

38435

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

38435

**TRABZON KIYILARINDA DENİZ KAFESLERİNE ETKİYEN
ÇEVRESEL KUVVETLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BALIK. TEKN. MÜH. : BÜLENT VEREP

Ocak - 1995

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK UNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MUHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MUHENDİSLİĞİ PROGRAMI


TRABZON KIYILARINDA DENİZ KAFESLERİNE ETKİYEN

ÇEVRESEL KUVVETLER

BALIK. TEKN. MUH. : BÜLENT VEREP

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Balıkçılık Teknolojisi Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02.01.1995
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 27.01.1995

Tezin Danışmanı : Doç. Dr. H.Fehmi DURUKANOĞLU 

Jüri Uyesi : Doç. Dr. Ertuğ DUZGUNEŞ 

Jüri Uyesi : Yrd. Doç. Dr. Ercan KÜSE 

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN 

Ocak - 1995

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

Son yıllarda, deniz kafeslerinde balık yetiştiriciliğinin yaygınlaşmakta olduğu Doğu Karadeniz kıyılarında, deniz kafeslerini etkileyebilecek çevresel koşulların belirlenmesi, gerek kafeslerin yapısal sağlamlığı ve gerekse yetiştirilen su ürünleri açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Trabzon kıyılarında meteorolojik ve oşinografik koşullar göz önüne alınarak, deniz kafeslerinin denizde kullanım aşamalarında karşı karşıya kalabileceği ekstrem, ortalama ve azami çevresel koşulların belirlenmesi ve tespit edilen rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel elemanların deniz kafesleri üzerinde oluşturdukları kuvvetler ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca gerekli olan her konuda yardımlarını ve desteğini aldığım sayın hocam Doç.Dr. H.Fehmi DURUKANOĞLU'na teşekkür etmeyi bir görev bilirim.

Bunun yanında, bugüne kadar yetişmemde emekleri olan tüm hocalarıma ve maddi, manevi her konuda desteklerini her zaman hissettiğim aileme teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca maddi olarak destek almış olduğum Fen Bilimleri Enstitüsüne bilhassa müteşekkirdiğimi belirtirim.

Ocak 1995

Bülent VEREP

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ | II |
| İÇİNDEKİLER | III |
| ÖZET | VI |
| SUMMARY | VII |
| ŞEKİL LİSTESİ | VIII |
| TABLO LİSTESİ | XII |
| 1. GENEL BİLGİLER | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Deniz Kafesleri | 3 |
| 1.2.1. Deniz Kafeslerinin Yapısal Özellikleri | 4 |
| 1.2.2. Kafes Tipleri | 6 |
| 1.2.2.1. Kıyılarda ve Açıkdenizlerde Kullanılan Modern Deniz Ağ Kafesleri | 7 |
| 1.3. Deniz Kafeslerini Etkileyen Çevresel Kuvvetler | 12 |
| 1.3.1. Deniz Dalgaları | 16 |
| 1.3.1.1. Dalgaların Genel Özellikleri | 17 |
| 1.3.1.2. Dalgaların Sınıflandırılması | 22 |
| 1.3.1.3. Dalga Teorileri | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 1.3.1.3.1. Lineer Dalga Teorisi | 32 |
| 1.3.2. Deniz Akıntıları | 34 |
| 1.3.3. Rüzgarlar | 38 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR | 42 |
| 2.1. Yöntem | 43 |
| 2.1.1. Dalga Kuvvetlerinin Belirlenmesi | 43 |
| 2.1.1.1. Morison Metodu | 46 |
| 2.1.1.2. Froude-Krylov Metodu | 49 |
| 2.1.2. Rüzgar ve Akıntı Kuvvetlerinin Belirlenmesi | 52 |
| 2.1.2.1. Rüzgar Kuvvetlerinin Belirlenmesi | 54 |
| 2.1.2.2. Akıntı Kuvvetlerinin Belirlenmesi | 55 |
| 2.2. Veriler | 57 |
| 2.2.1. Dalga Verilerinin Belirlenmesi | 57 |
| 2.2.2. Hidrodinamik Katsayıların Belirlenmesi | 59 |
| 2.2.3. Rüzgar Verilerinin Tespiti | 65 |
| 2.2.3.1. Dizayn Rüzgar Hızlarının Tespiti | 65 |
| 2.2.3.2. Deniz Kafesleri İçin Etkin Rüzgar Yönlerinin Belirlenmesi | 65 |
| 2.2.4. Trabzon Kıyılarında Dizayn Rüzgar Hızları ve Etkin Rüzgar Yönleri | 66 |
| 2.2.5. Akıntı Verilerinin Belirlenmesi | 71 |
| 3. BULGULAR | 72 |
| 3.1. Dalga Kuvvetleri | 72 |
| 3.1.1. Morison Metoduna Göre Belirlenmiş Dalga Kuvvetleri.. | 73 |
| 3.1.2. Froude-Krylov Metoduna Göre Belirlenmiş Dalga Kuvvetleri | 80 |
| 3.1.3. Morison ve Froude-Krylov Metodlarının Karşılaştırılması | 86 |

