapıldığı gözlenmektedir.



Şekil 2.1. Dünyadaki dalga enerjisi potansiyeli (kW/m olarak enerji seviyesi) (Alistier ve Ngoc, 2008)

Şekil 2.1’den de görüldüğü üzere özellikle okyanuslara kıyıları olan ülkelerin kıyılarına ulaşan dalga enerjisi konusunda diğerlerine göre daha şanslı durumda bulunduğu görülmektedir. Ancak, dalga enerjisi konvertörleri (DEK) ile ilgili araştırmalar ise hemen tüm dünya ülkelerine yayılmış bulunmaktadır. Şekil 2.1’de yıllık ortalama enerji akısı kW/m olarak verilmiştir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde 1970’li yılların başlarındaki petrol krizine kadar dalga enerjisi konusu ile ilgili araştırmaların sınırlı sayıda olduğu görülür. Ancak bu krizden sonra bu konudaki araştırmalar ciddi derecelerde yoğunluk kazanmıştır.

Özellikle akışkanlar mekaniği alanında yapılan çalışmaların (Olgivie, 1963; Longuet-Higgins, 1963; Pierson ve Moskowitz, 1964; Black, 1975;) da etkisi ile bu alandaki çalışmalara bir alt yapı oluşturulunca söz konusu alanın popülerliği daha da artmıştır. Bunların sonucunda özellikle 1970'li yılların sonlarına doğru söz konusu sistemlerin yapıları konusunda yayınlar özellikle Evans (Evans, 1979), Fry (Fry ve Jeffery, 1979) ve Newman (Newman, 1979) öncülüğünde olmak üzere yapılmaya başlanmıştır.

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda araştırma konusu özellikle dalga enerjisi konvertörü sistemlerinin geliştirilmesine kaymıştır. Geliştirilen sistemler arasında salınımlı tiplere örnek olarak Edinburg Üniversitesi'nin Duck'ı (Salter ve ark., 1976; Edinburgh University, 1979; Anderson, 1985; Salter, 1993), Briston Üniversitesi'nin Bristol Silindiri (Bernhoff ve Leijon 2006; Bjarte ve ark., 2006), Lancaster Üniversitesi'nin Lancaster silindiri (French, M.J., ve Bracewell, R., 1985; Shwater, 1992), Flounder'i (French ve Hurdle, 1982; Folley, 1991) ve PS Frog'u (French ve Hurdle, 1982; Lancaster University, 1988; Bracewell, 1990), Coventry Üniversitesi'nin Clam'ı (Convery University, 1986; Lockett, 1991; Peatfield, 1991) verilebilir.

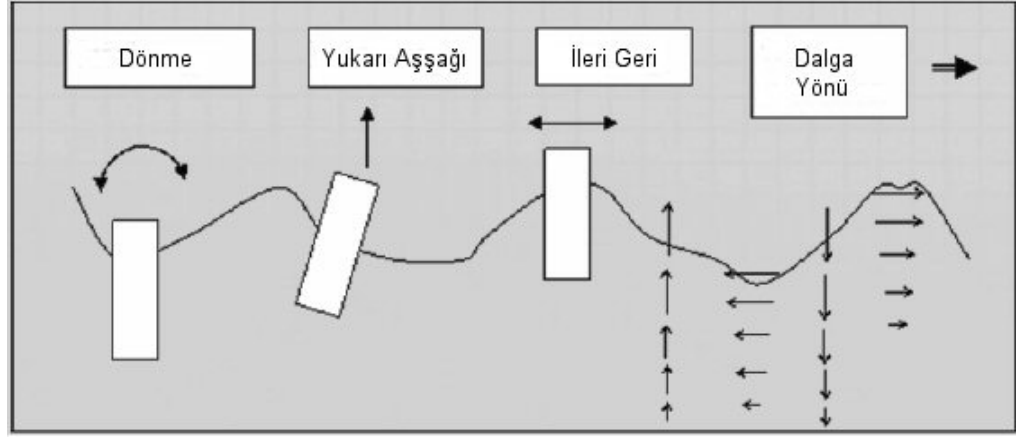
Ancak bu çalışmalara konu olan sistemlerin incelemeleri lineer dalga ve lineer sistem yapısı ve davranışı ile sınırlı kalmıştır. Özellikle karşılaşılan lineer sistem ve ortam sınırlamalarına rağmen önemli katkılarıyla Budal ve Falnes (Budal ve Falnes, 1975) rezonans ve nokta absorbe dalga enerji konvertörü (Point Absorber Wave Energy Converter - PAWEC) tanımlarını ortaya koyup, bu sistemlerin çalışmasına dair detaylarını açıklayan ilk araştırmacılarıdır. Özellikle Budal ve Falnes'in bu çalışmaları daha sonraki yıllardaki çalışmalara yön vermiş ve Evans, Jeffery ve Newman'dan sonraki dönemin en önemli araştırmacıları olmalarına sebep olmuştur. Söz konusu yıllarda bilgisayar sistemlerinin kısıtlı özellikleri, araştırmadaki kısıtlı kullanımı ve akışkanlar mekaniği konularındaki yazılımların henüz geliştirilmemiş olması, yapılan çalışmaları lineer teori sınırlarında kalmaya zorlamış, yapılan deneysel çalışmalar da bu teorik çalışmaların lineer yapılarına uygun şekilde ispata yönelik olmuştur.

Ancak 1980'li yılların ortasına kadar hararetle devam eden araştırmalar petrol fiyatlarının düşmesi ve ilginin azalması ile kesintiye uğramış ancak azda olsa söz konusu alanda bazı çalışmalar yapılmıştır (Spiegel, 1965; French, 1982; Lancaster University, 1988; Bracewell, 1990; Folley, 1991). Bu etki 1990'lı yılların ortalarına

kadar sürmüŒ, ara dönemde araştırma grupları çalışmalarını farklı konulara kaydırmiş ve kesilen finansal desteklerin sonunda önceki yıllarda kurulan deneysel sistemler ve ilgili laboratuvarlar kapatılmış veya beklemeye alınmıştır. Ancak 1990'lı yılların ortalarından itibaren tekrar artışa geçen enerji ihtiyacı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve nükleer enerjiye olan tepki sebepleri ile söz konusu sistemlere yönelik yatırım ve araştırma çalışmalarına yeniden ağırlık verilmeye başlanmıştır. Dalga enerjisi çalışmalarına yönelik ülke analizleri İsveç (Bergdahl, 1979; Bergdahl, 1992), İngiltere (ETSU, 1985; ETSU, 1994), Norveç (White, 1989), İspanya (Matas, 1992), Danimarka (Thorpe, 1993), Japonya (Miyazaki, 1995; Hotta, 1995) ve Hindistan (Falnes, 1997) için yapılmış ve ilgili raporlar yayınlanmıştır. Bu çalışmalarda söz konusu ülkelerin yüksek enerji potansiyelleri ve bu ülkeler için söz konusu enerji kaynağının önemi ortaya konulmuştur.

Özellikle dalga enerji konvertörleri ile ilgili uygulamalar için yapılan incelemelerde uygulama yerine göre 3 tip sistem ortaya çıkmıştır. Bu sistemler kıyıda, kıyı yakınlarında ve açık denizde uygulanan tip olmak üzere üç ana grup altında toplanmıştır. Bu gruplar içinde en kolay uygulanabilen sistemler kıyıda kurulanlar olup onu sırasıyla yakın kıyı ve açık deniz tipi takip etmektedir (Thorpe, 1999). Ancak, aynı incelemelerde özellikle en yüksek enerji dönüştürme potansiyeline sahip uygulamanın açık deniz uygulaması olduğu bunu da sırası ile yakın kıyı ve kıyı uygulamasının takip ettiği belirlenmiştir (Whittaker, 1993; Thorpe, 1999). Bu bulgular özellikle son yıllarda yapılan araştırmaları açık deniz uygulamalarına doğru kaydırmiştır. Bu nedenle tez çalışmasına esas alınan sistem modeli açık deniz uygulaması olarak belirlenmiştir.

Dalga enerjisi konvertörlerinin hareket tipleri ve enerji özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, 3 hareket tipinin en yoğun enerji potansiyeline sahip olduğu görölmüştür. Bu hareketler Şekil 2.2'de Şematik olarak gösterilmiştir. Bu hareketler aşağı-yukarı (heaving), ileri-geri (surging) ve deniz yüzeyine paralel dalga yönüne dik bir ekseninde dönme (pitching) olarak tespit edilmiş olup (Bracewell, 1990; French, 1991), teklifi yapılan çalışma aşağı yukarı hareket tipine yoğunlaştırılmıştır.



Şekil 2.2. Dalga enerji konvertörlerinin hareket tipleri (Alister ve Ngoc, 2008)

Dalga enerjisi konvertörü geliştirilmesi adına yapılan çalışmalar üç ana başlık altında toplanan alanlarda gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilki sistem geometrisi, ikincisi enerji dönüştürme elemanlarının yapısı, üçüncüsü ise söz konusu sistemlerin sürekli salınımını sağlayan kontrol sistemlerinin tasarımı olarak sıralanabilir.

Sistem geometrisi alanında yapılan çalışmalar geometrik çeşitlilik açısından seksene varan bir rakama ulaşmıştır. Ancak bunların büyük bir kısmı kavramsal tasarım aşamasında olup (Whittaker, 1965; Hotta ve ark., 1965; Zhi ve ark., 1965; Kofoed, 1988; Salter ve Lin, 1995; Thorpe, 1995; Tjugen, 1995; Whittaker, 1995; DWP, 1996; Henderson, 2006), kısıtlı sayıda sistemin su tanklarında küçültülmüş modelleri denenmiş ve bunların ancak birkaçı (Nielson ve ark., 1995) gerçek boyutlarda uygulama imkanı bulmuş, bunlardan da sadece birisi (Pelamis, OPD Ltd.) belirgin bir ölçüde başarılı olmuştur (Thorpe, 1993). Bu sistemin halen deneme testleri yapılmaktadır (Thorpe, 1998).

Enerji dönüştürme elemanları esasen sistemin en önemli elektro-mekanik alt kısmıdır. Bu kısım, gövdenin salınım hareketlerini yakalayıp bunları elektrik enerjisine çeviren elemandır. Bu sistemin sürekli enerji üretmesi sistemin sürekli olarak salınım halinde bulunmasına diğer bir deyişle rezonans halinde bulunmasına bağlıdır. Bu nedenle bir dalga enerjisi konvertörü ancak salınım yaptığında enerji üretir (Osanaı, 1965; Salter, 1993; Curan, ve ark., 1995; Salter ve Taylor, 1995; Watabe, 1995; Mc Cormick ve ark., 1998).

Dalga enerjisi konvertörü kontrol sistemi ise konvertörü sürekli salınımda tutmak ile görevlidir. Sistem en basit hali ile konvertörün tabii frekansı ile dalganın geometrik yüzeyde oluşan kuvvetinin frekansını bir tutmaya ya da en yakın değerde getirmeye çalışmakla görevlidir. Kontrol sisteminin ilk görevi içinde bulunulan dalga şartları için analiz yapmak ve dalganın ana gövdede sebep olduğu kuvvetin frekansını bulmaktır. Daha sonra da bu frekansa göre konvertörün frekansını ayarlamaktır. Ancak konvertörün frekansını ayarlama işlemi hem mekanik sistemin yapısını hem de enerji dönüşüm sisteminin özelliklerinin değiştirilerek konvertörün tabii frekansının ayarlanmasını gerektirir (Falnes ve Budal 1978; Hoskin ve Nichols, 1986; Nichols ve ark, 1991).

Bu çalışmaya konu edinilen dalga enerjisi konvertörlerinin çalışma prensipleri dikkate alındığında söz konusu sistemlerin sürekli olarak salınım halinde bulunması gerektiği görülür. Ancak söz konusu salınımlar sürekli iken enerji dönüşüm sistemi sürekli olarak sistemin salınımindan enerji absorbe ederek elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu nedenle konvertörün sürekli salınım yapması şarttır.

Bu durumda da denizdeki dalgaların durumunun incelenmesi, buna karşılık sistemin durumunun belirlenmesi ve rezonans için gerekli ayarlamaların yapılması gerekir. Söz konusu ayarlamalar konvertörün tabii frekansının değiştirilmesini gerektirdiğinden, konvertörün fiziksel özelliklerinden kütlesi ile enerji dönüşüm sisteminin yay etkisi ve sönümlenme etkisi olmak üzere 3 farklı özellik üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Literatürde kütlenin değiştirilmesi ile tabii frekans ayarlaması, konvertörün gövdesi içindeki depolara su alma ve verme işlemi şeklinde yavaş ayarlama (Slow Tuning) olarak tanımlanan metotla (Thorpe, 1999) yapıldığı görülmektedir. Yavaş ayarlama adını işlemin yavaşlığından almaktadır ki genellikle bu süre saatlerle ifade edilir.

Buna ilaveten enerji dönüşüm sistem parametrelerinin ayarlanması esasına dayalı üç farklı kontrol tekniği daha tanımlanmıştır. Bu teknikler, enerji dönüşüm sisteminin yay elemanının yay katsayısı ayarlamasına dayanan faz kontrolü (Phase Control) ve sönümlenme elemanı ayarına dayanan kilitleme kontrolü (Latching Control ve Kompleks Eşlenik Kontrol) olmak üzere hızlı ayarlama (Fast Tuning) grubu kontrol tiplerini oluşturmaktadır. Bu tiplerde ise süre genellikle saniye yada dakika mertebelerinde olduğundan işlem hızlı ayarlama adını almaktadır.

Özellikle kontrol sistemi tasarımı açısından bakıldığında çalışmaya esas olan konu, tipik mühendislik uygulamalarına göre birçok yönden farklılıklar göstermektedir. Bunların başında konvertör ve enerji dönüşüm sisteminin fiziksel özelliklerinin zamana bağlı olarak değişimi ve dolayısı ile dinamik fiziksel özellikler içeren sistemler oluşudur. Bunun yanı sıra, tipik mühendislik uygulamaları genellikle sistemi rezonanstan korumaya çalışırken, seçilen uygulama alanı sistemi sürekli rezonansta tutmayı gerektirmektedir.

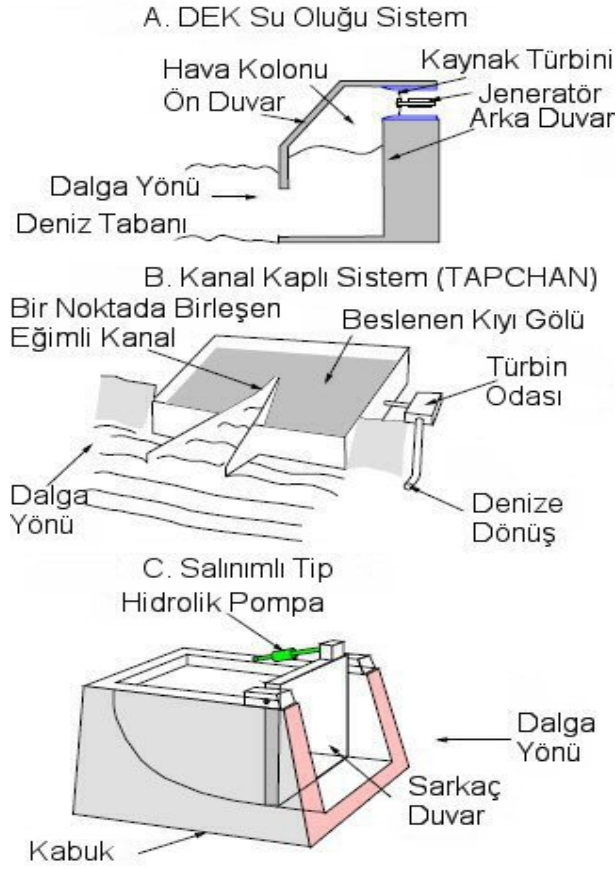
2.1. DEK Sistemlerinin Yapılarına Göre İncelemesi

Dalga enerjisi konvertörlerinin karşılaşılan tipleri arasında üç farklı grup ortaya çıkmaktadır. Bu tipler genel olarak uygulama alanındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu sistemler, uygulama alanlarına göre sınıflandırıldığında 3 farklı tip ortaya çıkmaktadır. Bu gruplar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- a) Kıyı uygulamaları
- b) Yakın kıyı uygulamaları
- c) Açık deniz uygulamaları

Dolayısı ile söz konusu sistemlerin incelenmesinde bu sınıf ayırımına göre geometrik yapısal incelemesi yapılmalıdır.

2.1.1. DEK Sistemlerinin Kıyı Uygulamaları

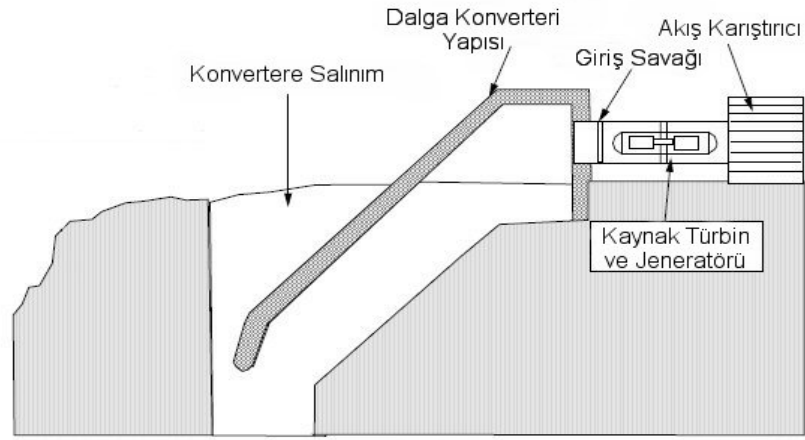


Şekil 2.3. Kıyı tipi dalga enerjisi konvertörlerine örnekler (Falnes, 1997)

Kıyı tipi DEK konvertörlerini genel olarak kabaca üç yapısal sınıfa ayrılması mümkündür. Yukarıdaki şekilde kıyı tipi dalga enerjisi konvertörlerine ait belli başlı tipler görülmektedir. Ortak mantıkları kıyıya doğru belli bir hızla gelen dalganın sahip olduğu enerjiyi tampon bir parçanın hareket ettirilmesi ile hareket eden parçalar aracılığıyla enerjiyi yüklenip hemen elektrik enerjisine çevirmektir. Bunun için genelde ya bir piston ya da bir kabinde/odacıkta sıkıştırılan hava basıncından yararlanır. Son iki sınıftaki (B ve C) konverter tipleri ilk sınıftaki konverterler kadar verimli olamamaktadırlar. İkinci sınıftaki kanal kaplı sistemde (TAPCHAN) denizden gelen dalgaların basıncı ve yüksekliği eğimli kanal sayesinde sıkıştırılarak artırılır. Yüksekliği artan su kütlesi kanalın sonunda hazırlanmış olan havuzcuğa dökülür ve birikir. Havuzun tabanının hemen altında deniz seviyesinin hemen üstündeki bir seviyeden açılan kanal sayesinde havuzda biriktirilen su kütlesi tekrar denize geri

dökülür. Bu su kütleinin sahip olduğu sırasıyla önce potansiyel enerji sonra mekanik enerjiye dönen enerji kanal üzerine konulan yine türbin ve jeneratör ikilisi sayesinde son olarak elektrik enerjisine çevrilmiş olur.

Son sınıftaki salınımlı tip DEK'de ise çalışma mantığı deniz dalgalarının sahip olduğu kuvveti dalganın çarpmasıyla salınım yapabilecek şekilde tasarlanmış bir plakanın hareketi sayesinde daha düzenli bir harekete dönen bu hareket ile bir pistonun hareketini sağlamaktır. Bu hareket ile yağ pompalanarak mekanik iş ardından aynı şekilde elektrik enerjisi elde edilebilir ve basit olarak ek bir piston ile de ters yönde de yani plaka sabit konumuna geri düşerken de enerji elde etmek mümkündür.



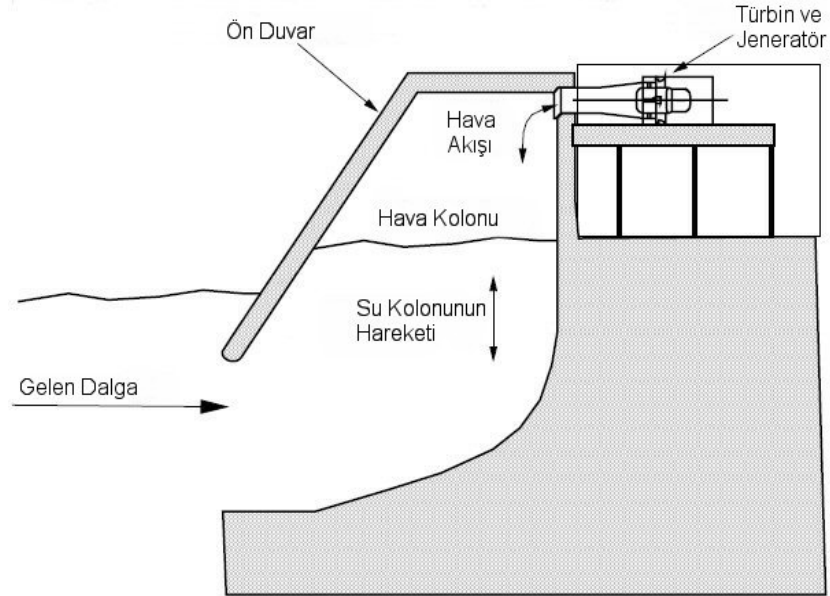
Şekil 2.4. Salyangoz (Limpet) kıyı tipi dalga enerjisi konvertörü (Thorpe, 1999)



Şekil 2.5. Salyangoz (Limpet) modele ait gerçek bir görünüm (Heath, 2008)

Altını çizmek gerekirse; Şekil 2.3'deki A şıkkı (Su oluğu) sınıfında olan kıyı tipi DEK konvertörlerinin temel ortak mantığı dalganın geliş yönüne karşı konumlandırılmış yarı kapalı bir kap gibi bir öğeyi barındıracak şekilde tasarlanmalarıdır. Örneğin üstteki Şekil 2.4' ve Şekil 2.5'te verilen sistem, dalganın kıyıya ulaşmasıyla birlikte konvertere salınım yapan kısımda yığılarak biriken su kütlesinin yüksekliği artacağından basıncıda artmış olacaktır. Böylece su kütlesi kapalı kısımdaki düşük basınç nedeniyle yarı kapalı kabın kapalı tarafına doğru harekete geçecektir. Bundan dolayı kapalı tarafta bulunan hava sıkışmaya zorlanacak sıkışan hava giriş savağı kısmında bulmuş olduğu çıkış kanalından sistemin dışına kaçacaktır. Bu sırada sıkıştırılmış hava kanal içerisinden dışarıya kaçarken yine kanal içerisine konulan türbinden geçerken türbini döndürerek dalganın sebep olduğu basınç kuvveti ile iş yapmış olacak ve yine aynı kısımdaki jeneratör ile bu dönme hareketine sahip mekanik enerji hemen elektrik enerjisine çevrilmiş olacaktır. Bunun sonucunda da amaçlanan dalga kuvveti ile elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

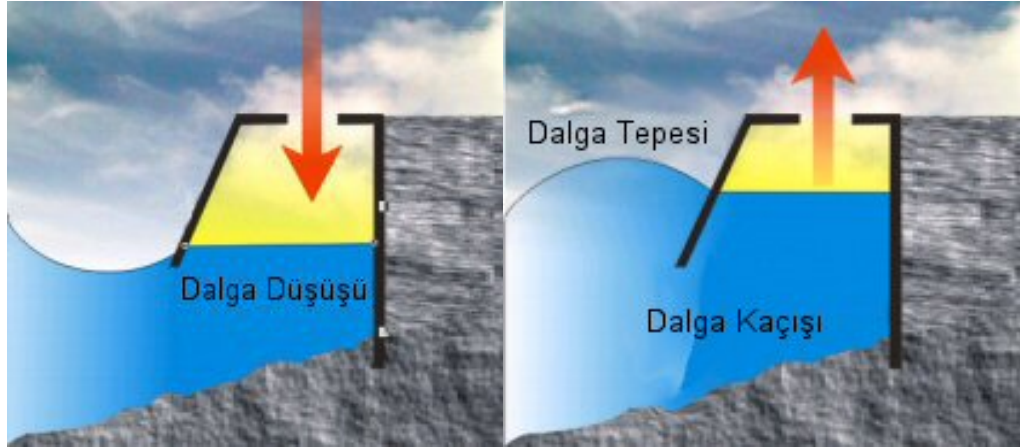
Şekil olarak farklı gibi görünseler de kıyı tipi konvertörler birbirlerine çok benzer özellikler taşırlar. Sistemin verimini arttırmak için değişik şekiller ortaya çıkmıştır. Aslında birbirlerinin türevleri veya yeni modelleri olarak adlandırılabilirler.



Şekil 2.6. Su kolonu salınımlı model (Thorpe, 1999)

Şekil 2.6’da yine A sınıfındaki diğer bir kıyı tipi DEK modeli görülmektedir. Şekil olarak yukarıda baktığımız Limpet modeli ile çok büyük benzerlik gösterir. Çalışma mantığı tamamen aynıdır.

En genel şekliyle özetlemek istersek A sınıfındaki kıyı tipi DEK’leri temel olarak en basit haliyle aşağıdaki (Şekil 2.7) temel prensip sayesinde enerji üretimi sağlarlar. Dalganın gelip yarı kapalı sistemin ön duvarında birikmeye başlamasıyla enerji üretim süreci başlar. Sistemin ön duvarına yığılmaya başlayan su kütlesi kapalı kısımda basınca sebep olur ve sıkıştırılan havanın hareketinden elektrik enerjisi elde edilir. Ön duvar üzerinde yığılan su kütlesi dalga hareketinin tamamlanmasıyla geri dağılmaya, denize doğru gerilemeye başlar. Bu sırada daha önce ön duvar üzerinde yığılan su kütlesinin yüksekliği ve dolayısıyla basıncı düşer. Bunun sonucu bu kezde yarı kapalı sistemin kapalı tarafındaki basınç dışarıdakından yüksek olduğu için içerideki su kütlesi tekrar denize geri döner ve dönerken sistem içinden daha önce dışarı kaçan havayı geri çeker.

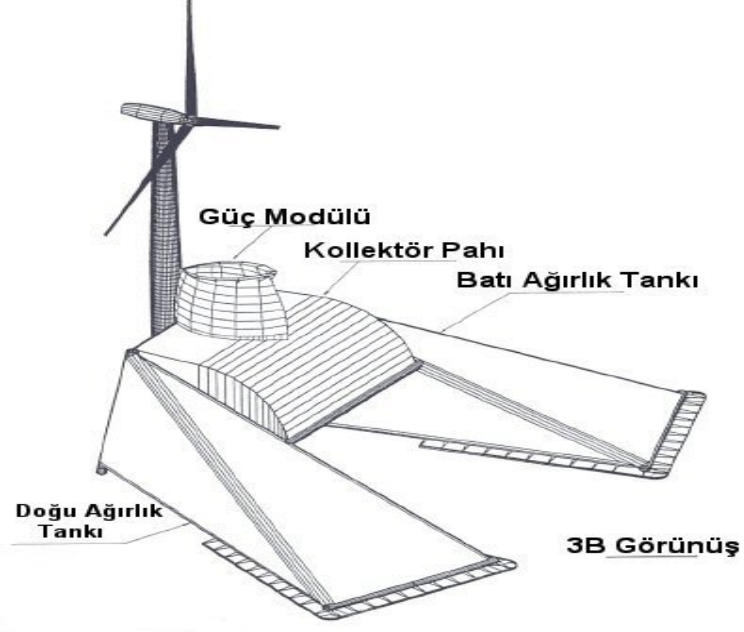


Şekil 2.7. A Sınıfı kıyı tipi DEK çalışma prensibinin basit gösterimi (Newman, 1979)

2.1.2. DEK Sistemlerinin Yakın Kıyı Uygulamaları

Yakın kıyı DEK daha öncede belirtildiği gibi kıyı tipi uygulamalardan daha verimli ancak açık deniz uygulamalarından daha verimsizdir. Yakın kıyı tipi DEK’lerine aşağıdaki konvertör tipi güzel bir örnektir. Burada da gelen akım kıyı tipi konvertörlerin bazı modellerinde olduğu gibi eğimli ve yükselen yan duvarlar sayesinde yoğunlaşarak yükselir ve kolektör içerisinde bulunan havayı sıkıştırıp, dışarı

hareketlendirerek hava akışı sağlar bu sırada diğer birçok konverterde olduğu gibi bu hareketten bir mekanik enerji ve hemen ardından elektrik enerjisi elde edilir.



Şekil 2.8. Yakın kıyı tipi konvertörlerinden OSPREY (Balık Kartalı) modeli (Falnes, 1997)

2.1.3. DEK Sistemlerinin Açık Deniz Uygulamaları

Açık deniz tipi DEK'den en çok başarı sağlamış olan model daha öncede bahsi geçen PELAMİS adlı konvertördür. Şekil itibari ile kıyı ve yakın kıyı tiplerinden belirgin bir farklılık gösterir. Aşağıda bu modelin şekli görülmektedir. Pelamis en basit tabirle birbirlerine döner mafsallarla bağlanmış uzun çubuk gövdeler ve yine bu bağlantı noktalarına konulmuş pistonlardan oluşan bir sistemdir. Pelamis işte bu yapısı nedeniyle deniz dalgaları üzerinde dalga hareketine uyum içerisinde aynı türden bir dalgalanma hareketi yapar.

Bu dalgalanma hareketi temelde çubuk gövdelerin birbirlerine bağlantı noktalarındaki mafsallar sayesinde bu noktalardan gerçekleşen bir bükülme hareketidir. Bu bükülme hareketi sırasında çubuk gövdeler arasında bulunan pistonlarında açılıp kapanması sağlanmış olur. Sonuç olarak böylece başlangıç olarak deniz dalgasının taşıdığı düzensiz, kontrolsüz kuvveti yakalamış ve düzenli bir mekanik harekete

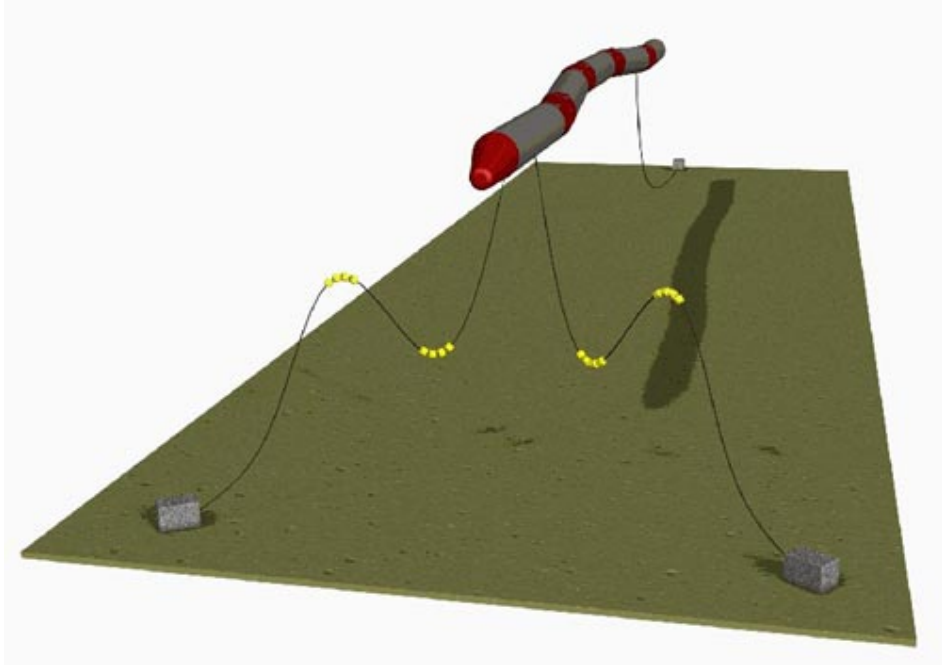
çevirmiş oluruz. Amaca ulaşılan bu noktadan sonra düzenli bir mekanik hareketi yakaladığından artık bu hareketin taşıdığı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirilebilir. Bu da sistemin yapısına uygun olarak bazen yağ pompalayarak bazende içerisinde elektrik üretimi görevini üstlenen ve temel olarak stator gibi elemanlar barındıran pistonlarla direk olarak elektrik enerjisi üreterek olur.



Şekil 2.9. Pelamis adlı açık deniz dalga enerjisi konvertörü (Anonymous, 2007c)



Şekil 2.10. Pelamis'e ait diğer bir görünüm (Anonymous, 2008)

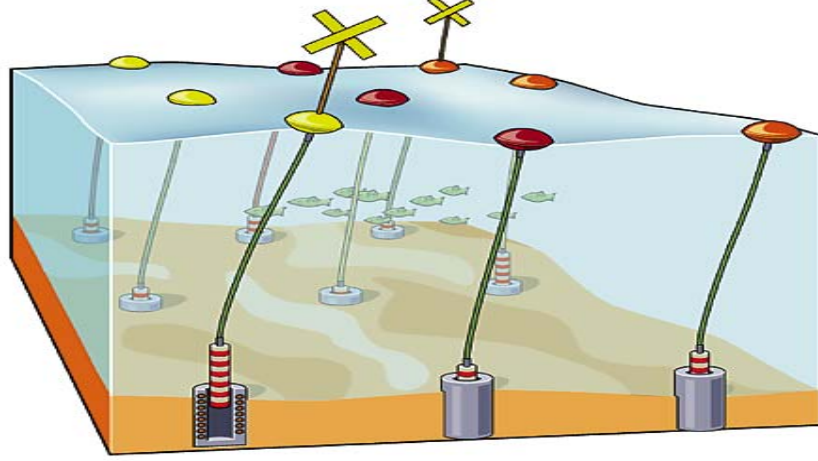


Şekil 2.11. Pelamis'e ait bağlantı şekli (Anonymous, 2007b)

Şekil 2.11'de Pelamis modelinin çalışır konumdaki görünümü ve bağlantı şekli şematik olarak gösterilmiştir. Pelamis'in çalışacağı bölgeye montajı gerekmektedir. Pelamisin yüksek dalga enerjisine sahip bölgelerde çalışması istenmektedir. Bunun yanısıra çevredeki deniz trafiği güvenliği açısından da Pelamis'in deniz içerisinde serbest çalışması gereksede hareket alanını sınırlandırmak gerekmektedir. Bağlantıyı sağlamak için ise Pelamis şeklindeki gibi ön tarafta iki noktadan arkada ise bir noktadan deniz tabanına bağlanmıştır. Bu sayede çalışma sırasında ileri geri veya sağa sola dönmeyi çok fazla engellememiş ancak rahat bir çalışma pozisyonunu sağlamış olur. Ayrıca şekilde sarı renkte görülen parçalardan düşük seviyede olan grup ağırlık grubudur. Daha yüksek seviye de duran grup ise batmayan kaldırıcılardır. Bu parçalar, bağlantı halatlarının gergin kalması, bu sayede gelen kuvveti sistemin bir anda bütün olarak dalga yönünde hareket etmesini engellemek, yani bükülme olmadan konum değiştirmeyi engelleyi, dolayısıyla verimin biraz daha artmasını sağlamaktadır. Böylece modelin deniz içerisinde sınırlı hareket etmek şartıyla serbest hareketi sağlanmış olur.

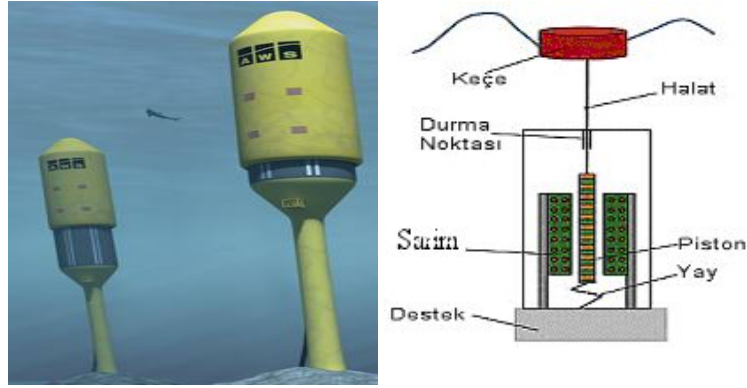
Aşağıda ise Pelamis'den şekil olarak farklı ama ortak olarak piston kullanımı düşünülmüş olan farklı sistemlere esin kaynağı olan temel mantık görülmektedir. Bu düşünce tarzında deniz yüzeyinde simit, keçe veya duba gibi batmayan cisimlerin deniz

tabanında bir silindire bağlanması ve deniz dalgalandıkça bu silindirin yukarı aşağı hareketi ile elektrik enerjisi eldesi esastır. Deniz yüzeyindeki hava dolu kaplar sürekli deniz suyu seviyesinde kalmak ve batmamak isteyeceklerinden, deniz dalgalanıp su yüzeyinin seviyesi değıştikçe bu kapların yüksekliği de su yüzeyi yüksekliği arttıkça artacak ve azaldıkça azalacaktır. Bu artış ve azalmada doğal olarak tabana bağlı pistonun yükseklik konumunun artıp azalmasını sağlayacaktır.



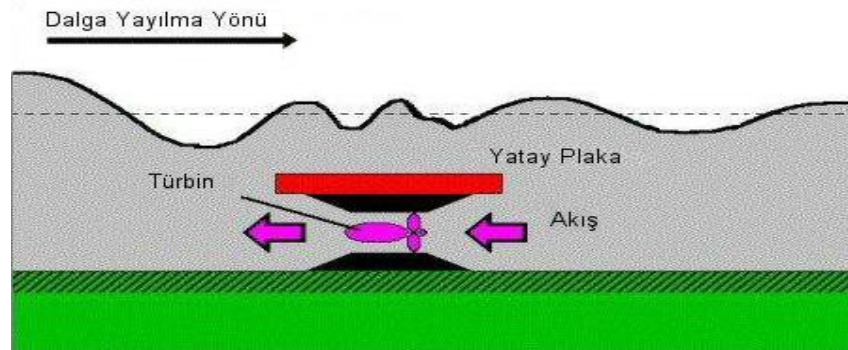
Şekil 2.12. Farklı DEK modellerinde kullanılan ortak çalışma prensibi gösterimi (Bernhoff ve Leijon, 2006)

Alttağı şekilde yine daha önceki sistemle aynı mantığa sahip bir sistem görölmektedir. Burada ise deniz dalgalandıkça üzerindeki basıncın değışmesinden dolayı yukarı aşağı hareket eden pistonun çalışma anındaki konumu izlenebilir. Hemen sağdaki resim ise bize bu tür silindirlerin daha önce belirtilen ortak çalışma prensibini göstermektedir. Göröldüğü gibi statorun ortasında hareket eden pistonunun belli bir noktadan sonra daha fazla yükselmesini engelleyici bir durma noktası tasarlanmıştır. Belli bir noktadan sonra artık pistonun durmasını gerektiren sebep çok fazla yüksekliğe sahip dalgaların hem seyrek olması hemde sistemin şeklinin tasarımıyla ilgilidir. Altta ise yay görölmektedir. Bu yay sayesinde ise pistonu yukarı çekmek için gerekenden fazla enerjiye sahip olan dalganın enerjisinin bir kısmını da yayda depolanmaktadır. Yani pistonun bir yerden sonra kapasitesi gereği daha fazla depolayamadığı, kaçırdığı enerjisinin bir kısmı yay ile depolanmış olur. Ayrıca yayda depolanan enerji sayesinde yukarı çıkan piston tekrar eski konumuna getirilmış ve böylece sistemin iki yönlü çalışmasında sağlanmış olur.



Şekil 2.13. Archimedes wave swing adlı DEK(Bernhoff ve Leijon, 2006; Morris, 2007)

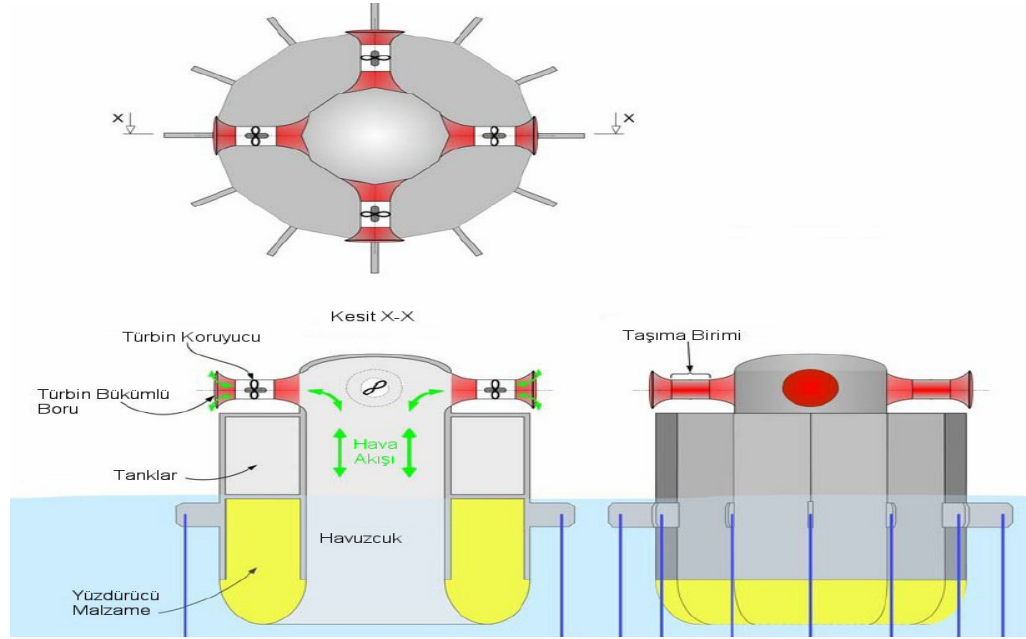
Diğer bir deneme Şekil 2.14'teki gibi gerçekleştirilmiştir. Bu düşünce tarzı ise yine akış sayesinde oluşan basınç farkından dolayı suyun yüksek basınçtan düşük basınca kaçması sırasında sahip olduğu kuvvetin yakalanarak önce mekanik enerjiye hemen ardından da elektrik enerjisine çevirme esasına dayanır. Şekilden görüldüğü gibi deniz tabanına monte edilmiş türbinin dönmesi sağlanır. Bu ise dalgalanma sırasında sistemimizin bir tarafında yüksek deniz seviyesi diğer tarafında ise daha düşük deniz seviyesi olduğunda suyun yüksek deniz seviyeli taraftan düşük deniz seviyeli tarafa hareket etmek istemesiyle olur. Yüksek basınç tarafından düşük basınç tarafına akış gerçekleşirken akış yolu üzerine konulan türbinin çalışması sağlanmış olur. Böylece artık elde ettiğimiz enerjiyi jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürme imkânına kavuşmuş oluruz.



Şekil 2.14. Su osilasyonlu tip DEK (Anonymous, 1996)

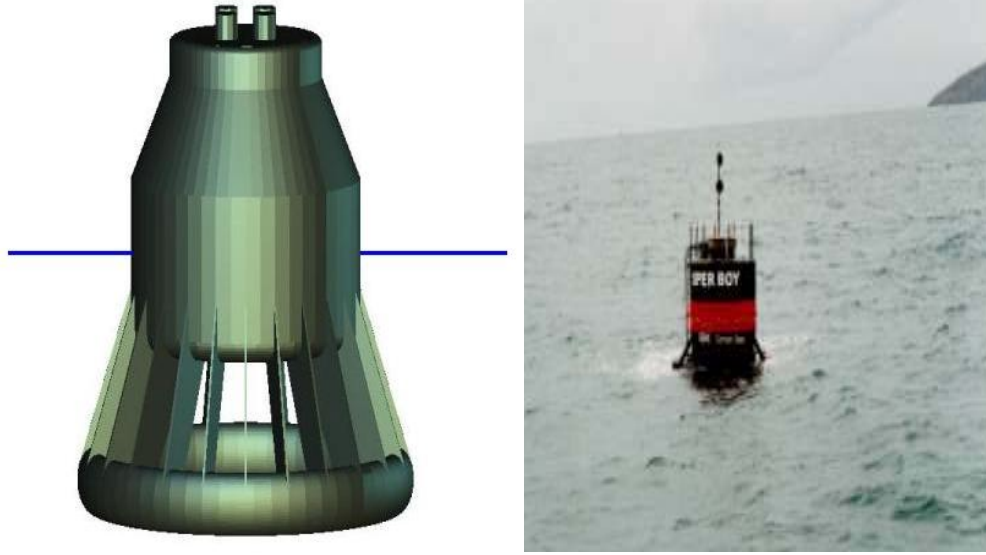
Aşağıdaki şekilde açık deniz DEK'lerine uygun bir örnek görülmektedir. Özel bir firma tarafından üretilen DEK modelin adı SPERBOY™'dir. Su kolunu osilasyonu

temel prensibi ile çalışır. Bu modelde de su seviyesinin yükselmesiyle beraber oluşan basınç farkından kaynaklanan suyun akış hareketiyle iç kısımda sıkışan hava türbinlerden geçirilerek yine önce mekanik enerji ardından elektrik enerjisi elde edilir.



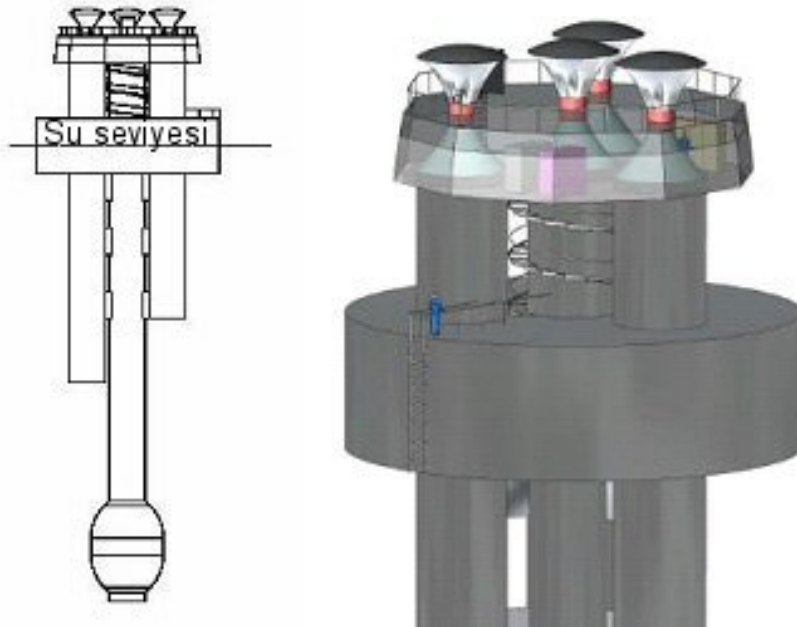
Şekil 2.15. SPERBOYTM yüzen duba halinde su sütünü osilasyonlu konvertor (Anonymous, 2007e)

Aşağıda da yine Superboytm model bir DEK'üne ait katı şematik katı model ve gerçek bir görünüm mevcuttur. Burada Sperboytm'nin geliştirilerek 2007 yılındaki kavuşmuş olduğu son görünüm görülmektedir.



Şekil 2.16. SPERBOYTM'nin 2007 tasarımı (Anonymous, 2007e)

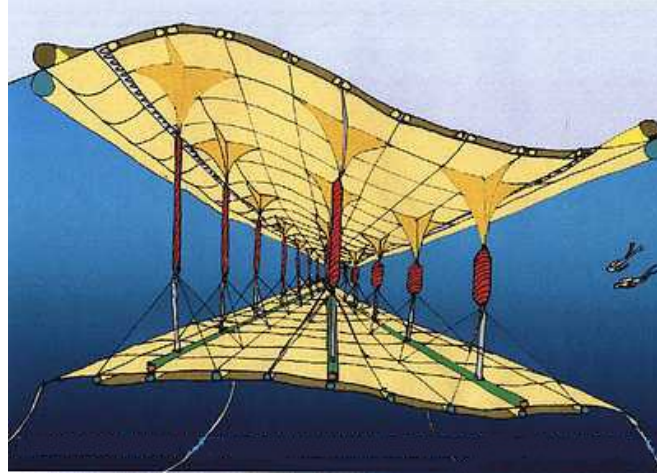
Sperboytm modele ait bir diğer şematik çizim ve katı model gösterimi aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 2.17. SPERBOYTM'ye ait şematik ve katı model (Anonymous, 2007a)

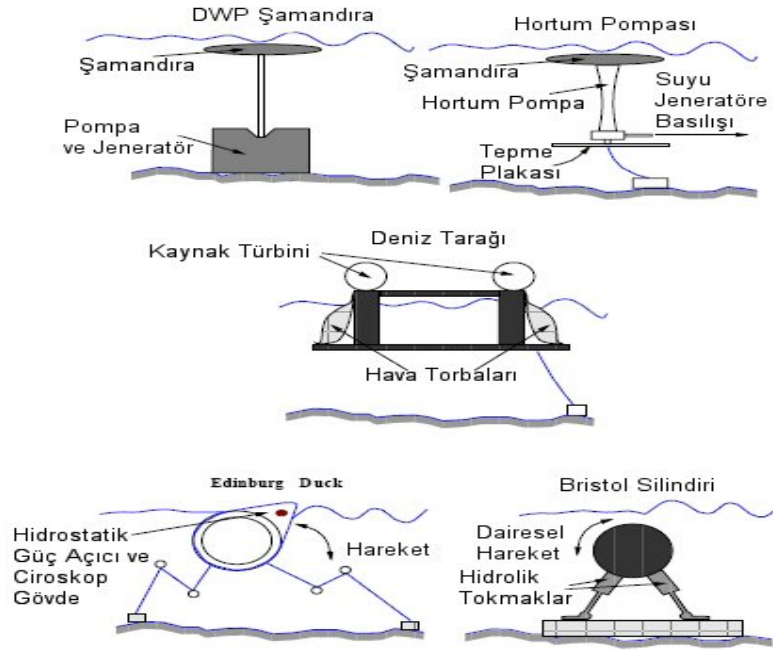
Aşağıda ise zarımsı bir yapıya sahip şekil olarak diğerlerinden çok daha farklı bir model görülmektedir. Modele ikiz zarlı DEK adı verilmiştir. Burada düşünülen mantık ise denizdeki dalgalanma esnasında halı, örtü veya zar şeklinde diyebileceğimiz

biri deniz yüzeyi üzerinde diğeri su içerisinde olacak şekilde tasarlanmış iki yüzey tabakanın dalga hareketi yapmasıyla birlikte üzerlerinde taşıdıkları ve aynı zamanda birbirlerine bağlantılarını sağlayan pistonların açılıp kapanması ile elektrik enerjisi elde etmektir.



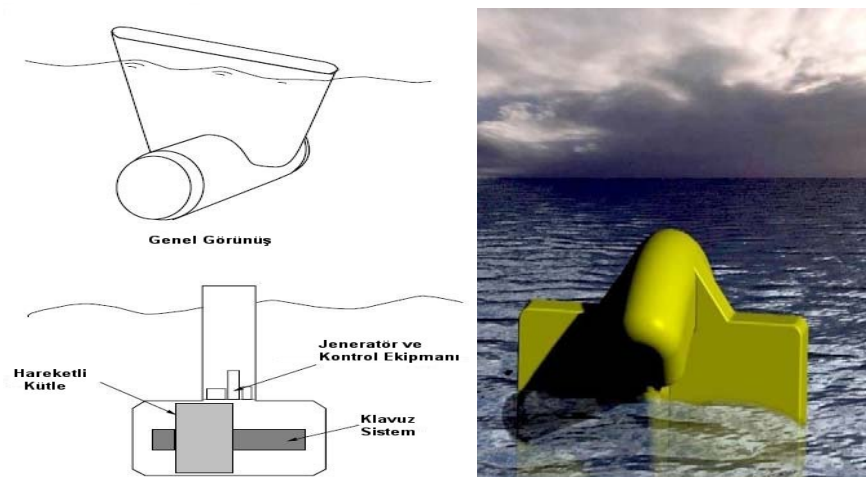
Şekil 2.18. İkiz zarlı dalga enerjisi konvertörü (Anonymous, 2007d; Anonymous, 2007e)

Bu gruplar içerisinde en kolay uygulanabilen sistemler kıyıda kurulanlar olup bunu sırasıyla yakın kıyı ve açık deniz tipi takip etmektedir (Thorpe 1999). Ancak, aynı incelemelerde özellikle en yüksek enerji dönüştürme potansiyeline sahip uygulamanın açık deniz DEK tipi olduğu belirlenmiştir (Thorpe 1999; Whittaker, 1993). Bu bulgular özellikle araştırmacıları açık deniz uygulamalarına kaydırmıştır.



Şekil 2.19. Açık deniz DEK sistemlerine örnekler (Falnes, 1997)

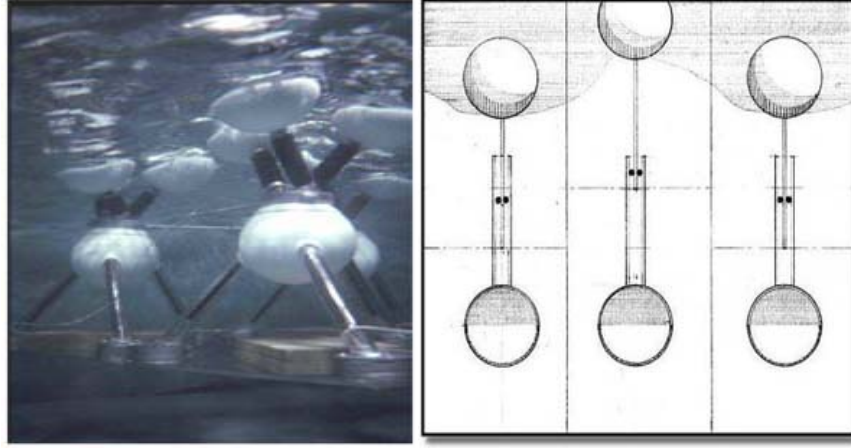
Şekil 2.19'de genel olarak 1990'lı yıllarda üretilen dalga enerji konvertörleri görülmektedir, bunlarda yine açık deniz DEK uygulamalarına verilebilecek iyi örneklerdendirler. Şekil 2.20'de yine bu yıllarda üretilen dalga enerjisi konvertörlerine iyi bir örnek olan PS FROG adlı Lancaster Üniversitesi tarafından tasarlanan konvertöre ait şematik bilgiler görülebilir.



Şekil 2.20. PS Frog'a ait şematik ve üç boyutlu gösterim (Falnes, 1997; Anonymous, 2007a)

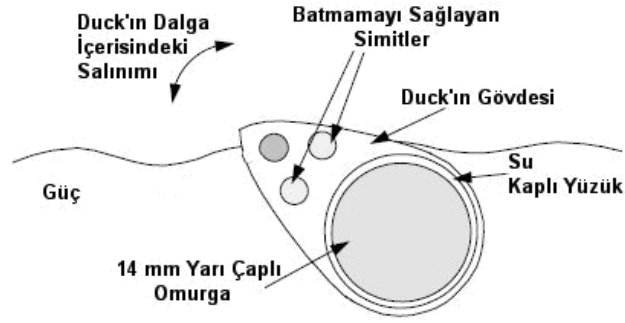
Üst soldaki şematik gösteriminde kolayca anlaşıldığı gibi su içerisinde kalan kısımda hareketli bir kütle mevcuttur. İkinci ana parça olan ve yukarı tarafta duran parçaya dalga çarpıtığında alt kısımdaki hareketli parçanın klavuz boyunca hareket etmesine sebep olur ve bu hareket sırasında jeneratörden elektrik eldesi sağlanmış olur.

1990'lı yıllara ait diğer bir örnek olan Briston Silindirine ait açıklayıcı bir resim aşağıda görülmektedir. Daha önce bir başka mantık olarak açıklanan düşüncenin burada uygulandığını görüyoruz. Su yüzeyinde batmayan hava kaplarına sahip bu sistem dalgalanma ile birlikte çalışmaya başlıyor. Dalga ile birlikte yukarı aşağı hareket yaparak ve bu hareketin kazandığı enerji pistonlar üzerinden en yine jeneratörde son bularak elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.



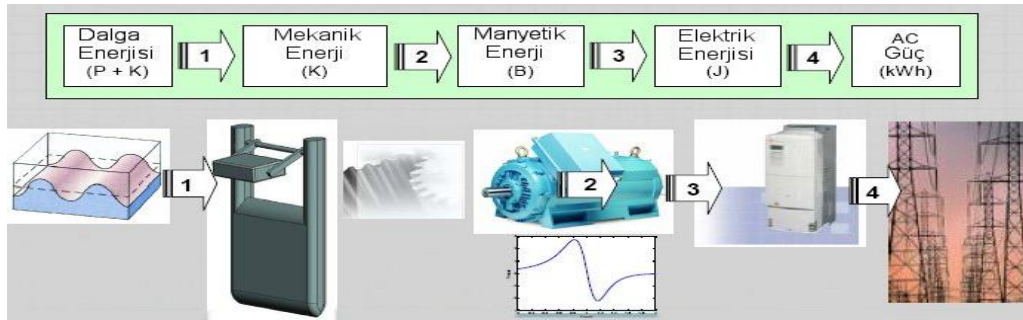
Şekil 2.21. Briston Üniversitesi'nin Bristol Silindiri (Anonymous, 2007c)

Bahsi geçen diğer bir konvertör olan Edinburgh Üniversitesi'nin DUCK modeline ait daha açıklayıcı bir şekil aşağıda görülmektedir. Duck modelinde ise su kaplı bir yuva içerisinde dönebilen gövde sistemin temel ögesidir. Bu sistemde elektrik enerjisi dönme hareketi ile kazanılır.



Şekil 2.22. Edinburgh Üniversitesi'nin Duck adlı dalga enerjisi konverterinin başlıca bileşenleri (Falnes, 1993)

2.2. DEK Sistemlerinin Enerji Dönüşüm Sistemine Göre İncelemesi



Şekil 2.23. DEK'nin enerji üretim sisteminin içerisindeki konumu (Alister ve Ngoc, 2008)

Şekil 2.23'de dalga enerjisinden elektrik enerjisi elde edilişi özet olarak görülmektedir. Dalga ile birlikte kıyıya doğru yaklaşan potansiyel ve kinetik enerji DEK'ünde mekanik elemanlar sayesinde başka ve daha düzenli bir harekete çevrilir. Bu hareket genellikle bir piston hareketi veya belli bir kanalda ilerleyen hava akışı bazende gevşeyip gerilen bir yay hareketidir. Bu aşamada dalganın potansiyel veya kinetik enerjisinden yakalayabildiğimiz tümünü mekanik enerji olarak toplamış oluyoruz. Daha sonra sıra topladığımız bu mekanik enerjinin bir çok alanda kullanılabilmesi için elektrik enerjisine dönüştürülmesi gerektiğinden öncelikle manyetik enerjiye çevirilmesindedir. Manyetik enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle amacımıza ulaşmış, dalga enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmiş olunur. Direk kullanım için geriye sadece üretilen elektrik enerjisinin doğru akıma çevrilmesi ve elektrik santralleri ile elektrik enerjisi gereksinimi olan tüm cihazlara ulaştırılması kalmaktadır.

2.3. DEK Sistemlerinin Kontrol Uygulaması Tipine Göre İncelemesi

Çizelge 2.1. Son yıllarda yayınlanan dalga enerjisi konvertör kontrolü makaleleri

Makaleler	İncelenen özellikler				
	Hareket	Model Tipi	Kontrol Tipi	Dalga Tipi	Güç Hesabı
(Falnes, 1993)	1 SD	FU	Kompleks E.K.	Lineer tek eleman	-
(Eidsmoen, 1998)	1 SD	ZU	Kompleks E.K.	Karmaşık çok elemanlı	Yapılmış
(Korde, 1999)	1 SD	FU	Kompleks E.K. ve Kilitleme kontrol	Lineer ve karmaşık	FD model esaslı
(Korde, 2001)	1 SD	ZU	Kilit. Kont	Karmaşık çok elemanlı	Yapılmış
(Korde, 2002)	1 SD	ZU	Kilit. Kont	Lineer tek eleman	Yapılmış
(Korde, 2003)	1 SD	FU	Faz kont.	Lineer tek eleman	-
(Babarit, Duclos, Clement, 2004)	1 SD	ZU	Kilit. Kont	Karmaşık çok elemanlı	Yapılmış
(Nolan, Ringwood, Leithhead ve Butler, 2005)	1 SD	ZU	Kilit. Kont.	Lineer tek eleman	Yapılmış
(Bjarte, 2006)	1 SD	FU	Kilit. Kont	Lineer tek eleman	Yapılmış

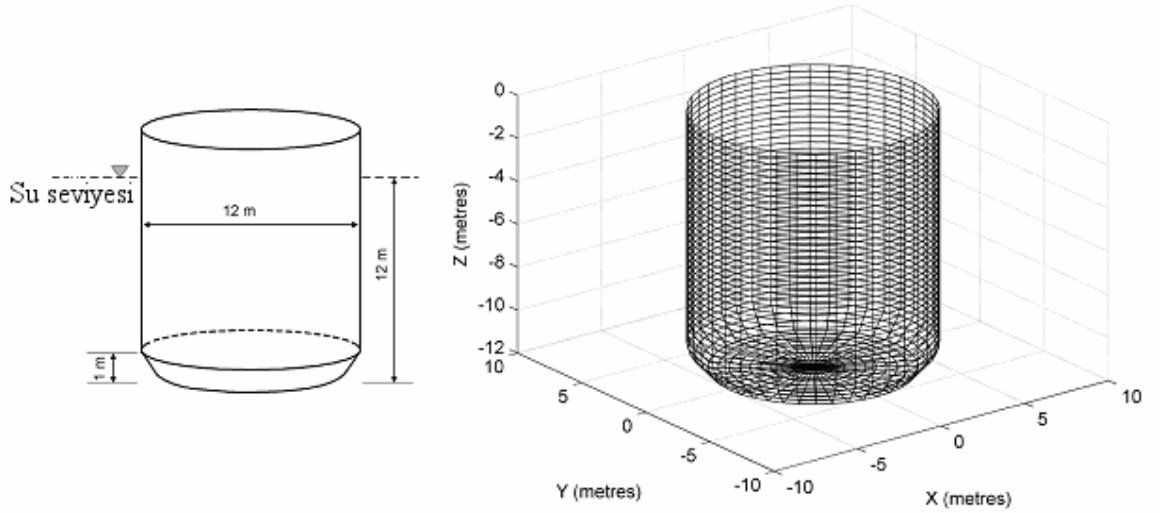
Çizelge 2.1.'den de görüldüğü üzere son yıllarda çalışmalarda genel olarak ağırlık tek serbestlik dereceli (1 SD) sistemlere verilmiş ve hareket olarak aşağı yukarı ya da ileri geri salınım hareketleri ele alınmıştır. Ayrıca çalışmaların çoğunluğu frekans uzayında gerçekleştirilmiş olup, lineer yapı kabullerine dayanmaktadır. Genellikle bu şartlarda, gerçek sistem yapısına ait davranış modelleri geliştirmek mümkün olmamaktadır (McCabe ve ark. 2005). Ayrıca frekans uzayında gerçek deniz dalga modellerinin denenmesi de mümkün olmamaktadır. Bu şartlar altında zaman uzayında çalışma yapılmasının önemi açık ve nettir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu aşamada genel olarak belirlenen tek serbestlik dereceli sistemleri yapısal özellikleri, modellenmesi ve sistem için kontrol problemi tanımlanması ele alınmıştır. Belirlenen kontrol probleminin çözümüne yönelik çalışmalarla kontrol problemi çözümü için gerekli kontrol sistemi modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra ise tanımlama, modelleme ve ön simülasyon aşamaları tanımlanan sistemin kontrol simülasyonları için geliştirilen kontrol sistemi modelleri konvertör modeli ile birleştirilmiştir. Yapılan simülasyon incelemelerinde sistemin performansı farklı durumlar için incelenmiş ve kontrol sisteminin konvertör performansına etkisi belirlenmiştir.

Çalışma silindirik formda uç kısmı yuvarlatılmış halde bulunan bir şekilli geometrik yapıda olup, şekli aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1. Silindirik dalga enerjisi konvtrörünün geometrik görünümü

Yukarıdaki şekilde, solda geometrik yapı suya batan kısmı 12 metre olan yuvarlatılmış uçlu bir silindir şeklindedir. Şekilde sağda ise hidrodinamik modellemeye esas alınan panel metodu ile parçalara ayrılmış durum gösterilmektedir. Modellemede özellikle sistemin x, y ve z eksenlerine göre simetrik oluşu analizi kolaylaştırmanın yanı sıra sistemin uygulamasında da kolaylıklar sağlamaktadır. Bu kolaylıklar özellikle dalga

yönüne göre yapılması gereken hesaplamaları gereksiz hale getirmektedir. Diğer bir deyişle, yapının simetrik özelliği dalganın yönünden bağımsız olarak çalışmasına olanak sağlamaktadır.

Çizelge 3.1. Dalga enerjisi konvertörünün fiziksel özellikleri

notasyon	özellik	değer	birim
L	yükseklik	12	m.
D_c	çap	12	m.
h_b	yuvarlatılan köse yüksekliği	1	m.
-	suya batan kısmın hacmi	1333.49	m ³
M_{dry}	kuru kütle	1369.49	Tonne
z_G	kuru kütle ağırlık merkesi	-8	M
k_c	gergi halatı kuvvet yay katsayısı	1500	kN/m
I_o	atalet momenti	120515.49	tonne-m ²

Çizelge 3.1.'de ise dalga enerjisi konvertörünün fiziksel özellikleri verilmiştir. Sistemin şekline ait boyutların yanı sıra ayrıca modellemeye esas alınan fiziksel özellikler de verilmiştir. Dalga enerjisi konvertörünün kuru kutlesi çelik konstrüksiyon kütlelerini ifade etmektedir. Islak kütle ise hidrodinamik analizle belirlenen ek sıvı kütle değeri ile elde edilen değerdir. Ayrıca, sistemin yerini sabitleme amaçlı kullanılan gergi halatlarının yay etkisine ait değerler de yine çizelge de k_c parametresi ile belirtilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Giriş

Dalga enerjisi konvertörlerinin (DEK) açık denizdeki performansının önceden tahmin edilmesi için simülasyon çalışması zaman-uzayında yapılmıştır. Genellikle DEK performansı tahmininde kullanılan tek-frekanslı matematiksel model açık denizlerdeki karmaşık ve sürekli değişen dalgalar için yeterli değildir (Newman, 1999). Rastgele bir dalga yüksekliğinde tahmin edilen davranış için zaman uzayında bir model gereklidir.

Zaman uzayındaki matematiksel modelin temel ilkesi genel kayıplar hesaba katılmadan sadece tek serbestlik dereceli lineer model için düşünölmüş olmasıdır.

Bu çışılma tek serbestlik dereceli (heaving) DEK'in zaman uzayında (ZU) modelini ele almaktadır. Bu model sık sık değışen deniz dalga frekansının davranışının sistem performansına etkisini araştırmakta kullanılacaktır. Daha önce yapılan çalışmalarda (Budal ve Falnes, 1975) bu tip PAWEC sınıfındaki DEK'in yüksek enerji seviyelerinde çalışması için sürekli rezonanstaki kalmasının şart olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sistemin performansını karşılaştırma amaçlı olarak, dalga frekanslarındaki değışikliklere göre güç ünitesi kontrol parametrelerinin değışen ve sabit kalan olmak üzere iki farklı tip ayar durumunun performansa etkisi karşılaştırılmıştır.

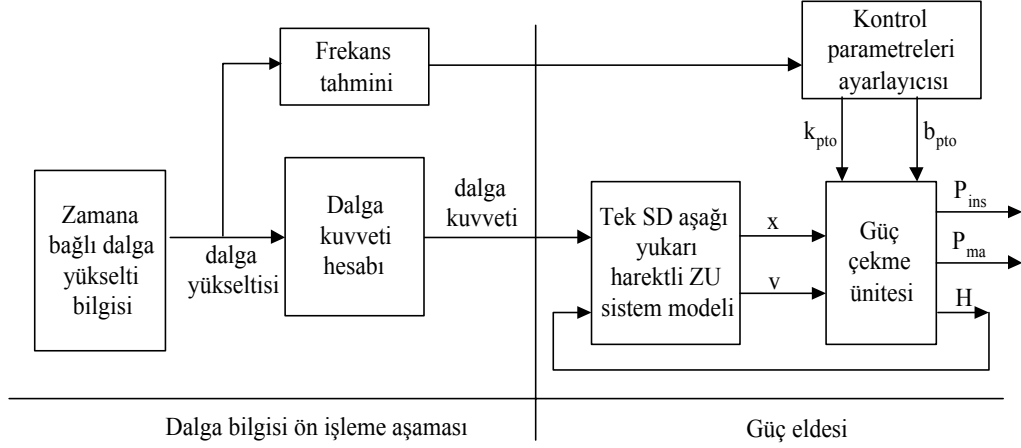
3.2.2. Sistemin Matematiksel Modeli

Bir sıvı içinde yüzen bir gövdenin hareketlerinin matematiksel modeli en kolay şekilde ve bu sebeple çoğunlukla frekans uzayında ifade edilir. Bu nedenle, frekans uzayında modellenen bir sistem için tahrik sinyalleri de homojen ve lineer dalga modelleri (tek frekans elemanlı sinüsoidal) ile sınırlıdır. Gerçek bir uygulama için serbest yüzey hareketlerinin modellenmesinde ise esasen zaman uzayında çalışmalar yapılmalıdır (McCabe ve ark., 2005). Bu nedenle gerçek bir uygulamaya en yakın özelliklerin elde edilebilmesi için modellemenin zaman uzayında gerçekleştirilmesi gerekir. Olağan ve anlık kuvvetlere ek olarak (gövdenin ivme, hız ve deplansmanı ile orantılı), genellikle yüzen gövdenin zaman uzayındaki modelinin formölasyonu için konvolüsyon integralleri kullanılır (Cummins, 1962). Geliştirilen model için transfer fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu transfer fonksiyonları frekansa bağlı hidrodinamik özellikler ve dönüşümleri ile ilgili çözüm olarak sunulmuştur.

Kullanılan bu zaman uzayı modelinin ilk çalışmaları (McCabe ve ark., 2005) tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşım girişin zaman ölçeklemesini gerektirir ve bu sebeple çıkışın değeriendirilmesinden önce bütün giriş sinyalleri tamamının işlenmesi gereklidir. Konvolüsyon integralleri ve çözümünün detayları ile ilgili işlemler (McCabe ve ark., 2005) tarafından yapılan çalışmada detayları ile verilmiştir.

Kullanılan modelin tüm giriş sinyallerini işleme durumundan dolayı simölasyonlar iki parçaya ayrılmıştır. Bu amaçla, simölasyonun birinci kısmında dalganın gövde üzerinde oluşturduğu kuvvet ve dalga frekansı hesaplanır.

İkinci parçada, diğer tarafta, Simulink ortamında DEK modelini, deplansman(x) ve hız (v) sinyallerini tahrik eden dalga kuvvetinin hesaplanması sunulmuştur (Şekil 3.2). Bu sinyaller k_{pto} ve b_{pto} ile birlikte anlık güç (P_{ins}) ve ortalama elde edilen güç (P_{ma}) değerlerinin eldesinde kullanılır. Diğer tarafta Simulink modelindeki güç çekme ünitesinin içeriği zamana bağlı dalga frekansına bağlı değerler kullanılarak belirlenir. İDEAL PAWEC teorisi kullanılarak optimum PTO ayarları (k_{pto} , b_{pto}) oluşturulur.



Şekil 3.2. PAWEC sistem modelinin tümü

Tek çevrim modu için zaman uzayında sistemin hareket denklemi, uygulanan kuvvet ve hareketin x eksenindeki değişimi için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$m_{dry}\ddot{x}(t) = F(t) \quad (3.1)$$

$x(t)$ değeri t zamanında gövdenin pozisyonunu, m_{dry} gövdenin kuru kütleini ve $F(t)$ de gövde üzerindeki toplam net kuvveti belirtmektedir. Benzer bir ifade atalet momenti ve dönme modunda tek serbestlik dereceli model için tahrik momenti elde edilebilir.

Toplam kuvvetin en basit hali üç öğeden oluşmaktadır; yayılan dalgadan kaynaklanan kuvvet $F_R(t)$, güç çekme ünitesince (PTO) uygulanan kuvvet $H(t)$ ve dalga tahrik kuvveti $F_E(t)$ 'dir. Böylece;

$$F(t) = F_E(t) - F_R(t) - H(t) \quad (3.2)$$

Dalga tahrik kuvveti $F_E(t)$ şöyle tanımlanır;

$$F_E(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_E(t-\tau)\zeta(\tau)d\tau \quad (3.3)$$

$\zeta(t)$ zamana göre dalga yüksekliğidir. Dalganın uyarı kuvvetinin impuls cevap fonksiyonu $K_{E,i}(t)$ olarak adlandırılmış olup, sistemin hareket cevabının dalga yükselti eğrisinin orijinde olduğu durumdaki birim giriş impuls fonksiyonu bölümü olarak tanımlanır (Korsmeyer ve ark. 1999).

Radyasyon kuvvetini $F_R(t)$, aşağıdaki eşitlik ile verir (McCabe ve ark., 2005).

$$F_R(t) = a\ddot{x}(t) + b\dot{x}(t) + cx(t) + \int_{-\infty}^t K_R(t-\tau)\dot{x}(\tau) d\tau \quad (3.4)$$

burada a , b , c ve $K_R(t)$ parametreleri sırasıyla, frekanstan bağımsız ek kütle, radyasyon hız sönümlenmesi, hidrostatik konumlandırma yay sabiti ve radyasyon impuls cevap fonksiyonu (IRF), olarak tanımlanabilir.

Bu tanımlamalar dikkate alınır, (3.1) nolu eşitlik aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$(m_{dry} + a)\ddot{x}(t) + b\dot{x}(t) + cx(t) + \int_{-\infty}^t K_R(t-\tau)\dot{x}(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} K_E(t-\tau)\zeta(\tau)d\tau - H(t) \quad (3.5)$$

IRF radyasyon $K_R(t)$, durgun sudaki gövdenin hareketinin cevap ögesi birim impuls cevap fonksiyonu olarak tanımlanır. Daha karışık gövde hareketleri süperpozisyon ile bu tepkiler kullanılarak oluşturulabilir.

Bu $K_R(t)$ teriminin Kristiansen ve Egeland (Kristiansen ve Egeland, 2003) tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınarak incelendiğinde, parametrenin frekansa bağlı ek kütle katsayısı $a(\omega)$ radyasyon ve radyasyon yayılım katsayısı $b(\omega)$ ye pozitif kısmı Fourier transformu ile ilişkilendirilebilir.

$$\int_0^{+\infty} K_R(t)e^{-i\omega t} dt = [b(\omega) - b] + i\omega[a(\omega) - a] \quad (3.6)$$

Sınırlı enerjili gerçek bir sistem için, Fourier transformu değeri sıfıra giderken frekans sonsuza gider. Bu durumda da;

$$a = a(\infty) \quad \text{ve} \quad b = b(\infty) \quad (3.7)$$

Diğer bir değişle, eklenmiş toplam kütle bağımsız frekansları ve radyasyon (yayınım) sönümlenme katsayıları, kendi bağımlı frekans değişken sonsuza yaklaşırken ulaştıkları asimtotik hidrodinamik parametre değerleridir. Sonsuz frekans eklenmiş toplam kütle parametresi $a(\infty)$, genellikle sıfırdan farklıdır. Eğer gövde sıvı ile hareketlenmezse $\omega \rightarrow \infty$ 'ken $b(\omega) \rightarrow 0$.

Dalga tahrik kuvvetinin impuls cevap fonksiyonunu ($K_E(t)$), frekansa bağlı dalga tahrik katsayısı ile iki yönlü Fourier transformu ile ilişkilendirmişlerdir (Lee ve Newman, 2005).

$$\int_{-\infty}^{+\infty} K_E(t) e^{-i\omega t} dt = F(\omega) \quad (3.8)$$

$F(\omega)$ Kompleks tahrik kuvveti ya da 1 metre büyüklüğünde ve saniyede ω radyan frekanslı bir dalganın ürettiği kuvvet değeridir.

Eğer $A_R(s)$, $B_R(s)$, $A_E(s)$, ve $B_E(s)$ Kompleks laplace değişkenlerinde $s = \sigma + i\omega$ polinomlarsa, $K_R(t)$ ve $K_E(t)$ IRF'lerinin Laplace transformları ve bu polinomların oranları şöyle ifade edildiğinde;

$$K_R(s) = \frac{B_R(s)}{A_R(s)} \quad (3.9)$$

ve

$$K_E(s) = \frac{B_E(s)}{A_E(s)} \quad (3.10)$$

Bu şartlarda hareket denklemi (3.5) başlangıç şartları ile birlikte Laplace transformu halinde ifade edilecek olursa;

$$[(m+a)s^2 + bs + c]X(s) + \frac{B_R(s)}{A_R(s)}sX(s) = \frac{B_E(s)}{A_E(s)}Z(s) - H(s) \quad (3.11)$$

elde edilir. Burada sırasıyla $X(s)$, $Z(s)$ ve $H(s)$, $x(t)$, $\zeta(t)$ ve $H(t)$ 'nin Laplace transformudur. Ayrıca Fourier transformlarının impuls cevap fonksiyonları (3.9) ve (3.10)'daki gibi çok terimli polinomsal oranlar şeklinde olacaktır, ancak Laplace değişkenin sanal bileşeni ($i\omega$) halinde olmak üzere. Dolayısı ile (3.6) ve (3.9) nolu eşitliklerden;

$$\operatorname{Re}\left[\frac{B_R(i\omega)}{A_R(i\omega)}\right] = [b(\omega) - b(\infty)] = b(\omega) \quad (3.12)$$

ve

$$\operatorname{Im}\left[\frac{B_R(i\omega)}{A_R(i\omega)}\right] = \omega [a(\omega) - a(\infty)] \quad (3.13)$$

ve, eşitlik (8) ve (10)'dan

$$\operatorname{Re}\left[\frac{B_E(i\omega)}{A_E(i\omega)}\right] = \operatorname{Re}[F(\omega)] \quad (3.14)$$

ve

$$\operatorname{Im}\left[\frac{B_E(i\omega)}{A_E(i\omega)}\right] = \operatorname{Im}[F(\omega)] \quad (3.15)$$

Bu nedenle, (3.9) ve (3.10) Laplace transfer fonksiyonlarının katsayıları direk olarak frekanstan bağımsız ek kütle, radyasyon sönümlemesi ve tepki kuvvetine dönüştürülebilir. Bu katsayıların bu datadan elde edilmesi işlemi hazır paket programlardan MATLAB (MATLAB, version 7 (R14)) da INVREQS.M (Signal Processing Toolbox) fonksiyonu kullanılarak elde edilebilir. Görevi yerine getirmek için fonksiyon uygundur ve en küçük kareler metodunu kullanır ancak başlangıç değerlerinin belirlenmesinde ise, sönümlü Gauss-Newton metodu tercih edilir (Levi, 1959; Dennis ve Schnabel, 1983).

Dalga tahriği IRF, $K_E(t)$ sebep sonuç mantığına dayalı olmadığından (3.10) nolu denklemle verilen ilgili transfer fonksiyonu da kararsızdır (Falnes, 2002). Bu yüzden, transfer fonksiyonu bu haliyle kullanışsızdır. Onun yerine, transfer fonksiyonu kararlı ve kararsız kısımların toplamı olarak ifade edilmiştir;

$$\frac{B_E(s)}{A_E(s)} = \frac{B_E^{stab}(s)}{A_E^{stab}(s)} + \frac{B_E^{unst}(s)}{A_E^{unst}(s)} \quad (3.16)$$

Böylece dalga tahrik kuvveti iki kuvvetin toplam bileşkesi olur, transfer fonksiyonunun açık hali (3.16)'da;

$$F_E(t) = F_E^{stab}(t) + F_E^{unst}(t) \quad (3.17)$$

Birinci kısım kararlı haldeki davranıştır, Laplace transformundan;

$$F_E^{stab}(s) = \frac{B_E^{stab}(s)}{A_E^{stab}(s)} Z(s) \quad (3.18)$$

Bununla beraber, benzer bir transfer fonksiyonu ikinci kısım için oluşur;

$$F_E^{unst}(s) = \frac{B_E^{unst}(s)}{A_E^{unst}(s)} Z(s) \quad (3.19)$$

bu ifade transfer fonksiyonunun kararsız haline sebebi ile uygulamaya uygun değildir. Bununla birlikte, zaman değişkeni $F_E^{unst}(t)$ 'de faktör -1 ile ölçeklendirilirse eşitlik (3.19) aşağıdaki hali alır (Spiegel, 1965);

$$-F_E^{unst}(-s) = \frac{B_E^{unst}(-s)}{A_E^{unst}(-s)} [-Z(-s)] \quad (3.20)$$

Zaman ölçeği -1'den sistemin bu parçasının doğrultusunu tersi çevirir, sebep sonuca bağlı hale getirir ve bundan dolayı sürecin karakteristiği dengelenir, düzelir ve

transfer fonksiyonu kararlı hale gelir. Her iki giriş ve çıkış serisine zaman ölçeklendirmesi, ΔT 'den, uygulanır;

$$\left[-F_E^{unst}(-s)\right]e^{s\Delta T} = \frac{B_E^{unst}(-s)}{A_E^{unst}(-s)}\left[-Z(-s)\right]e^{s\Delta T} \quad (3.21)$$

Eğer orijinal ardışık dalga yükseklikleri $\zeta(t)$, $[t_S \ t_F]$ aralığında tanımlanırsa;

$$\zeta(t) = [\zeta(t_S) \dots \zeta(t_F)] \quad (3.22)$$

Buradan bir zaman değişkeni belirlenir ve TS'den ardışık değişimleri türer;

$$\zeta^{TS}(t) = [\zeta(t_F) \dots \zeta(t_S)] \quad (3.23)$$

$\Delta T = t_S + t_F$ Laplace transformuna uygulanırsa;

$$\zeta^{TS}(s) = [-Z(-s)]e^{s\Delta T} \quad (3.24)$$

(21)'e giriş ardışıktır. Aynı şekilde, (3.21)'den ardışık çıkışta ayrıca ardaşık belirlenen ve zaman değişkenli Laplace transformudur;

$$F_E^{unst,TS}(s) = [-F_E^{unst}(-s)]e^{s\Delta T} \quad (3.25)$$

onun için

$$F_E^{unst,TS}(t) = [F_E^{unst}(t_F) \dots F_E^{unst}(t_S)] \quad (3.26)$$

gerekli ardaşık kuvvet bileşenlerinden;

$$F_E^{unst}(t) = [F_E^{unst,TS}(t_F) \dots F_E^{unst,TS}(t_S)] \quad (3.27)$$

Modelin simülasyonu için zaman ölçeklenmesi sebebi ile dalga kuvveti $F_E(t)$ 'nin simülasyon modeli çalıştırılmadan önce belirlenip yüklenmesi gerekmektedir. Eşitlik (3.3)'teki konvolüsyon integralin hesabından itibaren integral limitlerine uygun önceki dalga yüksekliklerinin hepsinin belirlenmesi, dalga kuvveti radyasyon sönümlenme kuvveti ile aynı anda hesaplanamaz.

3.2.3. DEK Modeli

Bu çalışmada DEK modelinin matematiksel modeli önceden frekans model alanında raporlananlarla benzer özellikleri gösterir (Yavuz ve Bradshaw, 2004; Yavuz ve ark. 2005). Farklılık, frekansa bağlı a , b ve c parametrelili bloklar, frekansdan bağımsız $a(\omega)$, $b(\omega)$ and $c(\omega)$ parametreler ile sırasıyla yer değiştirir. Ekte, Şekil 3.3'de görüldüğü gibi sisteme giriş kısım 3.2.2'de tanımlandığı gibi $K_E(s)$ transfer fonksiyonu kullanılarak hesaplanmış dalga kuvvetidir. Şekil 3.4'te zaman uzayına özel bloklar sarı renktedir. $K_R(s)$ Transfer fonksiyonu, DEK modelinin sönümlenme katsayısıyla paraleldir ve frekansa bağlı değişkenlerin belirlenmesini sağlar. Toplam kütle (m) zamana göre değişmeyen ve kuru kütle (m_{dry}) ile frekanstan bağımsız ek kütle (a) toplamıdır.

$$m = m_{dry} + a \quad (3.28)$$

DEK sisteminin sönümlenme etkisi (b yada b_{inf}) sabittir ve $K_R(s)$ transfer fonksiyonu kullanılarak DEK modelinin net sönümlenme katsayısı (b_{net}) aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$b_{net}(s) = b_{inf} + K_R(s) \quad (3.29)$$

Üstelik DEK modelinin yay katsayısı da karalıdır, dalga frekansından bağımsızdır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır;

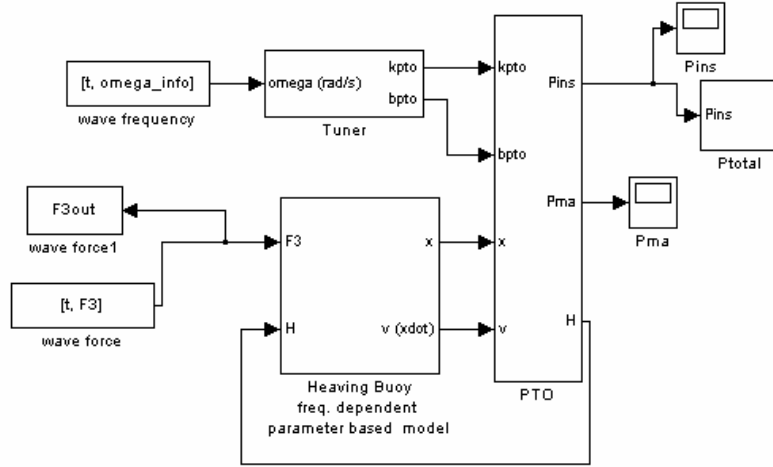
$$k_{net} = c \quad (3.30)$$

Sonra (11) nolu eşitlik bu formda tekrar yazıldığında;

$$ms^2X(s) + b_{net}sX(s) + k_{net}X(s) = \frac{B_E(s)}{A_E(s)}Z(s) - H(s) \quad (3.31)$$

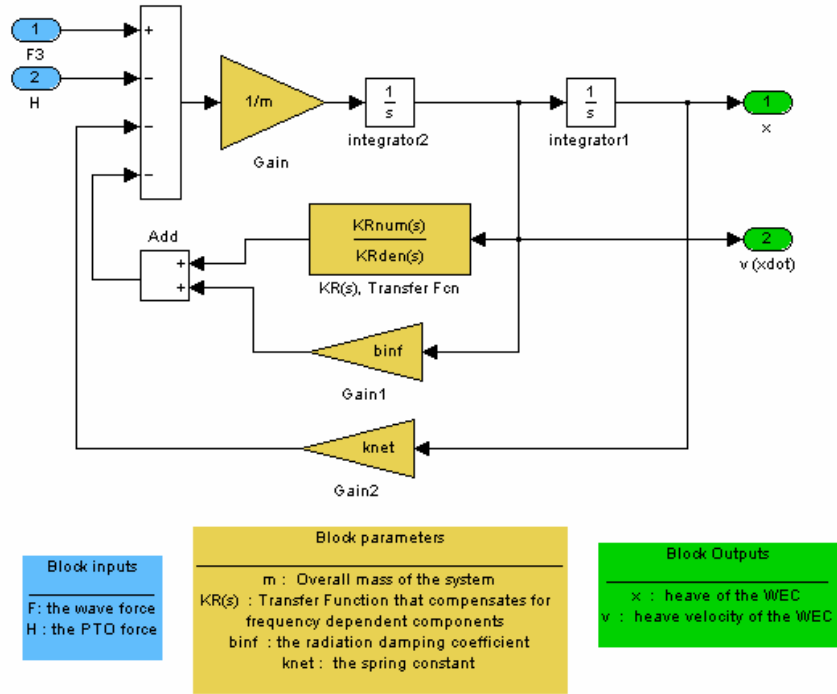
Böylece, DEK'in zaman uzayında simülasyonu iki aşamada sağlanmış olur. Simülasyonun ilk aşamasında; dalga yükseklik datasının zaman değişkeni $F_{E,i}(t)$ dalga kuvvetinin hesaplanmasında kullanılır. Simülasyonun ikinci aşamasında dalga kuvveti ve gerekli diğer çalışma alanında daha önceden toplanan parametreler hesaplanır ve sonrasında DEK modelinin çalıştırılmasında kullanılırlar.

Şekil 3.2'den de görüldüğü üzere, SIMULINK Model tek sebestlik dereceli DEK bloğunun bir zaman uzayı modelini, bir güç çekme bloğu ve ayar bloğunu içerir. Modele ait SIMULINK değişkenleri ve tanımlamaları parantez içinde verilmiştir. Modele girişler dalga kuvveti $F(F)$ zaman serisi ve ilgili dalga frekansı ω_{est} (omega_info) bilgileridir. Çıktılar güç çekme ünitesinin sisteme uyguladığı kuvvet H (H) yine zamanın fonksiyonu olarak elde edilir. Yer değiştirme x (x), hız v (v), anlık güç P_{ins} (P_{ins}) ve ortalama güç P_{ma} (P_{ma}) diğer çıkış değişkenlerini oluşturmaktadır.



Şekil 3.3. PAWEC sisteminin simulink modeli

Şekil 3.3 DEK bloğunun tek sebestlik dereceli DEK zaman uzayı Simulink modelini göstermektedir. Girişler dalga kuvveti F (F), ve PTO H (H) kuvvetileridir. Çıktılar yer değiştirme x (x), ve hız v (v) dir. DEK modelinin zaman uzayına ait özel katsayıları Matlab çalışma alanında depolanır. Blok diyagramında kullanılan tüm parametrelerin detayları şekilde ayrıca belirtilmiştir.



Şekil 3.4. DEK bloğu ve detayları

Şekil 3.4 Ayar Bloğunun detaylarını göstermektedir. Bu bloğa giriş parametresi olan ω_{est} (omega_info) deniz dalga frekansının tahmini bir değeridir ve en ideal PTO k_{pto} (kpto) ve b_{pto} (bpto) ayarlarının aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmesini sağlar.

$$k_{pto} = m\omega_{est}^2 - k_{net} \quad (3.32)$$

ve

$$b_{pto} = b\omega_{est}^3 \quad (3.33)$$

b (b) katsayısı şöyle elde edilebilir;

$$b = \frac{b_{rad_nom}}{\omega_{nom}^3} \quad (3.34)$$

b_{rad_nom} sembolü ω_{nom} nominal dalga frekansındaki sönümlenme radyasyon katsayısıdır.

$$b_{pto} = \frac{b_{rad_nom}}{\omega_{nom}^3} \omega_{est}^3 \quad (3.35)$$

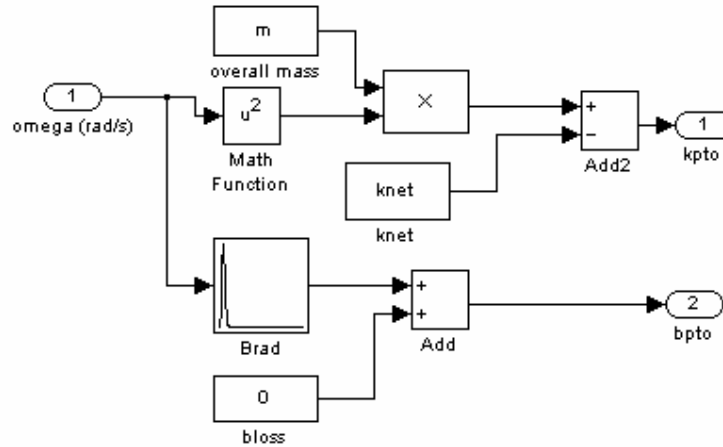
Tahmini dalga frekansı çekilirse sembolik frekansa ulaşılır, $\omega_{est} = \omega_{nom}$ farz edilir ve b_{pto} basitce b_{rad} 'ya eşit olacaktır, $b_{loss} = 0$ farz edilebilecektir.

Bu nedenle, 35 nolu eşitlik tekrar aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$b_{pto} = b_{rad_nom} \quad (3.36a)$$

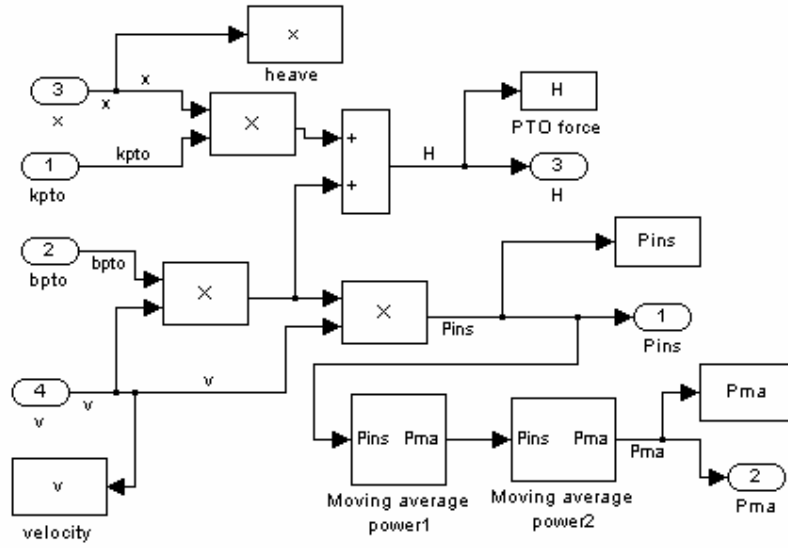
yada eğer $b_{loss} \neq 0$ 'dan

$$b_{pto} = (b_{rad_nom} + b_{loss}) \quad (3.36b)$$



Şekil 3.5. Ayar elemanı

Şekil 3.5 Güç çekme bloğunun detaylarını göstermektedir. Girişler tek serbestlik dereceli DEK'den alınan deplansmanı x (x) ve hız v (v) değişkenleridir. Yay katsayısı k_{pto} ($kpto$) ve sönümlenme katsayıları b_{pto} ($bpto$) ile ayar bloğundan alınarak giriş yapılan diğer parametrelerdir. Çıktılar ise güç çekme ünitesinin sisteme uyguladığı kuvvet H (H), anlık güç P_{ins} ($Pins$), ve ortalama güç P_{ma} (Pma) değerleridir.



Şekil 3.6. Güç çekme bloğu

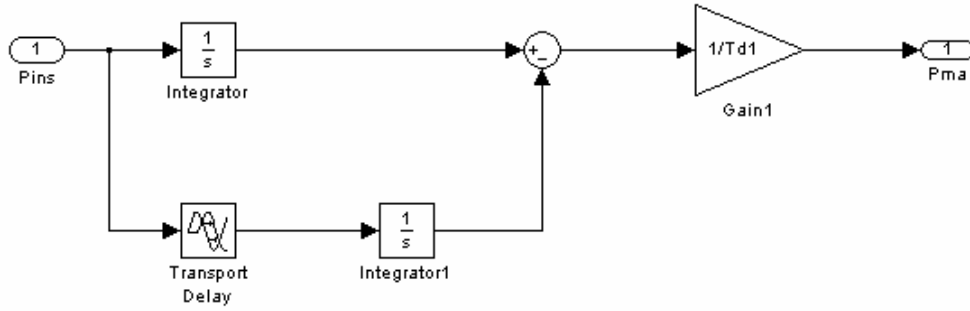
Aşağıdaki eşitliğe uygun olarak hesaplanan PTO kuvvetini gösterir.

$$H = k_{pto}x + b_{pto}v \quad (3.37)$$

ve anlık güç şu şekilde dönüşür;

$$P_{ins} = b_{pto}v^2 \quad (3.38)$$

Ortalama güç hareket bloğundanda ayrıca hesaplanan PTO kuvvetinin ortalama değeridir. Şekil 3.6'da ortalama güç hareket bloğunun detayları görülmektedir. Her bir ortalama giriş sinyali bir zaman periyodunda T_d görülebilir. Bu yolda ortalama gücün tahminini kolaylaştırmayı sağlar.



Şekil 3.7. Ortalama güç hesabı bloğu

Bu notta sunulan simülasyon sonuçları için kullanılan temel datalar Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Aşağı-yukarı hareketli model için gerekli datalar

Sea state	
acceleration due to gravity	= 9.81 m/s ²
density of water	= 1.03 tonne/m ³
wave amplitude	= 1.20 m
Mechanism data	
dry mass	= 1369.49 tonne
added mass of water	= 377.36 tonne
effective mass	= 1746.85 tonne
effective stiffness	= 1134.40 kN/m
wave force magnitude	= 610.05 kN

3.2.4. Sistemin Sabit Ayar Parmetleri Altında Hareket İncelemesi

Bu bölümde, dalga frekansının değişiminde 3.2.2. ve 3.2.3 kısımlarda tanımlanan zaman uzayı DEK modelinin cevabı incelenmektedir. En başta hareketsiz olan sistem için aşağıdaki eşitliklere uygun bir dalga oluşumu incelenmektedir.

$$\zeta(t) = \alpha \cos(\omega t) \quad (3.39a)$$

$$F(t) = f(\zeta(t)) \quad (3.39b)$$

α dalga genliği, ω dalga frekansı, $\zeta(t)$ dalga yüksekliği, $F(t)$ dalga kuvveti ve $f(\zeta(t))$ dalga yükselişinin kullanıldığı (3.18) ve (3.19) nolu eşitliklerde $F_E(s)$ transfer

fonksiyonundan elde edilen bir fonksiyondur (get_F3_regular()). Fonksiyonun detayları aşağıdaki gibidir;

```
function F3 = get_F3_regular(alpha,omega,trun);
% function F3 = get_F3_regular(alpha,omega);
% returns wave excitation force vector, F3,
% for time series specified by trun,

% Wave elevation time series
wave_elev = alpha*cos(omega*trun); % wave elevation vector, m

%*****
% Load model data
% variables:  KDbck_num KDbck_den KDfore_num KDfore_den
load HB0mod_data

% Establish component systems
sys_fore = TF(KDfore_num,KDfore_den);
sys_back = TF(KDbck_num,KDbck_den);

% Inputs for 'lsim' function
U_fore = wave_elev;
U_back = flipud(wave_elev);

% Generate component force series
Y_fore = lsim(sys_fore,U_fore,trun);
Y_back = lsim(sys_back,U_back,trun);

% Wave excitation force vector
F3 = Y_fore + flipud(Y_back);
% END
```

Başlangıçta, (3.39b) eşitliğinden elde edildiği gibi dalga frekansı nominal dalga frekansına eşit olarak $\omega = \omega_{nom} = 0.85$ rad/s ayarlanır ancak $t = 190$ s iken dalga frekansı yaklaşık olarak 400 s sürede $\omega = 0.70$ rad/s incek şekilde düşürülür. Frekans bu gibi özel dalga periyot boyunca böyle azalan adım davranış sergiler. Bundan yararlanarak dalga frekans değişimi ω Şekil 3.7’de dalga periyodunda T değişikliğe uyan eğriler ve radyasyon etkisi b_{rad} ile birlikte eşitliklere uygun olarak incelenmiştir.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.40)$$

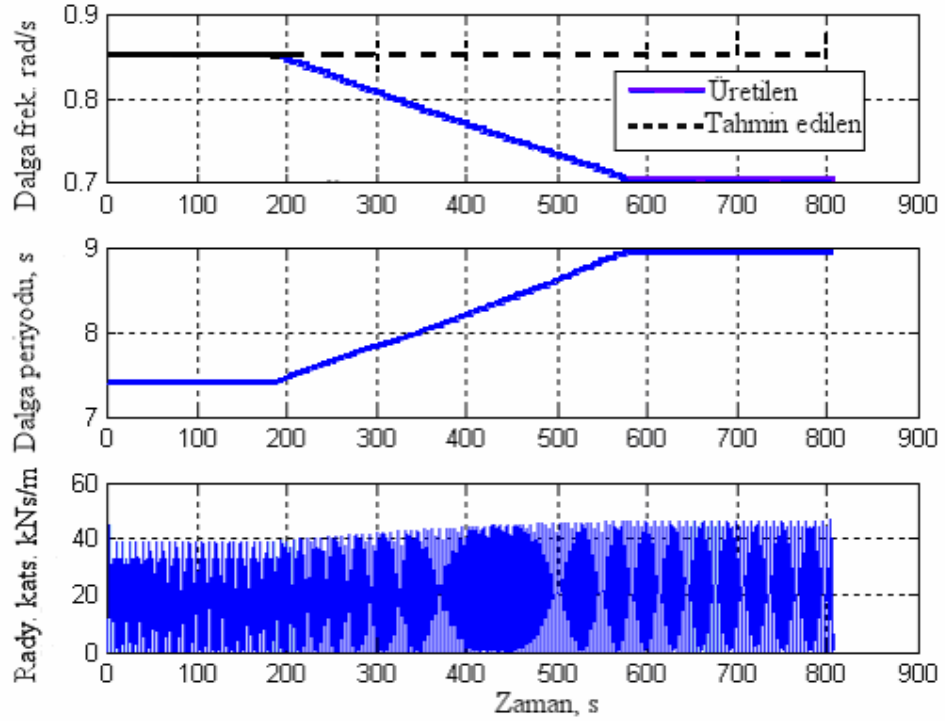
ve

$$b_{rad} = \frac{\pi F_{mag}^2}{4\lambda P_w} \quad (3.41)$$

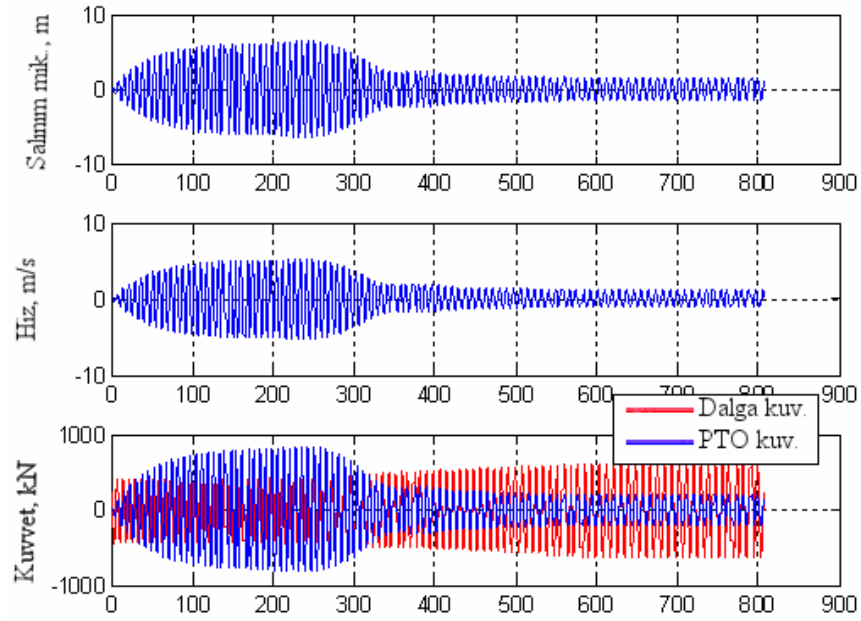
Dalga kuvveti büyüklüğü F_{mag} dalga yüksekliği genliği A uyumundan dalga boyu λ boyunca sabittir ve dalga genişliği birim başına güç P_w , dalga frekansı ile değişir. Bu bölümde ayar kısmına giriş tahmini dalga frekansı ω_{est} sembolik dalga frekansı 0.85 rad/s'na sabit olarak ayarlanır;

$$\omega_{est} = \omega_{nom} \quad (3.42)$$

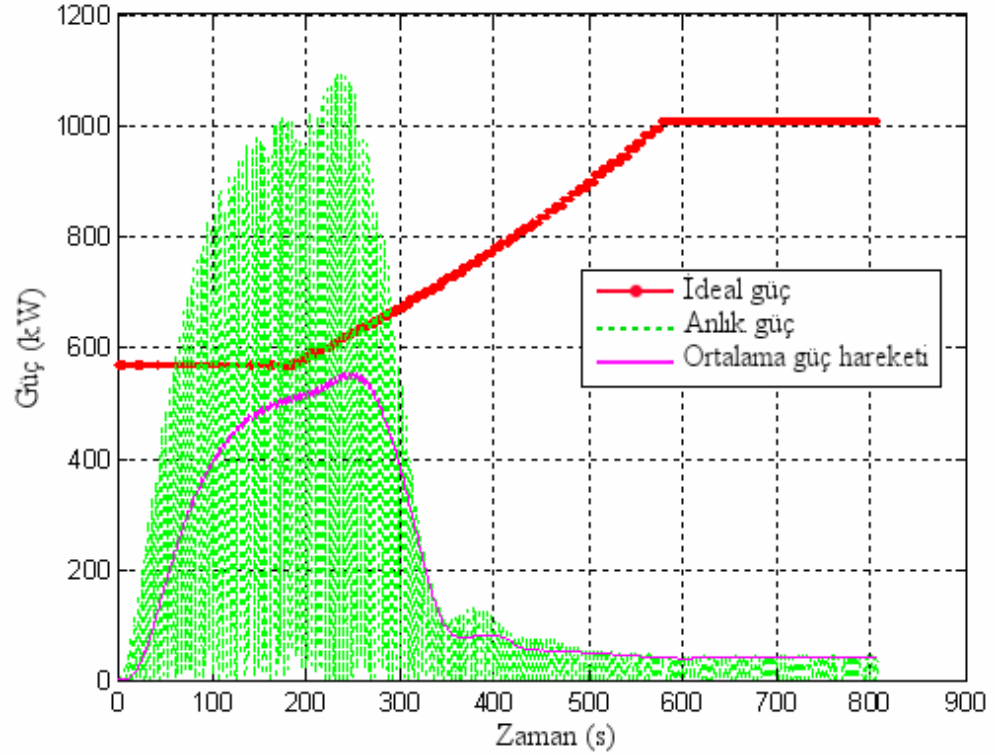
Dalga yüksekliğinin frekansının değişimine cevap Şekil 3.8'de görülmektedir ve Şekil 3.10'da elde edilen güç görülmektedir. Sistemin ilk 190 saniyede rezonansa ulaştığı görülmektedir. Bu bölümde dalga frekansı sabit olup titreşimler rezonans durumuna uyumludur. Dalga frekansındaki düşme ise periyotta artışa ve titreşim genliğinde ise düşüğe sebep olmaktadır. Güç değerlerindeki düşüşün sebebi ayar değerlerinin sabit olması ve yeni durum için geçerli olmamasıdır.



Şekil 3.8. Dalga frekansı, dalga periyodu uyumu ve radyasyon katsayısı



Şekil 3.9. Yer değiştirme, hız, dalga kuvveti ve güç çekme kuvveti eğrileri



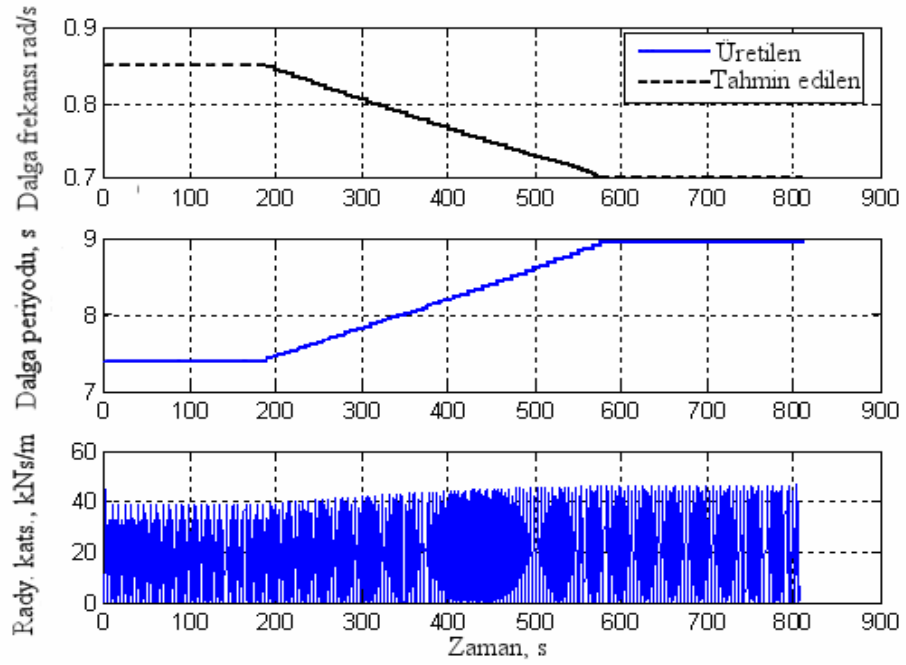
Şekil 3.10. İdeal PAWEC gücü, anlık güç, ortalama güç hareket eğrileri

3.2.5. PTO Ayarlarının Dalga Frekansına Uyumlu Değişimine Göre İnceleme

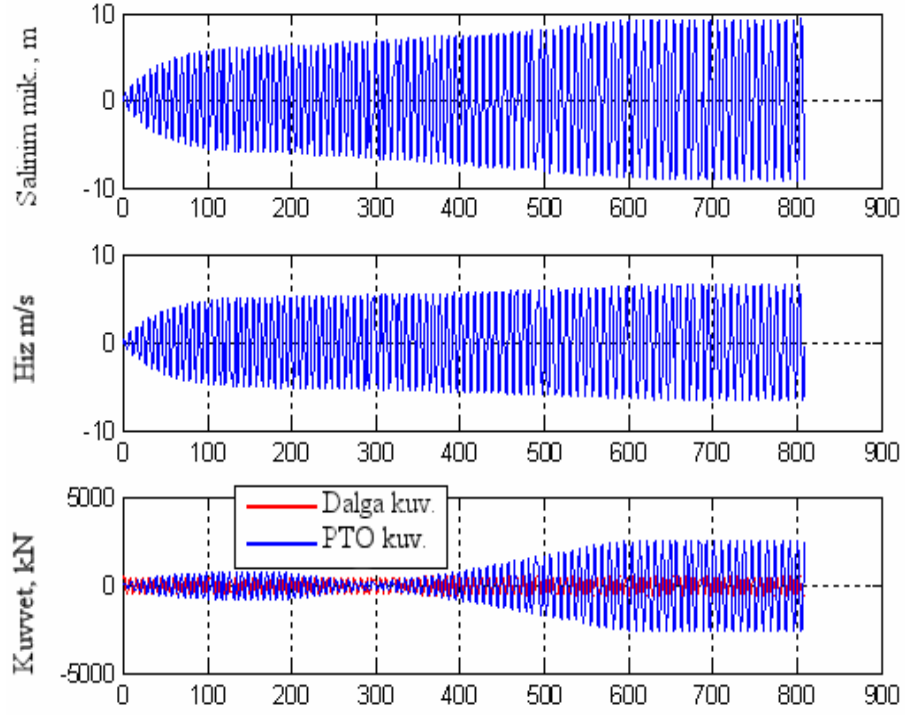
Bu bölümde, sistem önceki incelemeye benzer şekilde çalıştırılmaktadır. Ancak bu kez ayar bloğuna giriş ω_{est} , dalga jeneratörü frekansı datası ω 'na eşit ayarlanır.

$$\omega_{est} = \omega \quad (3.43)$$

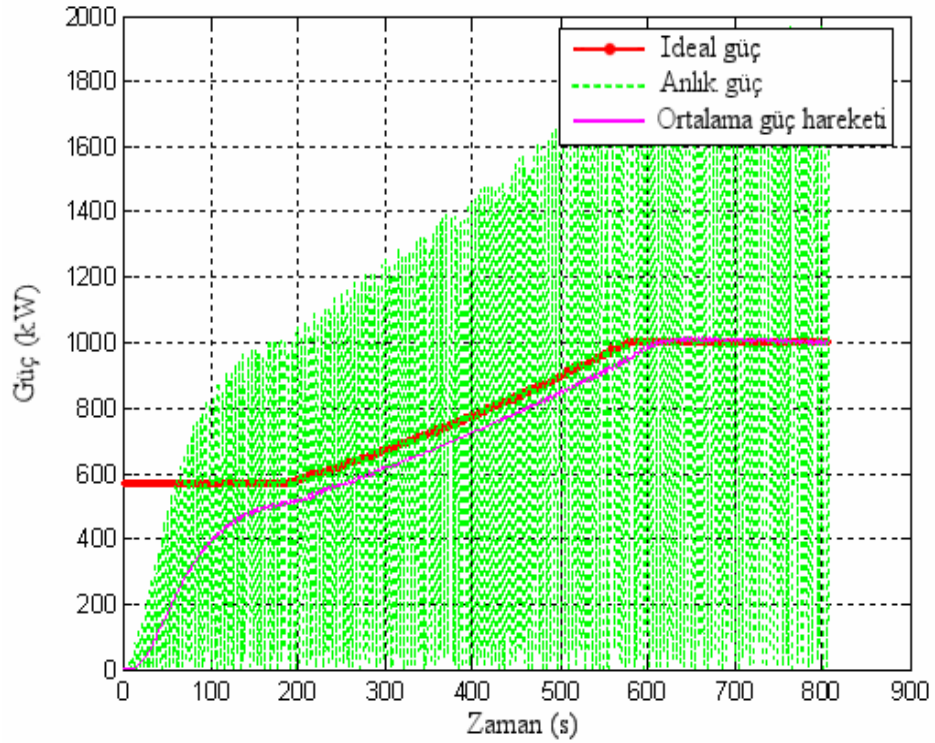
Böylece PTO ayarları kararlı hal teorisine uyumlu optimum değerlere ayarlanır. Sonuçta sistemin davranışının Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13 de verilen ile Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'dakine benzer olduğu görülebilir. Şekil 3.11'de görülen DEK konvertörünün cevabından PTO ayarlı parametrelerinin etkisi simülasyon sonucuna yakın büyük genlik değerlerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3.11. Dalga frekansı, dalga periyodu uyumu ve radyasyon katsayısı



Şekil 3.12. Yer değiştirme, hız, dalga kuvveti ve güç çekme kuvveti eğrileri



Şekil 3.13. İdeal PAWEC gücü, anlık güç, ortalama güç hareket eğrileri

Şekil 3.12'den de görüldüğü üzere elde edilen güç değerleri simülasyonun başından sonuna kadar referans güç değerlerine yakın seyretmekte ve yaklaşık olarak dalga frekansının 0.70 rad/s değeri ile de tepe noktasına ulaşmaktadır. Burada $Td_1 = 40s$ ve $Td_2 = 20s$ süreleri hareketli ya da kayar pencere ile ortalama alma amaçlı kullanılan değerler olup, anlık güç değerlerini anlamlı ifade ve değerlere çevirmekte kullanılmıştır. Ayrıca belirtmek gereken bir başka nokta ise güç eğrileri referans güç eğrisini belirli bir gecikme ile takip etmektedir.

3.2.6. Dalga frekansının Fourier Transformundan Elde Edilişi

İleri ve geri Fourier analizleri sinyal işleme teknikleri arasında önemli bir yere sahiptir. İleri, dönüşüm analizi, ayrık zaman sinyali $x[n]$ ayrık zaman n 'i işaret eder ve frekans öğeleri $X(e^{j\omega})$ kullanılarak şu eşitlikte hesaplanır;

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\omega n} \quad (3.44)$$

Yine tersi ise sentezlenen dönüşümle frekans öğelerini gerektirir ve sinyal kullanılarak şu eşitlikle hesaplanır;

$$x[n] = \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega})e^{j\omega n} d\omega \quad (3.45)$$

DFT $X(e^{j\omega})$, ω 'nin kompleks değişkenli periyodik bir fonksiyondur. Periyot genellikle 2π 'dir ve esas periyot genellikle $[-\pi, \pi]$ olarak seçilir. Pratikte eşitlik (3.44) ve (3.45)'de çıkan problemler: (a) sinyalin sonlu olabilmesi (b) ω değişkeninin sürekliliği temel periyot boyunca tipik olabilmesidir. Daha sonra eşitlik (3.45) şu formda kabul edilir;

$$X(e^{j\omega_k}) = X(e^{j2\pi k/N}) = \sum_{n=0}^{L-1} x[n]e^{-j(2\pi k/N)n} \quad \text{for } k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.46)$$

Burada, $-\pi < \omega < 0$ aralığındaki değerler için DFT'nin periyodik olarak tekrarlaması $k > N/2$ içindir ve böylece form merkez noktasına göre simetriktir. Bu simetri yalnızca $k = 0, 1, \dots, N/2$ aralığının yarısının dikkate alınmasının gerekli olduğu anlamına gelir.

Tipik sinyal örnekleme sayısında (L) hesaplanabilen eşitlik (3.46) frekans değerlerinin sayısı N 'e eşittir. Daha sonra DFT'nin kesinliğine yol gösteren iki ana öğe T_o dönüşümü ve periyot örneklemede kullanılan Δt zaman serisi datasının sürecidir. DFT'nin frekans kazancı f_{inc} data noktaları zaman sürecinde karşılıklıdır, böylece;

$$f_{inc} = \frac{1}{T_o} = \frac{1}{N\Delta t} \text{ Hz, yada } \omega_{inc} = \frac{2\pi}{T_o} = \frac{2\pi}{N\Delta t} \text{ rad/s} \quad (3.47)$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bu yalnızca eğer zaman serisinde üniform Δt ile örneklenmiş ise geçerlidir ve uygulanır. DFT spektrumu örnekleme frekansına göre simetrik olup sağ ile sol tarafları aynı özellikte dağılım gösterir. Dolayısı ile;

$$\text{Range}_f = \frac{1}{2\Delta t} \text{ Hz, yada } \text{Range}_\omega = \frac{\pi}{\Delta t} \text{ rads} \quad (3.48)$$

Açıkça görülebilir ki, örnekleme frekansı ilgilenilen frekansların tamamını kapsamalı ve zamana bağlı data serisi bu frekansları içeren data birimlerini içerecek uzunlukta olmalıdır, bu şekilde hassas bir analiz gerçekleştirilebilir. DFT analizi esasen bir yaklaşık çözüm metodudur ve elde edilen çözüm belirlenen frekans analiz parametrelerinin hassasiyetine göre tasarlanan oranda belirli frekanslara yaklaşık olarak elde edilir. Dolayısı ile işlemin hassasiyeti, DFT ayar parametrelerinin seçimine bağlıdır. Genellikle zamana bağlı fonksiyonların analizinde bu yuvarlama hataları yeterince hassas analizlerde ciddi sorunlar teşkil etmez. Ancak, spektrum değişiminde DFT analizi genellikle frekans değerlerine uygun sonuçlar verirken genlik değerlerinde yaklaşımları sonuçların doğruluğunda sorunlarla karşılaşmaktadır. Dolayısı ile sinyal analizinde, spektrum analizi için oldukça uygun olan DFT, genlik analizi için yaklaşık sonuçlarla uygun olmayan bir tablo çizmektedir.

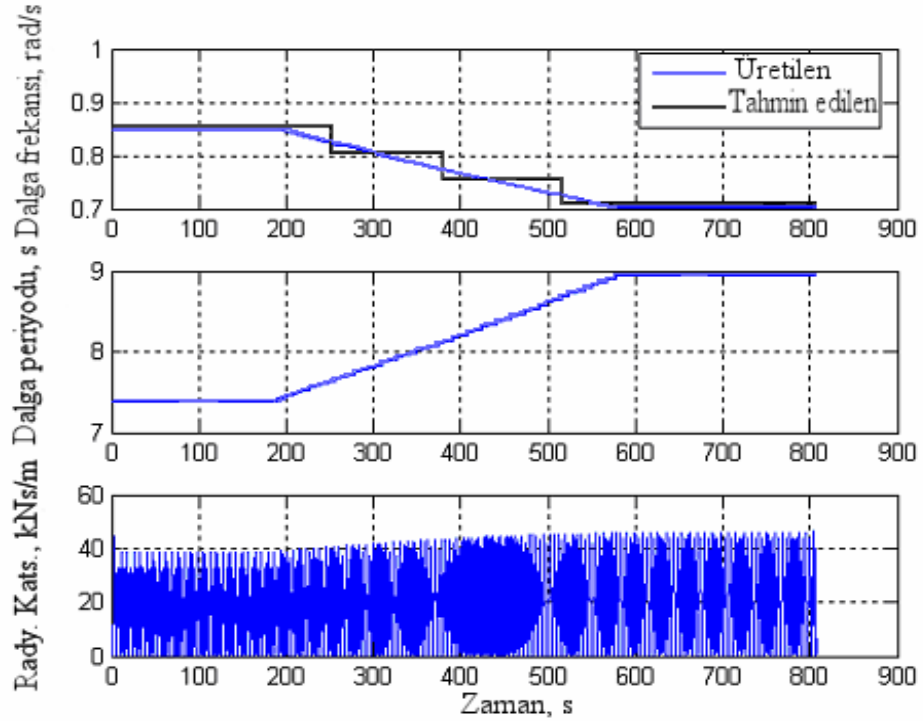
3.2.7. Zaman Değişkenli Sinyaller

Bazı uygulamalarda, okyanus dalgaları gibi dalga frekansları zamanla farklılaşabilir. Bu gibi durumlarda, dalga frekansı önceki bölümlerde tanımlandığı gibi DFT kullanılarak herhangi bir anda elde edilebilir. İlk adım bu uygulama için DFT özgün parametrelerinin seçimidir. Tipik bir dalga datasındaki en kısa dalga periyodu 4

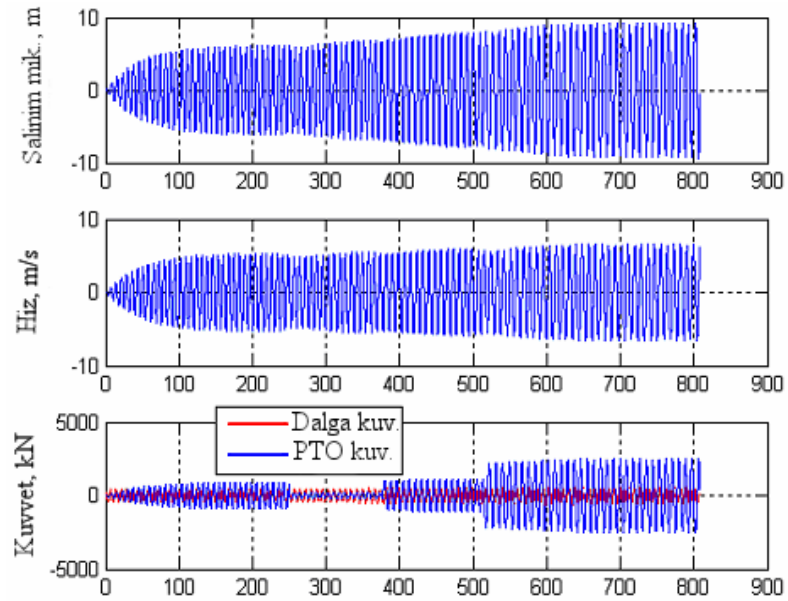
saniye civarındadır, 0.2 – 0.25 Hertzlik bir frekans verir ya da saniyede 1.2 ile 1.6 radyandır. Böylece örneklemelerin tümü 0.05 saniyelik periyot, 2 Hertz'e kalmıştır. Frekans tahmininin kesinliği için makul olan hassaslığın ondalık olması gerekir, saniyede 0.05 radyan artan bir frekans gerekliliği 0.008 Hertz, 125 saniye süresince bir data verir. Bu 2 Hertzlik oran örneğiyle 250 örnek kapasiteli hafızalama gerektirir. Bu yöntemdeki 250 örnek, eski dalga bilgilerinden sonra depolanan nokta bilgiler veya ölçülen dalgadan hemen önce edinilen bilgi olabilir.

Şekil 3.13 deki grafikde, tahmin edilen (DFT fonksiyonu kullanımı) ve oluşan dalga frekansları oluşumunu görülmektedir. Tahmini dalga frekans bilgisi DEK'in simülasyonu için ayar parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Simülasyonun sonuçları da Şekil 3.14 ve 3.15 'de sunulmaktadır. Tahmini DFT dalga frekansının kullanımının dalga frekansının değişim periyodu süresince güç eldesinde oldukça iyi olduğu görülebilir, etkin biçimde frekans değişim eğrisinin sonunda rezonans devam etmektedir.

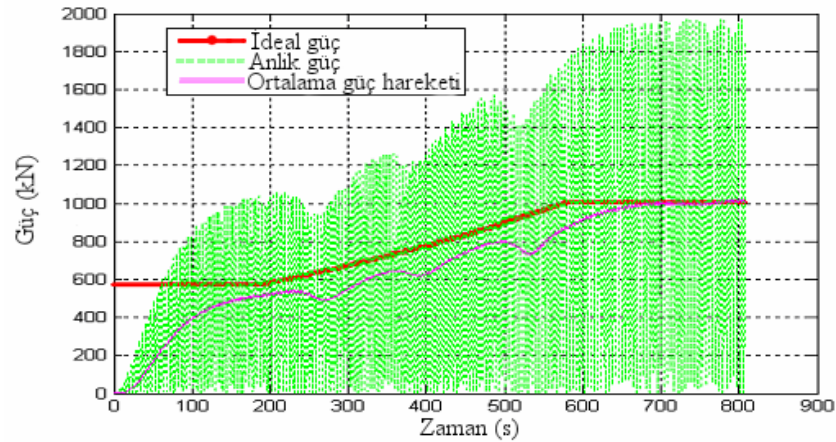
Şekil 3.13'de de görüldüğü üzere, sisteme değişken frekanslı bir dalga uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamaya ait frekans tahmin işlemi için ise DFT tekniği kullanılmıştır. Şekilde bu dalga frekansı ve tahmin edilen frekans değerleri belirtilmiştir. Tahmin edilen frekans değerleri, kontrol parametrelerinin ayarlandığı elemanca alınıp sistemin ayarlanmasında ve rezonansının devamının sağlanmasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar sistemin rezonansının devam ettiğini gösterir niteliktedir. Bu sonuçlar Şekil 3.14 ve 3.15'de gösterilmektedir. Buradan da görülmektedir ki, DFT iyi frekans tahmini yapmakta ve yüksek güç eldesi durumuna ulaşabilmektedir. Her ne kadar adımsal ayarlar tahmin edilen frekans değerlerinin sapmasından kaynaklanan hatalar sebebi ile güç kaybetsede, özellikle bu kısımda rampa şeklinde değişen frekansın değişiminin oldukça iyi şekilde takip edildiği görülebilir. Bu durum özellikle Şekil 3.14'de açıkça görülmektedir.



Şekil 3.14. DFT'den sağlanan tahmini frekans ve üretilen sinyalin frekansı ile yayılım katsayısı



Şekil 3.15. Değişken zamanlı dalga frekansta DFT tahmini ile ayarlanması durumunda tek SD DEK'in cevabı



Şekil 3.16. Değişken zamanlı dalga frekansta DFT tahmini ile ayarlanması durumunda tek SD DEK'in performansı

3.3. Düzensiz Dalga Ortamında Tek SD' li DEK Kontrolü

DEK'lerinin kontrolü üzerine çalışmalar 1970' li yıllara kadar uzanmaktadır. Bu çalışmalarda özellikle bir dalga enerjisi konvetörünün rezonansının sistemin maruz kaldığı dalgaya göre ayarlanması gerekliliği ortaya konmuş ve efektif çalışma şartları için bu rezonans durumunun sürekliliğinin sağlanması gerekliliği tespit edilmiştir. DEK'in doğal frekansı düzenli dalga frekansına eşit olduğunda rezonans sağlanmış olmaktadır (Budal ve Falnes, 1975; Falnes, 1993; Falnes, 1994; Korde, 1999]. Bu yöntem düzenli veya tek bileşenli dalgalarda (Yavuz ve Bradshaw, 2004) kullanışlıdır, bununla beraber tipik düzensiz dalgalarda koşulların ve dalga özelliklerindeki sürekli değişimlerden kaynaklanan sebeplerle verimli enerji dönüşüm sağlanması durumu eldesi mümkün olamamaktadır. Böyle koşullardaki çözüm metodlarından birisi sürekli olarak DEK'i yerel dalga koşullarına göre ayarlamak olabilir. Ancak, özellikle düzensiz dalga şartlarında dalga özelliklerinin belirlenmesi önemli bir teknik sorun oluşturmaktadır, çünkü dalga özellikleri dinamik bir yapıya sahiptir ve bu dinamik yapının değişkenlik özelliği kontrol ayarlamaları için gerekli parametrelerin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra kontrol işlemi için aynı zamanda sistemin doğal frekansının da belirlenmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda böyle bilgi mevcut olamayabilir veya zamanla yavaşça olsa değişen formda olabilir. Bu yüzden, gerekli PTOS ayarlarının oluşturmak için ihtiyaç duyulan dalga özellikleri ile cihazın hareket parametrelerinin anlık değerlerinin eksiksiz olmak üzere en doğru şekilde belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Diğer bir önemli husus ise, gerçek dalgalarda bu tür cihazların gerçekçi performans çalışmaları yapılabilmesi için, simülasyon çalışmalarının zaman uzayı içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada, düzensiz dalgalar durumunda kontrol incelemesi için, araştırmakta kullanılan Laplace Transfer fonksiyonlarının aracılığıyla hesaplanan dalga sistem etkileşim kuvvetleri ve yayılım kuvvetleri aşağı-yukarı hareketli tek serbestlik dereceli bir DEK'in zaman uzayındaki (McCabe ve ark. 2005) modeli ele alınarak inceleme yapılmıştır.

En basit haliyle, bir DEK'in kontrolü, sistemin PTOS değerlerinin doğru zamanda doğru değerlere ayarlanması şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışmada, PTOS ayarlarının pasif ve aktif yöntemler ile ayarlanması incelenmiştir. Pasif yöntemler; enerji frekansının, tepe frekansı veya ortalaması alınmış tepe frekanslarına göre olmak üzere üç farklı şekilde incelenmiştir. Aktif ayarlama yöntemleri, diğer taraftan kayan Fourier transformu (KFT) frekans analizleri üzerine veya bir zaman serisi dalga frekans tahmini ve hız sinyal frekansı tahmin tekniği üzerine kurulu metotlardan oluşur. Bu ayarlanabilir ayarlama teknikleri yerel baskın dalga frekansını ve kontrol parametre ayarlarını belirlemede kullanılır.

Bu çalışmanın esası, düzensiz dalgadaki bir DEK'in ayarının belirlenmesine izin veren online ve offline(ön hazırlıklı) sinyal işleme tekniklerinin kullanılmasıdır. Ön hazırlıklı ayarlama önceden işlenmiş bilgi içeren KFT tekniği üzerine kurulmuştur. Diğer taraftan; ön işlem gerektirmeyen teknikler, zaman serili hareket parametreleri ve dalga yükseklik verisinden gelen düzensiz dalga parametrelerini ve cihaz özellikleri tahmini içerir.

3.3.1. Ayar Metotları

DEK'in en optimum kontrolü Falnes (Falnes, 2002) tarafından detaylıca incelenmiş ve çeşitli ayarlama metotlarını ve ana hatları kapsayan çerçeve içerisinde hemen hemen bütün yönleri ile özetlenmiştir. Düzenli ve düzensiz dalgadaki güç optimizasyonu konuları Eidsmoen (Eidsmoen, 1998) tarafından da çalışılmıştır. Bu araştırma Falnes (Falnes, 2002) tarafından önerilen faz kontrolüne bir açılamadır. Bu araştırma, dalga gücü sinyal frekansına eşit olan yukarı aşağı harekette hız frekansının dalga frekansına eşit olması durumuna göre yapılmış bir çalışmadır. Bu prensip düzenli

dalgalarda uygulama oldukça uygun olmakla beraber, düzensiz dalgalarda uygulanmasında ciddi teknik zorluklarla karşılaşmaktadır. Sunulan çalışmada, düzensiz dalga şartlarında ayarlama ile ilgili konular araştırılmıştır. Pratik uygulamada, kontrol sisteminin kullanımına sunulabilecek eldesi en kolay bilgi DEK'e yakın bir yerde ölçülen anlık dalga yükselti eğrisidir. Bu yüzden, Falnes'in faz kontrol ifadesinin, 'dalga yüksekliği frekansının aşağı yukarı hareketin hız sinyali frekansına eşitliği'ne göre uyarlanmasını gerektirmektedir. Bundan dolayı, ayarlama metodlarının tümünde dalga yüksekliği sinyalinden elde edilen dalga frekansı çalışılmıştır.

Daha öncedinde bahsedildiği gibi, bir DEK'in ayarlama işlemi, düzensiz dalga durumunda kazanılan gücü maksimize etmek için yay katsayısı (k_{pto}) ve sönümlenme katsayılarının (b_{pto}) özelliklerinin zaman içerisindeki değişkenliğinin tanımlanması olarak tanımlanabilir. Güç çekme ünitesi yay katsayısı dalga frekansının bir fonksiyonu olarak faz kontrol metoduyla ve DEK sistemi için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$k_{pto} = \omega_{wave}^2 - k_{net} \quad (1)$$

burada k_{net} ve m sırasıyla sıvı düzlemi yay etkisi katsayısı ve toplam kütle (kuru ve ek su kütlesi toplamı) olarak tanımlanabilir. Burada ω_{wave} dalga frekansını belirtmektedir. Faz kontrol prensipleri için PTOS sönümlenme katsayısı (b_{pto}) Falnes (Falnes, 2002) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$b_{pto} = b_{rad}(\omega) + b_{loss} \quad (2)$$

burada b_{rad} DEK'in yayılım katsayısıdır. Kayıplar ile ilgili sönümlenme katsayısı (b_{loss}), önemsiz kabul edilmiş ancak denklemlere durumun tam ifadesi için eklenmiştir.

Çizelge 3.3 ayarlama yöntemlerini ve ayar değerlerini hesaplamakta gerekli olan parametreleri listelemektedir. Pasif ayarlama metodları sadece dalganın gelecekteki bilgisini içermez, ayrıca kuru kütle, ek sıvı kütlesi ve batma direnci gibi DEK'in özellikleri ile birlikte hidrodinamik katsayıları da bilmeyi gerektirmektedir. Önerilen aktif ayarlama metodları ise aşama aşama gerekli bilgi düzeyini azaltır nitelikte olup, tüm bilgileri gerektiren metottan hiçbir bilgi gerektirmeyen metoda kadar geniş bir aralığı kapsar.

Belki, en basit dizayn seçeneği, yıllık enerjinin en büyük kısmını taşıdığı bazı özel tepe noktası frekansına ($\bar{\omega}_p$) eşit olan bir doğal frekansla (ω_n) dizayn edilen pasif bir cihazdır. Çizelge 3.3 basitçe listelenen ilk pasif ayarlama metodunun prensibidir. Bu ayarlama metodun performansı, frekans tepe noktasının tam olarak doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır.

İkinci bir pasif yöntem ise tipik dalga enerji frekansına ayarlama esasına dayalı bir metottur (Edinburg Wave Power Project, 1987). Bu iki karakteristik frekanslar (ω_p ve ω_e) cihazın yavaş ayarında kullanılır (P_2 ve P_3 halleri). Bu her iki ayar metodları, dalga durumunu belirleyen spektrum değerlerinin ve özellikle de spektrum yoğunluğunun değişmediğini kabul eden esaslara bağlıdır.

Çizelge 3.3’de listelenen aktif ayarlama teknikleri, sadece birkaç dalga periyodu aralıkları içinde PTOS ayarlarının hızla değiştirilebilmesi esasına dayalı prensipler üzerine tasarlanmıştır.

Çizelge 3.3. Ayar metodlarının özeti ve uygulama için gerekli bilgi

Kontrol tekniği				Sistem gereksinimi				
No		Tanım		Hidrodinamik katsayılar	Gelceğe ait katsayı bilgisi	DEK özellikleri	k_{pto}	b_{pto}
Pasif	P ₁	Ortalama tepe frekansı	$\bar{\omega}_p$	gerekli	gerekli	gerekli	Eşitlik (1)	Eşitlik (2)
	P ₂	Bölge tepe frekansı	ω_p	gerekli	gerekli	gerekli	Eşitlik (1)	Eşitlik (2)
	P ₃	Bölge enerji frekansı	ω_e	gerekli	gerekli	gerekli	Eşitlik (1)	Eşitlik (2)
Aktif	A ₁	Kayan DFT	$\omega_{sl}(t)$	-	gerekli	gerekli	Eşitlik (1)	Eşitlik (3)
	A ₂	Dalga periyodu analizi	$\omega_{t\zeta}(t)$	-	-	gerekli	Eşitlik (1)	Eşitlik (3)
	A ₃	Dalga ve sistem hız periyot analizi	$\omega_{t\zeta}(t)$ $\omega_v(t)$	-	-	-	PDF kontrol birimi	Eşitlik (3)

Bütün aktif ayarlama metotları, hidrodinamik katsayıları ve ayrıca hareketli aksami sınırlama ihtiyacını gidermek için PTOS sönümlenme katsayısını DEK'in radyasyon katsayısına (b_{rad}) ihtiyaç duymadan eldesi için bu parametreyi deplansmanının bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır. PTOS sönümlenme katsayısı tanımı yukarı aşağı hareketin deplansmanının artışıyla artan bir ifadeyi içermektedir. Bundan dolayı PTOS sönümlenme katsayısı aşağı-yukarı deplansman (x) hareketinin fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$b_{pto} = b_{lower} + \left(\frac{b_{upper} - b_{lower}}{x_{range}^{10}} \right) x^{10} \quad (3)$$

burada, alt ve üst sönümlenme katsayısı limitleri, aşağı yukarı X_{max} 'ın hareketin maksimum 5m olarak sınırlandırılması amacıyla $b_{lower} = 45$ kNs/m ve $b_{upper} = 300$ kNs/m olarak belirlenmiştir. Bütün aktif ayarlama metotları için, PTOS sönümlenme katsayısı, PTOS yay katsayısı DEK'in ayarı sabitlenirken eşitlik (3) ile belirtilmiştir.

Çizelge 3.3'de özetlendiği gibi A1 ve A2'nin her ikisinde DEK sistem özelliklerinin bilgisini (kuru kütle, eklenmiş kütle, batma direnci gibi) gerektirmektedir. Buna karşın, metot A3, sistem özelliklerinin bilgisini veya dalga yükseklik bilgisinin gelecek verisini gerektirmemektedir. KFT yaklaşımı (Çizelge 3.3'deki A1), gelecekteki dalga yüksekliği bilgisini gerektirir. Bu metot, eğer dalga yüksekliği zaman eğrisi önceden ölçülebilirse pratik uygulaması mümkün olabilir. KFT metodu kullanılarak; cihaz, anlık bir (t) zamanda enerjinin maksimum değerine karşılık gelen frekans olarak tanımlanmış değişken zamanlı bir dalga frekansına ($\omega_{sl}(t)$) göre ayarlanır. Enerji spektrumu, $t \pm 512\delta t$ (δt örnekleme aralığı) aralığı üzerinden KFT transformu ile anlık olarak hesaplanır. KFT transformu algoritmasının uygulamada kolaylık sağlaması amacı ile DFT (Zhu ve ark., 1999; Jacobsen, Lyons, 2003) kullanılmıştır. KFT transformu için ayarlar örnekleme pencere uzunluğunun yarısı kadar sıfır ekleme ve %99 üst üste binme şeklinde belirlenmiştir. Sistem özellikleri, k_{pto} ve b_{pto} eşitlik (1) ve (3)'te verilen değerleri ile belirlenmiştir. Pratik terimlerde, pasif ayarlama metotları gibi bu yaklaşım toplam sistem kütlesi ve gelecekteki dalga profilinin ($512\delta t$ s 'den daha önceki değerlerine) her ikisinin bilgisini gerektirmektedir. Algoritmalar (Rodrigues, 2001; Wist, ve ark., 2004), dalga yüksekliğinin rüzgar ölçümleri temelinde dalga profilinin

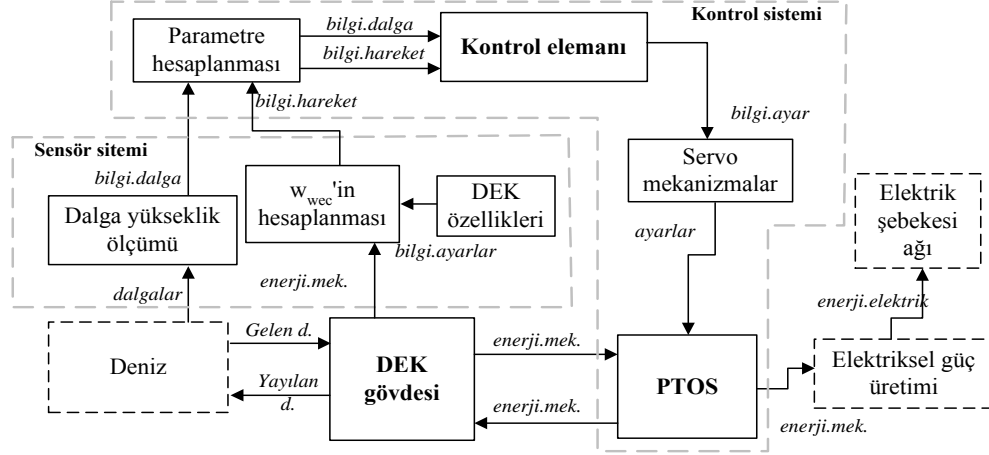
önceden belirlenmesi için geliştirilmektedir; bununla birlikte böyle tekniklerin uygulanması bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Sistemin performansı, doğal frekansın anlık dalga frekansına ayarlanıp ayarlanmamasına bağlı olup, bu durumun elde edilmesi uygulamada çok kolay olmayabilir.

Son iki aktif ayarlama metodu (A2 ve A3), anlık bir dalga frekansını hesaplamak için dalga yüksekliği verisinin zaman serisinde anlık analiz sonuçlarını kullanır. Bu metotlar, gelecek dalga profilinin bilgisi olmaksızın, ard arda dalga periyotlarının tahmininden dalga konumu periyodunun (T_{tc}) sürekli ve hatasız değişken zaman değerinin tahmini kullanılmasına göre tasarlanmıştır. A2 metodu PTOS katsayısı (k_{pto}) belirlemek için hesaplanan dalga frekansını ve eşitlik (1)'i kullanır. İkinci zaman serili analiz metodu (A3), aşağı yukarı hareketli hız sinyalinden DEK'in doğal frekansı tahminiyle A2'den daha az sistem bilgisini gerektirir. A3 metodu dalganın ve cihazın hız periyodunun hesaplanmasında iki ayrı zaman serili analiz blok birimlerini görevlendirir. Bütün diğer ayarlama metotları için amaç; sistem özelliklerinin ayarlanmasıyla hız periyodunun dalga periyoduna eşleştirilmesidir. Bu teknikte periyot farkı bir kontrol hatası olarak dikkate alınmıştır ve konvansiyonel sanal-türev geri beslemeli bir kontrol, PTOS (k_{pto}) yay katsayısı ayarlanmasıyla tanımlanan periyot farkını ($T_{tc} - T_{tv}$) en aza indirmek için kullanılmıştır.

Dalga kuvveti setleri yerine dalga yüksekliğinin kullanımı literatüre (McAlphine, 1981; Edinburgh Wave Power, 1987; Eidsmoen, 1998; Korde, 2002; McCabe, 2007) geçmiş araştırmaların birçoğundan yapılan çalışmayı farklı hale getirmektedir ve ayrıca uygulamada bu durum metodu daha pratik hale getirmektedir.

3.3.2. Sistem Yapısı

Şekil 3.17'de görüldüğü gibi tipik bir sistem modeli, DEK kazanç elemanı ayar birimi PTOS, sensörler ve tipik kuvvetler ve uygulayan hidrolik servo mekanizmalar gibi alt sistemlerden oluşur.



Şekil 3.17. Genel sistem yapısı ve blok diyagramlarının bağlantıları

Şekil 3.17’de tüm sistemin ve bağlı alt sistem bloklarının ve ayrıca alt sistemler arasındaki etkileşimin ana yapısı gösterilmiştir. DEK ile dalganın (noktalı çizgili blokla gösterilen) etkileşimi dalga yüksekliği datası temeli üzerine modellenmiştir. PTOS (Nolan ve ark., 2003; Henderson, 2006)’un dizayn ve modellemesi elektrik güç üretimi ve elektrik ağ şebekesi bağlantı detayları (ayrıca noktalı çizgi ile belirtilmiştir) hazırlanan çalışmanın kapsamı dışında olduğu için simülasyonlara dahil edilmemiştir.

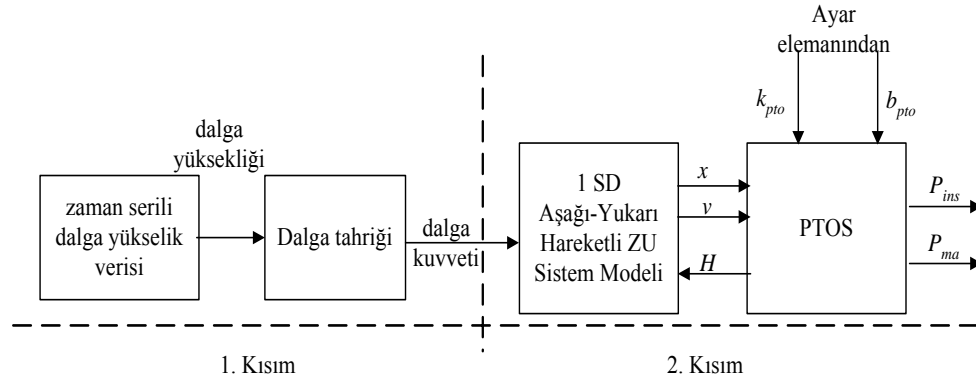
Ayar birimi iki tür bilgi olması şartıyla çalışır ve bu bilgiler PTOS ayarlarının tespit edilmesinde kullanılır. İlk tür bilgi seti sensör sisteminden elde edilen yerel dalga özellikleri hakkındaki bilgidir. İkinci set DEK’in hareket bilgisini sağlar. DEK kontrolü (McCabe ve ark. 2007) üzerine yayımlanan çeşitli çalışmalarda olduğu gibi PTOS ayarları anlık elde edilmekte olduğu ve servomekanizmaların mükemmel olduğu kabul edilmiştir. Kazanılan mekanik güç basit bir sönümleyici kullanılarak modellenmiştir. Optimal DEK güç kazanımı sistemlerin doğal frekansının değişken dalga frekansına eşleştirilmesine dayanır.

Kontrol teknikleri dalga ve sistem frekanslarının hesaplamalarında farklı esaslara dayalı teknik veya kabuller kullanılmaktadırlar. Bundan dolayı sistem yapısı, simülasyon modelleri ve nihai güç kazanımı da ayrıca farklılık gösterir. Başlıca ortak alt sistemler dalga tahrik kuvvet bloğu, zaman uzayında DEK ve PTOS blokları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Birinci bölümde zamanlı dalga yüksekliği verisi zamanlı dalga kuvveti sinyali hesabında kullanılır. İkinci bölüm zaman uzayında DEK modeli ve

deplansman ve hız sinyalleri girdisi olan dalga gücünün hesaplandığı bir MATLAB/SIMULINK™ modeli (MATLAB, 2005b) olarak tasarlanmıştır. Bölüm 3.3.3'te, Şekil 3.18'de gösterilen sistem bloklarının her biri matematiksel olarak modellenmiştir. Modelleme kısmı yukarıda sunulmuş olan altı ayarlama metodunun performansının tartışılmasıyla oluşturulmuştur.

3.3.3. Sistem Matematik Modeli

Yüzücü gövdeli DEK'lerin matematiksel modelleri tipik olarak frekans uzayında yapılır. Böyle modeller düzenli tahrik sinyalinde bir gövdenin kararlı hal tepkisinin ve zaman değişkenli sistem parametrelerini (doğal frekans gibi) sağlayan tepkilerin ögesinin süperpozisyonla modellenebilen düzensiz bir dalgaya tepkisinin önceden tahmini için uygundur. Zaman değişkenli parametrelili bir sistemin tepkisinin simülasyonu için zaman uzayında (McCabe ve ark. 2005) model formülize edilmesi gerekmektedir. Olağan anlık kuvvetlere (ivme, hız ve gövdenin deplansmanına orantılı) ek olarak yüzücü gövdenin zaman uzayında modelinin en genel olarak kullanılan formülasyonlar konvolüsyon integral terimlerini içerir (Cummins, 1962). Bu konvolüsyonlar fiziksel nicelikler arasındaki dönüşüme ve sebep sonuç ilişkili dalga tahriği konusunda benzerlik gösterir. Böylece fiziksel niceliklerden (Falnes, 1993) biri üzerinde bazı gelecek bilgilerini gerektirmektedir.



Şekil 3.18. Tüm ayar sistemleri için genel sistem yapısı

Bu çalışmada simülasyonlar McCabe ve ark. tarafından geliştirilen zaman uzayında bir model kullanılarak incelenmiştir. Transfer fonksiyonlarını kullanan model

serbest yüzeydeki devam eden etkileri açıklayan ve normal olarak standart zaman uzaylı model formülasyonlarındaki konvülyasyon integralleri gibi hafıza fonksiyon yöntemlerini gerçekleştirmek için frekansa bağlı hidrodinamik verilerden direk olarak elde edilmiştir. Bu yöntem girdinin zaman ölçeklemesini içerir. Böylece yüzey yüksekliği bilgisinin ön hazırlığını hesaplanabilen çıkıştan önce hesabını gerektirir. Bu bölümde, zaman uzaylı modelin ana özellikleri kısaca sunulmuştur. Daha fazla detaylar McCabe ve ark. (McCabe ve ark. 2005) tarafından kaydedilmiştir.

Tek dönüşümlü bir mod veya serbestlik derecesi için zaman uzayında hareket eşitliği ve ilgili modelleme denklemleri önceki bölümde denklem 3.1 ile 3.27 arasındaki kısımda elde edildiği şekli ile kullanılacaktır.

3.3.3. Pasif Ayar Metotları

Pasif ayarlama metotları PTOS ayarları olarak kabul edilebilir ve bundan dolayı doğal frekans değeri sabittir. Şekil 3. 2 ayar biriminin detaylarını ve PTOS yay katsayısı (k_{pto}) ve sönümleme katsayısı (b_{pto})'nı sırasıyla eşitlik (1) ve (2) tarafından hesabını göstermektedir.

Üç pasif ayar yönteminin hepsi aynı simülasyon model yapısını ve ayarlarını kullanır fakat doğal frekansı farklı dalga frekanslarına ayarlar ($\omega_{wave} = \overline{\omega_p}, \omega_p$ yada ω_e). Bu çalışmada her bir dalga kuvveti spektrumu frekans tepe noktası terimlerine göre tanımlanmıştır ve bu değer önceden bilinmektedir. Enerji frekansı aşağıdaki formülle tanımlanmaktadır;

$$\omega_e = \frac{2\pi m_0}{m-1} \quad (20)$$

m_n , güç spektral yoğunluğu $S(f)$ 'nin n 'ci momentidir. Frekans tepe noktasının ortalaması şöyle tanımlanır;

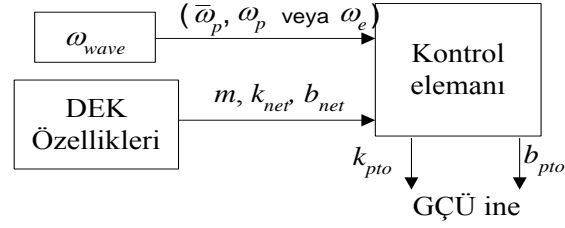
$$\overline{\omega_p} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_{ref}^i} \sum_{i=1}^n P_{ref}^i \omega_{ref}^i \quad (21)$$

n ortalaması alınan spektrumun aralığının sayısıdır ve P_{ref} dalga genliği h ve frekans tepe noktası için taşınan gücün bir ölçümüdür. Burada referans gücü ise şöyle tanımlanır;

$$P_{ref} = \frac{\rho g^3 H_s^2}{32\omega_e^3} \quad (22)$$

3.3.4. Aktif Ayar Metotları

Aktif ayarlama metodları sistemde oluşan varsayımların sayısını azaltırken güç kazanımını arttırmak için tasarlanmıştır.



Şekil 3.19. Pasif ayarlama için ayar modeli

KFT transformu metodu (A1) dalga yüksekliği datası ve simülasyondan önceki cihaz özelliklerinin her ikisinin bilgisini gerektirir. Pratik anlamda bu durumda sistem dalga yüksekliğinin ölçümünün sistemden önceki bir noktada yapılmasını ve bu şekilde ön sinyal işleme için gerekli zamanın kazanılmasını sağlaması şeklinde düşünülebilir. Bu durum ayrıca kuru kütle, toplam kütle ve batmazlık direnci parametreleri gibi cihaz özelliklerinin bilgisini gerektirir.

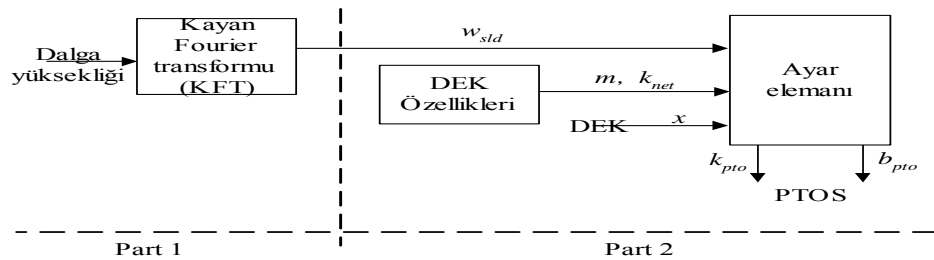
Şekil 3.20'de görüldüğü gibi dalga yüksekliği verisi öncelikle dalga tahrik kuvvetini tespit etmek ve anlık frekansı $[\omega_{sl}(t)]$ tahmin etmekte kullanılır. İkinci bölümde tahmin edilen dalga frekansları ve cihaz özellikleri PTOS (k_{pto}) yay katsayısı ve sönümlenme değerlerini (b_{pto}) tespit etmede kullanılır. KFT transformu metodu kullanarak bir güç spektrumu 1024 uzunluğundaki örneklerinden hesaplanır. Ardarda spektra 1023 örnek tarafından sıralanmıştır ve yükseklik veri girdisi simülasyonun

başlangıcında 512 sıfırlarla doldurulmuştur ve diğer 512 sıfırda simülasyonun sonuna gelecek şekilde eklenmiştir. Her bir anlık baskın spektral frekans $[\omega_{std}(t)]$ o anlık güç spektrumun tepe noktasını göstermektedir. Bu tanımın bir sonucu olarak tahmin edilen frekans bir 0.2 s. uygulama periyodunda değerler arasında zıplama tipinde geçiş yapabilmektedir.

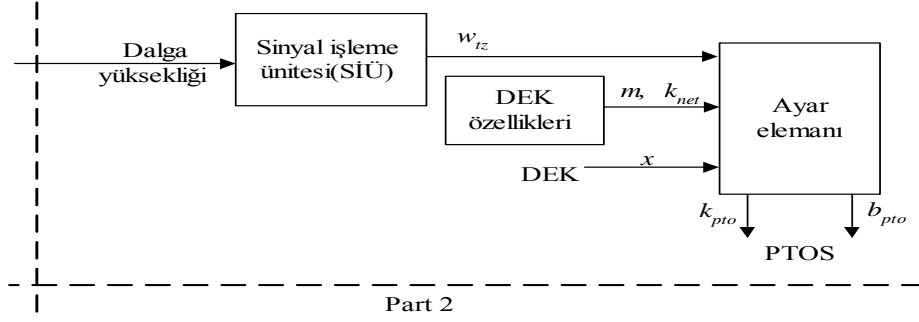
Dalga periyodu ayarlama metodu (A2) ardı ardına dalga periyotlarını ölçümlerden sürekli ve kesintisiz değişken zamanlı değerinin hesaplanmasıyla gelecek dalga profilinin bilgisi olmadan belirleyebilmektedir.

Şekil 3. 21'deki sinyal işleme ünitesi (SİÜ) dalga yüksekliği verisinden baskın dalga frekansını (ω_{ζ}) elde etmesi için kullanılan modülü tanımlamaktadır. Tahmin edilen dalga frekansları ve bilinen cihaz özellikleri eşitlik (1)'i kullanarak PTOS yay sabiti (k_{pto}) hesaplanması için ikinci bölümde kullanılmıştır. Diğer taraftan PTOS sönümlenme katsayısı (b_{pto}) eşitlik (3)'ü kullanarak aşağı yukarı deplansmanın bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 3. 22 SİÜ blok elemanlarını ve etkileşimlerini göstermektedir. Demirbilek ve Vincent (Demirbilek ve Vincent, 2002) tarafında belirtildiği üzere düzensiz denizlerde dalga sinyalinin sıfırdan geçiş periyodu genellikle periyot tepe noktasından daha yüksek frekanslarda meydana gelir. Bundan dolayı yukarıda tanıtılan analizlerden güvenilir periyot tahmini elde etmek için yükselti verisi dalga frekansı hesabından önce yüksek frekans değerleri filtrelendir. Babarit ve ark. (McCabe ve ark., 2007) tarafından belirtildiği üzere tipik bir DEK sistemi genel dalga frekansı aralığı 0.45 ve 1 rad/s çalışmaktadır. Bu çalışma aralığı için Chebyshev Tip-I düşük frekans (MATLAB, 2005a) geçirici filtrenin kesme frekansı $\omega = 1$ rad/s olmak üzere seçilmiştir.



Şekil 3.20. KFT ayarlaması için sistem yapısı



Şekil 3. 21 Zaman serisi dalga frekansını tahmin eden sistem yapısı

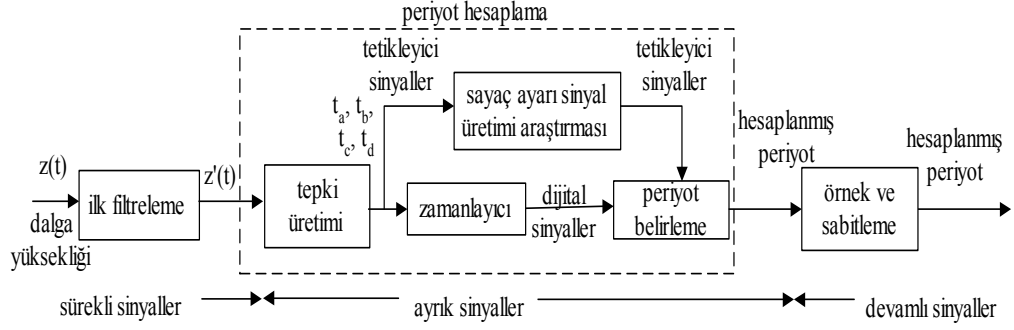
Burada filtrelenen spektrum filtrelenmeyen spektruma oranlanarak normalize edilmiştir.

Periyot tahmin blokları ve filtrelenen sinyallerin işlenmesi Şekil 3. 24'de gösterilmektedir. Anlık dalga frekansı (ω_{t_c}) ardı ardına dalga çevrimleri esnasında dalga periyodunun farklı ölçümleri arasında interpolasyon aracılığıyla elde edilir.

Şekil 3.24'de görüldüğü üzere bunlar yukarı sıfırdan geçme (t_{ai}), tepe-tepe (t_{bi}), (t_{ci}), aşağı sıfırdan geçme ve taban-taban (t_{di}) noktalarıdır.

Bu tetikleme sinyallerinin yardımıyla bu sayaçlar (MATLAB, 2005) anlık periyodu tahmin etmekte kullanılır. Bu yaklaşımla Şekil 3.22'de gösterildiği gibi periyot tahmin bloğu ayrık tarzda ve destek bloğu ve örnek tarafından üretilen modelde ihtiyaç duyulan sürekli tarzdaki sinyal tipi ile çalıştırılır. Tahmin edilen periyot sinyali frekansa (rad/s) ve eşitlik (1) ve (3)'ün kullanılmasıyla da PTOS ayarlarına dönüştürülür.

Şekil 3.23 de, dalga frekansının ve eldesinin farklı durumlarına karşılık gelen pasif (A1, A2) ve aktif ayar metodlarının (A1 ve A2) sonuçları karşılaştırılmıştır. Yerel dalga frekansı pasif ayar metodlarında sabit kabul edildiğinden bu PTOS ayarları simülasyon süresince sabitlenmiştir. Buna karşın, KFT transform metodu A1 yükseklik veri girdilerindeki yerel frekans değişikliklerini tanımlar ve PTOS ayarlarını ona göre ayarlar. Orijinal dalga yüksekliği verisi [ω_{t_c}] dalga periyodu tahmini için filtrelenmiştir ve bundan da dalga frekansı metod A2 için elde edilmiştir. KFT transform tahmini frekansın adimsal değişikliklerine maruz kalır ve bölgesel frekans değişikliklerine karşı duyarsızdır.

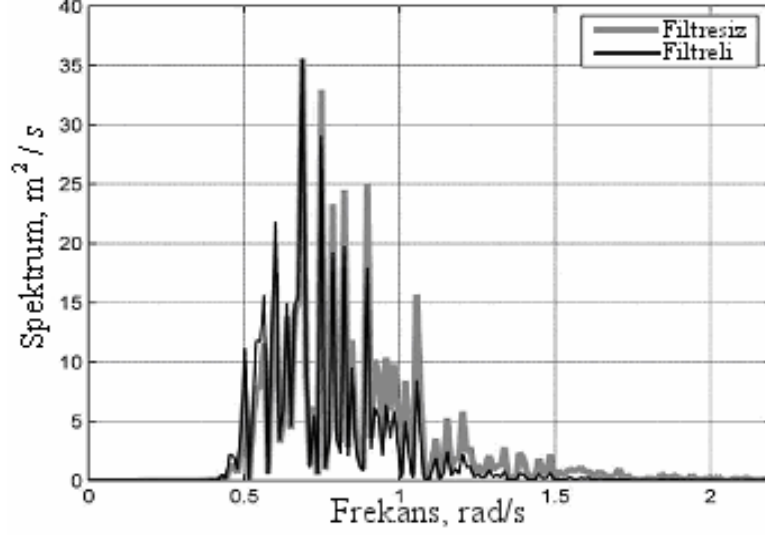


Şekil 3.22. Dalga yükseklik verisi ve periyot tahminli SİÜ

Buna karşın, zaman serili tahmin birimi önemsiz gecikmelere rağmen sürekli değişimleri izler. Bu önceki çevrimin dalga periyodunun hesabı ve düşük frekans geçiş filtresi kullanımı sebebiyle ortaya çıkan faz gecikmesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Buna ek olarak KFT transform metodu 200s'lik örnekleme penceresine göre çalışırken, zaman serisi tahmin sistemi kabaca 20s örnekleme süresi üzerinden çalıştığından, zaman serili frekans tahmini yerel değişikliklere karşı daha hassastır.

Son aktif ayarlama metodu A3 aşağı yukarı hareket eden hızın periyotunu hesaplayan ikinci bir sinyal işleme bloğunun kullanımı ile cihaz parametrelerine ihtiyaç duymak yerine bunları kendisi belirler. Şekil 3.26'da görüldüğü gibi bu ayarlama metodu iki SİÜ'ye görev verir, dalga yüksekliği verisi, aşağı yukarı hareketli hız sinyalinin filtrelenmiş halini kullanırken, hız sinyali filtrelenmemiş olarak kullanılmaktadır. Önceki filtre yükseklik datasının sahip olduğu yüksek frekanslı elemanları olmayan hız sinyalinin filtrelenmesine gerek duyulmamıştır.

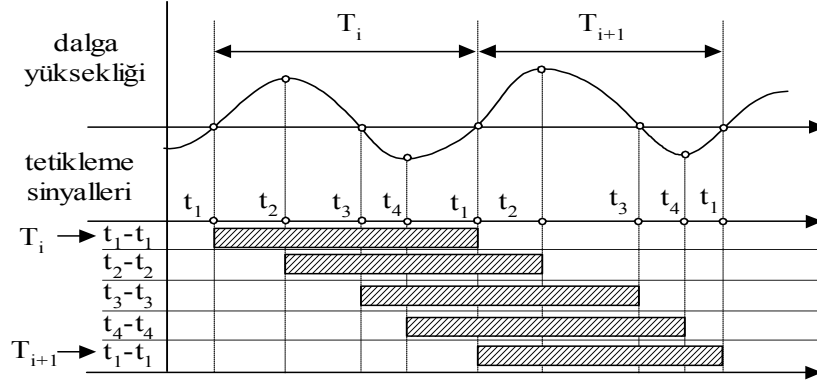
Şekil 3.26'da gösterildiği gibi periyot tahmin birimi anlık dalga yüksekliğinin periyodu $[T_{iç}(t)]$ ve aşağı yukarı hareketli hız periyotlarını $[T_{v}(t)]$ üretir. Bu iki periyot arasındaki periyot farkı (ΔT) , ayarlama hatası olarak kabul edilir.



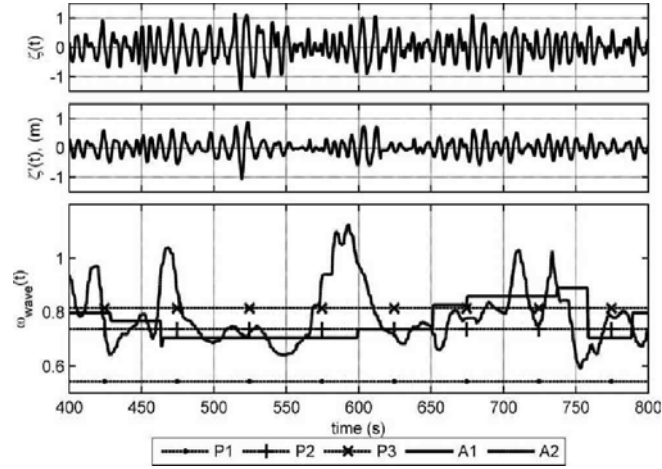
Şekil 3.23. Filtrelenmiş ve filtrelenmemiş dalga yükseklik spektrumları

DEK'in rezonansı periyot farkının minimizasyonuna dayanır. Bu probleme önerilen çözüm periyot farkının bir fonksiyonu olarak PTOS yay sabiti parametresini (k_{pto}) belirleyen tipik PDF kontrol birimini (Phelan, 1997) kullanmaktır. PDF kontrol birimi iki ana bloğa sahiptir: birincisi (P) sabiti ile geri beslemeyi çarpan orantısal blok ve ikincisi hatayı bütünleştiren ve bir integral kazancı (K_i) ile çarpan integral ögesidir. Orantısal blok girdisi ölçümdür ve referans değeri ile girdi sinyali arasındaki hata ise integral bloğu girdisidir. Bu durumda referans sıfırdır ve böylece kontrol birimlerinin orantısal ve integral ögelerinin girdisi aynı sinyalin zıt işaretli versiyonudur. Kontrol birimi kazançları (orantısal P ve integral K_i sırasıyla 50 ve 0.5'tir) belirtilmiştir. Böylece PTOS yay katsayısı (k_{pto}) değişim oranı gerçekçi sınırlar (+80 kN/ms) içerisinde kalır. PTOS yay katsayısı diğer aktif ayarlama metotları gibi eşitlik (3)'ü kullanarak tespit edilmiştir. Örnek olarak, Şekil 3. 27 düzensiz dalga konumları için ΔT 'nin zaman değişkenliğini, Şekil 3.25'da verilen dalga durumu için değişimini göstermektedir.

Filtrelenmiş dalga yüksekliği [$\zeta(t)$], aşağı yukarı hareketli hız [$v(t)$], ve ilgili anlık periyotlar gösterilmiştir. Bununla birlikte PDF ayar birimi periyot farkını (Δt) minimize etmeye çalışır, bu durumda ise dalga periyodunun sürekli değişkenliği sıfır periyot farkı hedefi etrafında değişim şeklinde sonuçlanır.



Şekil 3.24. Periyot tahmini için dalga yükseklik bilgisinin zaman serisi analizi



Şekil 3.25. Dalga yüksekliği veri girdisi (üstte), pasif frekanslardan (P1 için ω_p ve P2 için ω_e) ve aktif ayar frekanslarından (A1 için $\omega_{std}(t)$ ve A2 için $\omega_{i\zeta}(t)$)

Dalga periyodu tahmin işlemi aşağı yukarı bir dalga periyodu (5-15s yaklaşımlıdır) sürer ve ayar metodunun performansı ardi ardına dalga çevrimleri arasındaki periyot farkı büyüdükçe azalır. Bu olay dalga grupları arasında 400-480 ve 700-800 s aralıklarında Şekil 3.27'de gösterilen hız sinyalinin düşük genliği içerisinde sonuçlanır.

3.3.5. Zaman Uzayında Simülasyon ve Sonuçları

Her bir ayar metodunun performansı bir dizi düzensiz dalgalarla yüklemeye tabi tutulan bir serbestlik dereceli aşağı yukarı hareket eden DEK sisteminin anlık tepkisinin simülasyonu aracılığıyla elde edilen durumuna göre değerlendirilmiştir. Şamandıra 12 m çaplı yarım küre şekilli omurgaya sahiptir ve kuru kütlesi 1370 ton ağırlığındadır. Bu

omurga formunun hidrodinamik parametreleri WAMIT™ kullanılarak hesaplanır ve detaylar Tablo 2’de listelenmiştir ve diğer detaylar McCabe ve ark. (McCabe ve ark., 2005)’da verilmiştir.

Düzensiz dalgalar, üniform frekans aralığında Δf ayırık frekanslarla f_i lineer dalga ögelerinin süperpozisyonlarının vasıtasıyla yapılan ayar metotlarının performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Düzensiz dalgalar tipik olarak spektral karakteristikleri ile ve düzensiz dalganın çeşitli tipleri için belirtilen çeşitli ‘standart’ dalga spektrumları şeklinde tanımlanmıştır. Burada JONSWAP spektası (Tucaker ve Pitt, 2001) belirtilmiş periyot tepe noktasını (T_p) esas alınmıştır. Dalga alan değişkenliği $M_0 = H_{m0}/4$ (H_{m0} önemli dalga yüksekliğidir) ve spektral bant genişliğinin (γ tipik olarak 1 - 6 oranındadır) bir ölçümüdür. Her bir frekans ögesinin (f_i)enerji yoğunluğu $S(f_n)$ ifadesi;

$$s_j(f) = 5 \frac{m_0}{f_p} \left(\frac{f_p}{f}\right)^5 \exp\left[\frac{-5}{4} \left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \gamma^{\exp([f/(f_p-1)/2\sigma^2])} \quad (23)$$

S’nin olduğu değişken (tipik olarak $f < f_p$ iken $\sigma = 0.07$ ve $f > f_p$ iken $\sigma = 0.09$) ve γ JONSWAP parametresi dalga enerji spektrasının dikliğini tanımlar. Artan γ , dalga alanının spektral bant genişliğini azaltırken dalganın periyodikliğini artırır. f_i frekansın her bir düzenli dalga ögesinin genliği aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\alpha_i = \sqrt{2S_j(f_i)\Delta f} \quad (24)$$

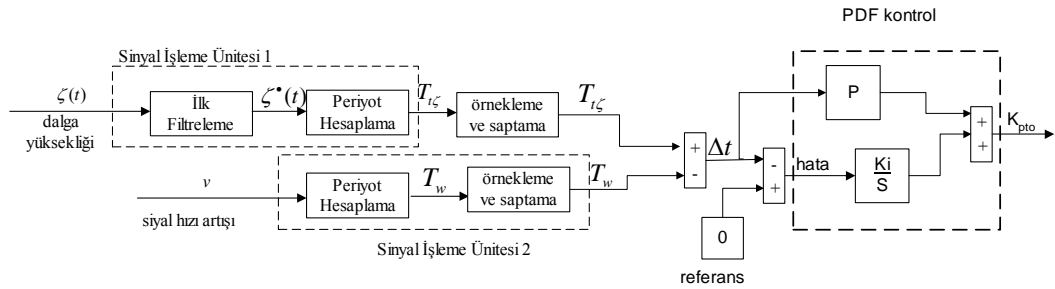
Elde edilen dalga yükselti eğrisi, N adet düzenli dalga ögelerinin süper pozisyonları tarafından oluşturulmaktadır.

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \quad (25)$$

Zaman uzayı simülasyonları, Çizelge 4.2’de belirtilen karakteristik parametrelerle JONSWAP eşitlik (23) aracılığıyla tanımlanmış sekiz farklı dalga spektrumu

kullanılarak şekillenmiş düzensiz dalga alanlarını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Önemli Dalga yükseklikleri (H_s) ve ortalama dalga periyodu (T_z) özelliklerinin değişiminin, hangi algoritmalar için hangi durumlarda performansı artırdığı yönünde inceleme yapılmıştır. Bu incelemede, sakin deniz şartlarından başlayan ve fırtına şartlarına karşılık gelen aralıkta deniz durumları incelenmiştir. Sekiz anlık dalga kaydının her birisi, farklı dalga spektrumları, her biri 1200 s süresince olmak üzere, aralarında rastgele faz farkı (ϕ_i , $i=1$ 'den N 'e) ile, $N=500$ düzenli dalga öğelerinin süper pozisyonu ile üretilmiştir. Her bir dalga spektrası için Çizelge 4.2'te gösterilen ortalama güç bütün sekiz yükseklik kayıtlarından elde edilen gücün ortalamasıdır. Tablonun son sütunundaki değerler ise sekiz farklı deniz durumunun ortalaması olup, bu kazanılmış güç değerleri bütün dalga konumlarını ve bütün çalışılan faz hallerini kapsayan şekli ile elde etmek amaçlı sonuçların tek değere indirgenmiş halini göstermektedir.

Çizelge 4.2'te sunulan sonuçlardan, bütün sekiz dalga konumundaki pasif sistemlerin içinde (P1,P2 ve P3), en büyük güç kazanım durumu, dalga enerji kontrol metodlarından P2'nin cihazın frekans tepe noktasına ayarlanması ile elde edildiği görülmektedir. Dalga enerji spektrumunun(P3) enerji periyodunu veya çeşitli tepe frekans noktalarının ortalaması (P1) uygulama sonuçları elde edilen güç olarak benzer olup, sadece data set 5 (DS5) için farklılık göstermektedir. Bu durumda, enerji frekansı bütün data setler için frekans tepe noktasıyla benzer avantaj sağlamaktadır. Şekil 4.1, data set 4 için dalga frekansı tepe noktasının tahmininde yüzdelik hata oranından elde edilen güç kayıplarını ve sonuçlarının göstermektedir.

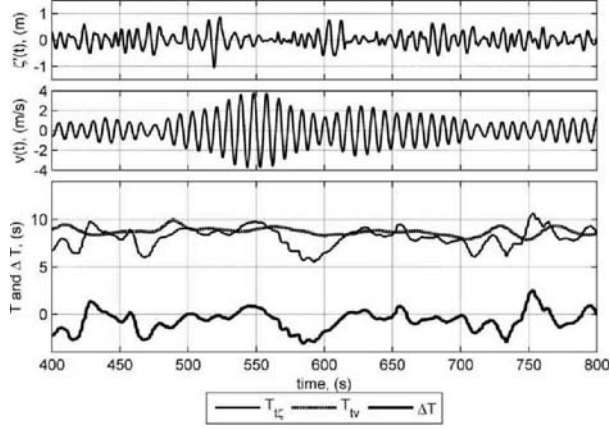


Şekil 3.26. Periyot tahmini ve PDF kullanılarak PTOS yay sabiti kontrolü

Pasif sistemlerin karşılaştırılmasında, üç aktif sistemin tümü, Şekil 4.3'de gösterildiği gibi data setlerinin çoğunluğunda daha büyük güç kazanımları elde eder. En büyük güç kazanımı, KFT metodu ile elde edilmektedir. Bununla birlikte hızlı ve

sürekli sistem parametrelerinin ayarı, gerçek bir sistemin içinde uygulanmasında bazı teknik sorunlarla karşılaşılabilir. KFT metodu (A1) bir çok dalga konumunda metot A2 metoduna göre daha kötü performans göstermesine rağmen, bütün dalga konumlarında A3'ten daha fazla güç elde eder.

Bu yöntem, sürekli değişiklikler gerektiren A2'e göre uzun süreli sabit değerler gerektiren A2 den daha kolay uygulanabilir görünmektedir.



Şekil 3.27. A2 metodu dalga yüksekliği [$T_{t_z}(t)$] ve hız [$T_{t_v}(t)$] arasındaki periyot farkını (ΔT) minimize ederken filtrelenmiş dalga yüksekliği (üstte), nihai cihaz hız artışı (ortada)

Bununla birlikte daha öncedende tartışıldığı gibi gelecek dalga yükseklik eğrisi bilgisi ve sistem özelliklerinin her ikisinin kontrol uygulamasında da biliniyor kabul edilmiştir.

A3 metodunun performansı A1 ve A2 ile karşılaştırıldığında, ortaya çıkan durum sistem parametre bilgilerinin bilinmesinin sistem performansını artırdığı yönündedir. Bununla birlikte eğer sistem özellikleri bilinmiyor ise, bu durumda A3 metodu genel bir uygulama metodu olarak en avantajlı duruma geçmektedir. Dalga spektrum band genişliği azaldıkça P2 metodundaki güç kazanımı artış göstermektedir. Burada JOHNSWAP bant genişliği γ parametresinin değerinin artmasından tanımlanmıştır. Bununla beraber, yavaş ayarlama sisteminin uygulanması deniz dalga karakteristiklerinin gelecek bilgisini içerir ve böylece A3'ün uygulanmasından daha az pratik hale gelmektedir.

4. ARAŞTIRMA VE TARTIŞMA

Çalışma ile öncelikle dalga enerjisi konvertörleri alanında yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların araştırmanın yapıldığı günlerdeki genel durumu ele alınmış ve var olan dalga enerjisi konvetörleri incelenmiştir. Yapılan inceleme ile, dalga enerjisi konvetörlerinin farklı tipleri ele alınmış ve bunların genel kullanım alanları olan kıyı, yakın kıyı ve açık deniz gruplarına göre özellikleri tanıtılmıştır.

Genel tanıtımın ardından özellikle açık deniz uygulamalarının yapılması ile elde edilen yüksek enerji potansiyeli ile salınlı tip konvertörler incelenmiş bunların tek serbestlik dereceli olanlarının güç üretimlerinin geliştirilebilmesi için yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Sonuçta elde edilen hali ile sistem modelleri ve bu sistemlere uygulanması tartışılan kontrol yaklaşımları incelenmiştir.

Çalışmanın daha sonraki kısımlarında ise, çalışmaya esas alınan sistemin özellikleri belirtilmiş, ardından matematiksel modelleri geliştirilmiş sonra da bu model üzerinde uygulanması planlanan kontrol yaklaşımları ele alınmıştır. Sonraki kısımlarda ise, DEK sisteminin performansının daha önce literatür taraması kısmında ele alınan önceki çalıőmalardan farklı olarak daha kolay uygulanabilir kontrol tekniklerinin daha iyi sonuçlarla nasıl gerçekleştirilebileceği durumu incelenmiştir.

Bu incelemede kontrol yaklaşımları adı altında 5 farklı yeni kontrol yaklaşımı tasarım, modelleme ve uygulama ile ilgili detayları ile birlikte olmak üzere detaylı olarak açıklanmıştır. Daha sonra da bu kontrol tekniklerinin performansları yapılan simülasyonlar ile karşılaştırılmıştır. Uyumlu kontrol parametreleri ayarlama (aktif) yöntemleri; KFT frekans ile ölçülen dalga yüksekliğinin zaman serisinde bir analizini yapıp, baskın dalga frekansını belirler ve bu değeri kullanarak güç çekme ünitesi kontrol parametrelerini hesaplarlar. JOHNSWAP spektradan tanımlanan düzensiz dalga alanları aracılığı ile tahrik edilen tek serbestlik dereceli silindirik DEK sisteminin cevabı zaman uzayı modeli kullanılarak incelenmiştir.

Çizelge 4.1. DEK'in fiziksel özellikleri

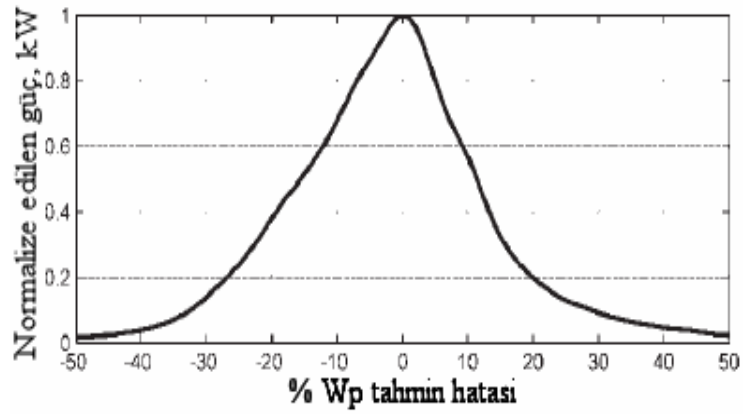
Parametre	Tanım	Değer
m_{dry}	Kuru kütle (ton)	1369.5
m_{add}	Toplam su kütlesi (ton)	377.36
M	Etkin ağırlık (ton)	1746.85
b_{net}	Etkin ıslaklık katsayısı (kN/s)	$b_{inf} + KR(s)$
k_{net}	Etkin yay katsayısı (kN/m)	1134.40

Çizelge 4.2. JOHNSWAP dalga enerji spektrum parametreleri

Değişken	Tanım	Dalga data set spektrasi							
		DS1	DS2	DS3	DS4	DS5	DS6	DS7	DS8
$H_{m_0} = 4\sqrt{m_0}$	Dalga yükseklik değeri(m)	1.5	1.5	2.0	2.0	4	4	6	6
$m_0 = S(f) \Delta f$	Sıfırıncı spektral moment(m ² s)	0.14	0.14	0.25	0.25	1	1	2.25	2.25
$E = \rho g m_0$	Enerji/yüzey alanı (kJ/m ²)	1.42	1.42	2.52	2.52	10.1	10.1	22.7	22.7
γ	JOHNSWAP Tepe noktası dikliği	1.0	3.3	1.0	3.3	1.0	3.3	3.3	6.0
T_e	Enerji periyodu(s)	7.57	7.89	7.57	7.89	8.22	8.59	11	11.26
ω_e	Enerji frekansı (rad/s)	0.86	0.86	0.86	0.82	0.78	0.74	0.57	0.56
T_p	Tepe noktası periyodu(s)	8.53	8.53	8.53	8.53	9.35	9.35	12.1	12.1
ω_p	Tepe noktası frekansı (rad/s)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.52	0.52

Çizelge 4.3. Herbir DS1-8 kullanılarak aktif ve pasif ayar teknikleri için oluşan sekiz düzensiz dalga alanından ortalama güç kazanımı (kW)

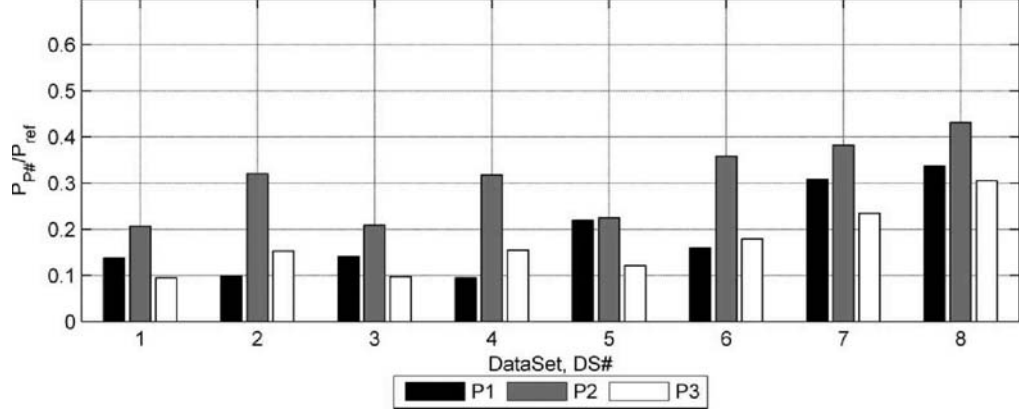
Ayar metodu		DS1	DS2	DS3	DS4	DS5	DS6	DS7	DS8	Genel ort.
P1	$P_{avr}(\bar{w})$	16	13	29	22	232	192	1756	2058	540
P2	$P_{avr}(\omega)$	24	42	43	74	238	432	2183	2639	709
P3	$P_{avr}(\omega_e)$	11	20	20	36	128	216	1339	1865	454
A1	$P_{avr}(\omega_{sl})$	39	57	69	101	356	575	3045	3473	964
A2	$P_{avr}(\omega_{tç})$	54	76	97	129	565	772	2719	2862	909
A3	$P_{avr}(\Delta T)$	29	34	52	61	280	409	2163	2413	680
Ref. Güç	P_{ref}^4	116	131	206	233	1057	1207	5708	6114	1845



Şekil 4.1. Dalga frekansı tahmin hatası durumunda güç eldesinde performans kaybı

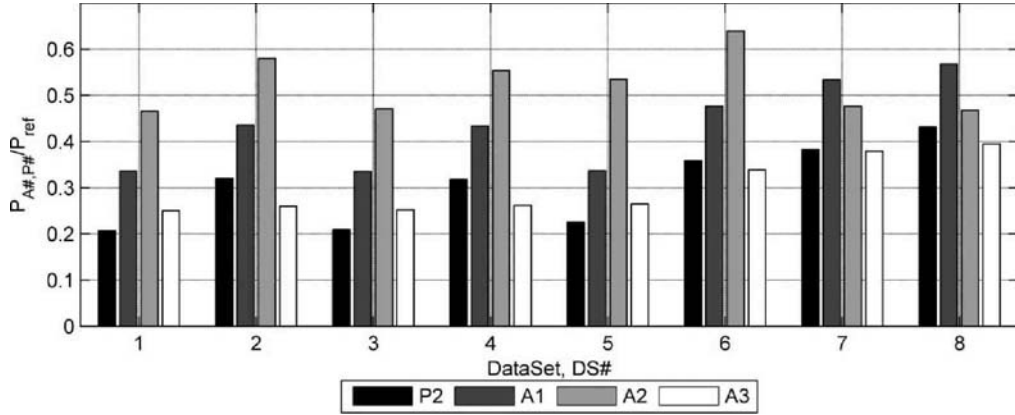
Dalga konumlarının dizisi içerisinde ana güç kazanımının değerleri üç pasif ve üç aktif kontrol metodu için incelenmiştir. İnceleme sonuçları düzensiz dalgalardan elde edilen gücün artırılmasında zaman serili analiz temeline dayanan kontrol tekniklerinin ciddi avantajlar sağladığını göstermektedir. En büyük güç kazanımı, yerel dalga periyodunun ölçümünden sağlanan dalga frekansının cihazın doğal frekansına sürekli ayarlanmasıyla elde edilir. Aktif kontrol sistemi kullanılarak dalga periyodu ile hız periyodu arasındaki

periyot farkını yok etmeye çalışan bir geleneksel kontrol tipi kullanılarak kontrol probleminin çözümü ve bu uygulamanın avantajları da sunulmuştur.



Şekil 4.2. Pasif ayar tekniği ile kontrol uygulamasının genel durumu (Tablo 4’de listelenen güç kazanımı)

Bu yöntem, pasif sistemlerden özellikle spektrum geniş bant aralığına sahip ise daha fazla enerji elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, bant genişliği azaldıkça ($\gamma > 3$ için JONSWAP spektrası) performans olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 4.3. Pasif (P2) ve tüm aktif kontrol tekniklerinin genel performans durumu (Tablo 4’de listelenen güç kazanımı)

Bununla birlikte, genel olarak güç elde performansı düşük olmasına rağmen, ileri zaman şartlarındaki değişken değerlerinin bilinmesi zorunluluğu olmadığından uygulama açısından en kolay teknik olarak görünmektedir. Bütün simülasyonlarda, ne enerji

kaybını ne de zaman gecikmesi dikkate alınmadığından, elde edilen değerler maksimum teorik değerler olarak ele alınmalıdır. Böylece güç kazanımının tam değerleri, her bir yöntemin performansının üst limitini oluşturur. Güç çekme ünitesinin anormal çalışması veya performansındaki düşme, sistemden elde edilen güç değerlerinde düşmeye sebep olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma genel bir tek serbestlik dereceli dalga enerjisi konvertörünün dalga frekansındaki bir değişiklik durumlarında performans incelemesini ve bu şartlarda performansı artırmak amaçlı kontrol sistemi geliştirilmesini ve uygulanmasını ele almıştır. Performans, cihaz dalga frekansındaki rezonansına birebir bağlıdır. Sistem rezonans şartlarında çalıştığında enerji kazanımı maksimum değerlerine ulaşmaktadır.

Bu çalışma yukarı-aşağı hareketli bir DEK'in zaman uzayında modelini ele almış, düzenli ve düzensiz dalgalar içerisindeki kontrol problemini incelemiştir. Yapılan çalışma ile öncelikle kontrol problemin detayları ele alınmış, daha önceki yapılan çalışmalarla ilgili gelişmeler ortaya konmuş, bu alanda yapılan çalışmalarla yeni kontrol teknikleri geliştirilmiş ve geliştirilen teknikler sonuçları ve uygulamaya yönelik tavsiyelerle birlikte sunulmuştur.

Çalışma ile tek serbestlik dereceli aşağı-yukarı hareketli bir dalga enerjisi konvertörü kontrol çalışması gerçekleştirilmiş ve bu çalışma ile aktif ve pasif olmak üzere 6 farklı kontrol uygulamasının karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışma daha önce rapor edilen birisi hariç diğer 5 yeni kontrol tekniğini de tanıtmaktadır. Bu yeni teknikler hem teorik detayları ile ele alınmış hemde uygulamadaki durumları tartışılmış, sonuçlarda ise bu tekniklerin performansları karşılaştırılmıştır. Tarifli yapılan 5 teknikten her birisi farklı kontrol bilgi girişlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Tekniklerin önemli bir yanı ise, bu tekniklerin her birisinin diğerine göre biraz daha az önceden bilinmesi gereken bilgiye ihtiyaç duymasıdır. Son kontrol tekniği ise özellikle hiçbir önceden bilinmesi gereken bilgiye gerek duyulmayan bir teknik olması sebebi ile de oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Alister G. ve Ngoc L., 2008. “Wave Energy Conversion”, <http://www.ipenz.org.nz/conventionCD/Documents/Alister-Gardiner-presentation.pdf>
- Anderson C G, 1985. “**First Assessment of the Magnetic-Hydrostatic Main Bearing Proposed for the Duck Wave Energy Converter**”, PhD Thesis, Edinburgh University, November.
- Anonymous , 1996. http://www.uni-leipzig.de/~grw/lit/texte_099/50__1996/50_1996_active-dateien/image004.gif
- Anonymous, 2007a. “Devices in the MEC”.
http://stage.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/Wave_devices.htm
- Anonymous, 2007b. <http://www.meew.gov.mv/energy/images/wave/img4.jpg>
- Anonymous, 2007c. Ocean Wave Energy.
<http://www.malibuwater.com/OceanWaveEnergy.html>
- Anonymous, 2007d. “Solar and low energy architecture and design”
<http://www.solarenergyltd.net/Solar%20and%20Low%20Energy%20Architecture%20and%20Design.htm>
- Anonymous,20007e. <http://www.sperboy.com/>
- Anonymous, 2008. <http://www.soton.ac.uk/business/images/OPillus.JPG>
- Babarit, A. Duclos, G. ve Clement, A.H. 2004. “**Comparison of latching control strategies for a heaving wave energy device in random sea**”, Applied Ocean Research, 26, pp. 227-238
- Bergdahl, L, 1979. “The Swedish Wave Energy Research Programme”, **Proceedings of a Symposium on Wave Energy Utilisation**, Gothenburg,Sweden.
- Bergdahl, L, 1992. “Review of Research in Sweden”, **Proceedings of a Workshop on Wave Energy R&D**, Cork, Ireland.
- Bernhoff, H. Leijon M., 2006. “Conversion of wave energy to electricity”,
http://www.shipgaz.com/magazine/issues/2004/18/1804_artikel2.php.
- Bjarte-Larsson, T. ve Falnes, J. 2006. “Laboratory experiment on heaving body with hydraulic power take-off and latching control”, **Ocean Engineering**, 33, pp.847-877.
- Black, J.L., 1975. “Wave forces on vertical axisymmetric bodies”, **J. Of Fluid Mechanics**, 67(2):369-376.
- Bracewell, R. H. 1990. “**Frog and PS Frog:a study of Two Reactionless Ocean Wave Energy Converters**” PhD. Thesis, Lancaster University, September.
- Budal, K. Ve Falnes J, 1980. “**Interacting point absorbers with controlled motion**”, Power from sea waves, Academic Pres, London, pp. 381-399.
- Budal, K. ve Falnes, J. 1975. **A resonant point absorber of ocean-wave power. Nature**, 256, 478–479.
- Coventry University, 1986. “**The Developmennt of the circular SEAClam**”, Coventry Polytechnic and SEA Energy Associates, ETSU Report No. WV-1676-P1.
- Curan, R, Raghunathan, S, ve Whittaker, T.J.T. 1995. “The Influence of Flow Profile on the Islay Wells Turbine Performance”, **Proceedings of the Second European Wave Power Conferance**, Lisbon, Portugal, 8-10 Nowember.

- Cummins, W. F. 1962. **The impulse response function and ship motions.** *Schiffstechnik*, 9(47), 101–109.
- Dennis, J. E. Jr. ve Schnabel, R. B. 1983. **Numerical methods for unconstrained optimization and nonlinear equations** (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA).
- Demirbilek, Z. ve Vincent, C. L., 2002. Coastal engineering manual, (Coastal and Hydraulics Laboratory – Engineer Research and Development Center Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi) EM1110-2-1100, Part II, Chapter 1, Water wave mechanics, pp. II.1.59–II.1.98, available from http://chl.erdc.usace.army.mil/media/1/7/8/CEM_Part-II_Chap-1.pdf
- DWP, 1996. **“Hansthalm Phase 2B. Offshore Energy Test 1994-1996”**, Danish Wave Power, Copanhangen, Denmark.
- Edinburgh University, 1979. **“Wave energy-Salter’s Duck Fifth Year Report”**, Edinburg Wave Power Project, ETSU Report Number WV 1512, Parts 4A-4C, November.
- Edinburg Wave Power Project, 1987. **Solo duck linear analysis.** A report to the Wave Energy Steering Committee, Edinburg University, Edinburg.
- Eidsmoen, H., 1996. **Simulation of a slack-moored heavingbuoy wave energy converter with phase control**, (Division of Physics, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway).
- Eidsmoen, H., 1998. **“Tight-moored amplitude-limited heaving-buoy wave-energy with phase control**, Applied Ocean Research, 20, pp. 157-161.
- ENTEC., 2005. **Marine energy challenge, marine energy glossary**, *The Carbon Trust*, July.
- ETSU, 1985. **“The Department of Energy’s R&D Programme 1974-1983”**, ETSU Report R-26, March.
- ETSU, 1994. **“An Assessment of Renewable Energy for the UK”**, Report R-82, ETSU.
- Evans, D.V. ve ark., 1979. **“Submerged cylinder wave energy device theory and experiments”**, Applied Ocean Research, 1(1):3-12.
- Falnes, J ve Budal, K., 1978. **“Wave-Power conversion by point absorbers”**, Norwegian Maritime Research, No. 4, pp. 2-11.
- Falnes, J., 2002. ***Ocean waves and oscillating systems***, (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
- Falnes, J., 1993. Optimum control of oscillation of wave energy converters. Annex report B1: device fundamentals/ hydrodynamics, wave energy converters: generic technical evaluation study, **Commission of European Communities**, contract no: JOU2-0003.
- Falnes, J., 1997. Principles for capture of energy from ocean waves phase control and optimum oscillation. Department of Physics, NTNU, N-7034 Trondheim, Norway (available online at: <http://www.phys.ntnu.no/instdef/prosjekter/bolgeenergi/phcontrl.pdf>)
- Folley, M S, 1991. **“The Design of Point Absorbing Wave Energy Converters”**, PhD Thesis, Lancaster University, September.
- French, M.J., ve Bracewell, R., 1985. **“Heaving Point Absorbers Reacting Against an Internal Mass”**, **IUTAM Symposium Conferance Proceedings**, pp 247-255, Lisbon, Portugal.

- French, M.J., & Hurdle, D.P., 1982. **“Research on Wave-Energy Conversion Using Small Bodies Moving in Surge (‘Flounder’)”** Report for SERC., 1982.
- French, M.J., 1991. “PS Frog Mk 2: a Promising Design of Wave energy Converters”, **Wave Energy Steering Committee**, 23 August.
- Fry, R ve Jeffery E.R., 1979. **“Tank trials of model Kaimei”**, CEGB Laboratory Note, R/M/N1072.
- Heath T., 2008. “Realities of Wave Technology”, <http://www.wavegen.co.uk/pdf/art.1727.pdf>.
- Henderson, R. 2006. **Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter.** *Renew. Energy*, 31(2), 271–283.
- Holmes, B, ve ark., 1995. “1:25 Scale Testing of The Azores Pilot Plant”, **Proceedings of the Second European WavePower Conferance**, Lisbon, Portugal, 8-10 Nowember.
- Hoskin, R.E. ve Nichols, N.k., 1986. ”Latching Control of a Point Absorber”, **3rd International Symposium on Wave, Tidal, OTEC, and Small Scale Hydro Energy**, Brighton, England, 14-16 May.
- Hotta, H, ve ark., 1995. “On the Open Sea Testing of a Prototype Device of a Floating Wave Power Device: Mighty Whale”, **Proceedings of the Second European Wave Power Conferance**, Nowember.
- Hotta, H, 1995. “R&D on Wave Power in Japan”, **Proceedings of the Second European Wave Power Conferance**, Lisbon, Portugal, 8-10 Nowember.
- Jacobsen, E. ve Lyons, R. 2003. The sliding DFT. *IEEE Signal Process. Mag.*, 20(2), 74-80.
- Kofoed, J P, ve ark., 1998. “Wave Dragon – a Slack Moores Wave Energy Converter”, **Third European Wave Energy Conferance**, Patras, Greece, September.
- Korde, U. A. 1999. **Efficient primary energy conversion in irregular waves.** *Ocean Engng*, **26**, 625–651.
- Korde, U. A. 1999. **Efficient primary energy conversion in irregular waves.** *Ocean Eng.*, 1999, 26, 625–651.
- Korde, U. A., 2002. Latching control of deep water wave energy devices using an active reference, *Ocean Engineering*, **29**, 1343–1355.
- Korde, U.A., 1999. **“On providing a reaction for efficient wave energy absorption by floating devices”**, *Applied Ocean REsearch*, 21, pp. 235-248.
- Korde, U.A., 2001. **“Phase control of floating bodies from an on-board reference”**, *Applied Ocean Research*, 23, 251-262.
- Korde, U.A., 2003. **“Systems of reactively loaded coupled oscillating bodies in wave energy conversion”**, *Applied Ocean Research*, 25, pp. 79-91.
- Korsmeyer, F. T., Bingham, H. B., ve Newman, J. N. 1999. **TiMIT – A panel method for transient wavebody interactions.** *Research Laboratory of Electronics*, (MIT Press, Cambridge, MA).
- Kristiansen, E. ve Egeland, O. 2003. Frequency dependent added mass in models for controller design for wave motion damping, **Sixth IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft**, September 2003, University of Girona, Spain.
- Lancaster University, 1988. **“Design Study of the Engineering of a Reactionless Wave Energy Converter Buoy Working in Pitch and Surge (PS Frog)”**, ETSU Report on Contract Number E/5A/CON/1681/1852.

- Lee, C.-H. ve Newman, J. N. 2005. Computation of wave effects using the panel method. *Numerical models in fluid-structure interaction* (Ed. S. K. Chakrabarti), off system may, in certain sea conditions, entail 2004, to be published 2005 (WIT Press, Southampton, reversing the direction of power flow so that energy UK).
- Levi, E. C. 1959. **Complex-Curve Fitting**. *IRE Trans. on Autom. Control*, 1959, **AC-4**, 37-44.
- Lockett, F.P, 1991. **“The CLAM Wave Energy Converter”**, *I.Mech. E. Seminar on Wave Energy*, 28 November.
- Longuet-Higgins, M.S., Cartright, D.E. ve Smith, N.D., 1963. “Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy”, **Proceedings of a Conference held Easton**, Maryland, 1961, In *Ocean Wave Spectra*, Prentice Hall, pp. 111-135.
- Matas, A, 1992. **“Project OLAS-2000 Wave Energy in Spain”**, Proceedings of a workshop on Wave Energy R&D, Cork, Ireland, 1-2 October.
- MATLAB, 2005. version 7.0 (R14), SIMULINK version 6.1 (R14SP1), **The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive**, Natick, Massachusetts, 01760-2098, USA.
- McAlphine, 1981. **“Final Report on the Optimisation of the Bristol Submerged Cylinder Wave Energy Device”**, Sir Robert McAlphine & Sons Ltd., ETSU Report Number WV 1630 Parts 3a to 3c, December.
- Mc Alphine, 1982. **“Supplementary Report on the Optimisation of the Bristol Submerged Cylinder Wave Energy Device”**, Sir Robert McAlphine & Sons Ltd., ETSU Report Number WV 1630-P5, December.
- McCabe, A.P., Bradshaw, A. ve Widden, M.B., 2005. **“A time-domain model of a floating body using transforms”**, **6th European Wave and Tidal Energy Conference**, University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- McCabe, A.P., Stallard, T.J., Baker, N.J., Yavuz, H., 2007. **“Estimation of the responses of axisymmetric bodies in spread irregular waves”**, *Ocean Engineering* 34(10), pp. 1371-1382.
- McCormick, M.E., ve ark., 1998. **“Potable Water and Electricity Production by a Hinged-Barge Wave Energy Conversion System”**, paper provided by R.P. McCabe.
- Mıstıkoğlu S., 2001. **“Bilgisayar destekli seygar değstirilebilir uzunlukta dalgakıran tasarımı”**, **IX.cu Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu**, Hatay, Cilt 2, pp. 680-688.
- Miyazaki, T, 1995. **“Japanese Wave Energy Devices”**, **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Morris B., 2007. “Wave power: Archimedes Wave Swing”, <http://polizeros.com/2007/04/27/>
- Newman, J. N., 1999. *Marine hydrodynamics*, **9th edition**, 1999 (MIT Press, Cambridge, MA).
- Newman, J.M ve Mei C.C., 1979. “Wave power extraction by Floating bodies”, **Symposium on Ocean Wave Energy Utilization**, Gothenburg.
- Nielsen, K ve ark., 1995. “Hansthalm Offshore Wave Energy Experiment”, **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November.

- Nichols, N.K., ve ark., 1991. "Optimal Phase Control of Wave Power Devices", **Proceedings of a Seminar on Wave Energy, Institute of Mechanical Engineers**, London, UK, 28th November.
- Nolan, G.A., Ringwood, J.V., Leithead, W.E. ve Butler, S., 2005. "Optimal Damping Profiles for a Heaving Buoy Wave Energy Converter", in: **Proc. The Fifteenth International Offshore and Polar Engineering Conference**, (Seoul, Korea, June 2005), pp. 19-24.
- Nolan, G., Cathain, M. O., Murtagh, J., ve Ringwood, J. V., 2003. Modelling and simulation of the power take-off system for a hinge-barge wave energy converter. **Fifth European Wave Energy Conference**, University of Cork, Ireland, 38–45 September.
- Olgive, T.F., 1963. "First and second order forces on a cylinder submerged under a free surface", *J.of Fluid Mechanics*, 16:451-472.
- Osanai, S, ve ark., 1995. "Feasibility Tests of New Pendular Type Wave Energy Conversion System", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Örer, G. ve Özdamar, A., 2007. "An experimental study on the efficiency of the submerged plate wave energy converter", *Renewable Energy* 32, pp. 1317-1327.
- Özdamar, A., Gürsel, K.T., Örer, Pekbey, G.Y., 2004. "Investigation of the potential of wind-waves as a renewable energy resource: by the example of Cemse-Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, pp.581-592.
- Özger, M., Altunkaynak, A. ve Şen, Ş. 2004. "Statistical investigation of the expected wave energy and its reliability", *Energy Conversion and Management* 45, pp. 2173-2185.
- Phelan, R. M. 1977. **Automatic control systems**, (Cornell University Press Ithaca, New York).
- Peatfield, A.M., 1991. "The Economic Viability of the Circular Clam for Offshore Wave Energy Utilisation", **I Mech.E. Seminar on Wave Energy**, 28 November 1991.
- Pierson W.J. ve Moskowitz, L., 1964. "A Proposed Spectral Form for Fully Developed Sea based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii", *J.Geophys. Research*, Volume 69(24), 1964, pp 5181-5190.
- Ravindran, M, ve ark., 1995. "Indian Wave Energy Programme: Progress and Future Plans", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference** Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Rodrigues, G. R. ve Soares, C. G. 2001. **Correlation between successive wave heights and periods in mixed sea states**. *Ocean Eng.*, 2001, 28, 1009–1030.
- Salter, S., 1993. "Changes to the 1981 Design of Spine-based Ducks", **Proceedings of the First European Wave Power Conference**, Edinburgh, UK, 21-24 July, 1993.
- Salter, S.H., Jeffrey, D:C., Taylor, J.R.M., 1976. "The architecture of nodding duck wave power generators", *Naval Architect*, January 1976, pp. 21-24.
- Salter S.H., ve Rampen, W.H.S., "The Wedding Cake multi Eccentric Radial Piston Hydraulic Machine with Direct Computer Control of Displacement", pp 47-64, **Proceedings of 10th International Conference**, on Fluid Power, Brugge, Holland, April 1993.

- Salter, S, ve Lin, C-P, 1995. "The Sloped IPS Wave Energy Converter", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal 8-10 November, 1995.
- Salter, S, ve Taylor, J, 1995. "The Design of a High Speed Stop Valve for Oscillating Water Columns", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Shwater Ltd, 1992. "**Bristol Cylinder Wave Energy Device; Consultancy to Review of Wave Energy**", Shwater Ltd., ETSU Report Number WV 1692, 1992.
- Spiegel, M. R. 1965. *Schaum's outline of theory and problems of Laplace transforms*, 1965 (Schaum Publishing, New York, USA).
- Thorpe, T.W., 1999. "**A Brief Review of Wave Energy – A Report Produced for The UK Department of Trade and Industry**", ETSU-R120, May 1999.
- Thorpe, T.W., 1993. "A Methodology for Reliability, Economic and Environmental Assessment of Wave Energy", **Proceedings of the 1993 European Wave Energy Symposium**, Edinburgh, Scotland, 21-24 July 1993.
- Thorpe, T W, 1995. "**An Assessment of the ART OSPREY Wave Energy Device**", ETSU Report Number R-90, October 1995.
- Thorpe, T.W., 1998. "**An Overview of Wave Energy Technologies**", AEAT-3615 for the Marine Foresight Panel, May 1998.
- Thorpe, T.W., 1993. "**Methodology for Reliability and Economic Assessment**", in wave Energy Converters: Generic Technical Evaluation Study, Danish Wave Power, 1993.
- Thorpe, T.W., 1998. "**Wave Energy Potential in the UK**", Report Number AEAT-3028 for the DTI, February 1998.
- Tjugen, K J, 1995. "TAPCHAN Ocean Wave Energy Project at Java, Updated Project Status", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Tucker, M. J. ve Pitt, E. G., 2001. **Waves in ocean engineering**. *Elsevier Ocean Engineering Book Series*, 2001, 5.
- Watabe, T., 1995. "New Pendulum and Its Field Test", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- White, P, 1989. "Developments in Norwegian Wave Energy", **Proceedings of a Conference on Wave Energy Devices**, Coventry, UK, 1989.
- Whittaker, T.J.T. 1995. "Implications of Operational Experiences of the Islay OWC for the Design of Wells Turbines", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Whittaker, T.J.T. 1995. "Islay European Shoreline Wave Power Plant, the Design of a Modular System", **Proceedings of the Second European Wave Power Conference**, Lisbon, Portugal, 8-10 November, 1995.
- Whittaker, T J T, ve Stewart, T P, 1993. "An Experimental Study of Nearshore and Shoreline Oscillating Water Columns with Harbors", **Proceedings of the First European Wave Power Conference**, Edinburgh, UK, 21-24 July, 1993.
- Wist, H. T., Myrhaug, D., ve Rue, H., 2004. **Statistical properties of successive wave heights and successive wave periods**. *Appl. Ocean Res.*, 2004, 26, 114–136.

- Yavuz, H., Bradshaw, A., Taylor, C. J., ve McCabe, A. P., 2005. **Power optimisation for 1 DOF WECs in regular seas with dynamically changing wave frequency**, **WPC Note 3**, August 2005, Eng. Department, Lancaster University, Lancaster, UK.
- Yavuz, H. ve Bradshaw, A., 2004. **Power optimisation for 1 DOF WECs in regular seas**, **WPC Note 1**, **June 2004**, Eng. Department, Lancaster University, Lancaster UK.
- Yavuz, H., McCabe, A.P., Aggidis, G.A., Widden, M.B., 2006. "Calculation of the performance of resonant wave energy converters in real seas" Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M, **Journal of Engineering for the Maritime Environment**, 220(M3), pp 117-128.
- Yavuz, H., McCabe, A.P., Aggidis, G.A., Widden, M.B., 2007. "Time series analysis based adaptive tuning techniques for a heaving wave energy converter in irregular seas" Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A, **Journal of Power and Energy**, 221(1), pp 77-90.
- Zhi, Y, ve ark., 1995. "Power Output of an Onshore OWC Wave Power Station at Dawanshan Island", *Proceedings of the Second European Wave Power Conferance*, Lisbon, Portugal, 8-10 November.
- Zhu, Y., Zhou, H., Gu, H., ve Wang, Z. 1999. **Fixed-point error analysis and efficient array processor design of two-dimensional sliding DFT**. *Signal Process.*, 1999, 73, 191–201.

TEŞEKKÜR

Tez alışmamın başından son anına kadar göstermiş olduğu sabır ve sınırsız yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Y. Doç. Dr. Hakan YAVUZ'a teőekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca derslerini ve yardımlarını almış bulunduğum Sayın Y. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOğLU, Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN ve Sayın Y. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR hocama yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1983 Yılında Erzincan'da doğdum. İlköğrenimimi Erzincan'da tamamladım. Lise öğrenimimin bir kısmını Erzincan bir kısmını ise İstanbul (Şile)'de sürdürüp tamamladım. 2001 Yılında yüksek öğrenimime başladığım Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi'nden 2005 yılında Makina Mühendisi Ünvanı ile mezun oldum. Aynı yıl Nur Elektronik (Adana)'te çalışmaya başladım. Yine aynı yıl TEMSA AŞ (Taşeron firma olan SONCAĞ çalışanı olarak)'de meslek hayatıma 2007 sonlarına kadar devam ettim.