| | |
|--|-----|
| 3.2. Trabzon Kıyılarında Rüzgar ve Akıntı Nedeniyle Kafeslere Etki Eden Kuvvetler | 93 |
| 3.2.1. Rüzgar Kuvvetleri | 93 |
| 3.2.2. Akıntı Kuvvetleri | 96 |
| 4. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME | 100 |
| 5. SONUÇLAR | 105 |
| 6. ÖNERİLER | 109 |
| 7. KAYNAKLAR | 111 |
| 8. ÖZGEÇMİŞ | 116 |

ÖZET

Bu çalışmada, Trabzon kıyılarında balık yetiştiriciliğinde kullanılan deniz kafeslerini etkileyen çevresel parametrelerin tespiti ve bu parametrelerin kafesler üzerinde oluşturdukları kuvvetlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çevresel parametrelerden rüzgar, akıntı ve dalgaların öncelikle maksimum, ortalama ve minimum değerleri belirlenmiş daha sonra ise kafesler üzerinde oluşturdukları kuvvetler tesbit edilmiştir.

Araştırmada Trabzon kıyılarında görülebilecek en yüksek dalgalar 10,25 ve 50 yılda bir oluşmak üzere 10.02 m, 11.38 m ve 12.39 m olduğu ve bu dalgaların Trabzon kıyılarında kullanılan deniz kafeslerinin silindirik yakaları üzerinde oluşturacakları birim dalga kuvvetleri sırasıyla 1284 N/m, 1536 N/m ve 1644 N/m olarak bulunmuştur.

Trabzon kıyılarında en hızlı rüzgarların hakim yönü WNW olmasının yanında, deniz kafesleri açısından dizayn rüzgar hızının 25.92 m/sn olduğu ve bu rüzgar nedeniyle kafes fribord ağı (balıkların sığrayıp kaçmasını önleyen) ve katı yapıları üzerinde oluşacak kuvvetlerin 3.20 kg ve 64.88 kg olacağı tesbit edilmiştir. Rüzgar etkenli olmak üzere oluşacak en etkili deniz yüzey akıntılarının 0.52 m/sn hızında olacağı ve bu akıntıların deniz kafeslerinin ağ torbaları üzerinde oluşturacakları kuvvetlerin 448 kg/m² olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etkiler, Dalga kuvvetleri, Deniz kafesleri, Hidrodinamik yükler, Açık deniz balık çiftçiliği.

SUMMARY

Environmental Forces on Marine Cages on Trabzon Coasts.

The aim of this study to determine environmental parameters which may effect the marine cages used in fish aquaculture on Trabzon coasts and forces produced by environmental parameters. Firstly, the maximum, mean and minimum values of wind, current and waves have been determined as environmental parameters and their effects on cages.

In this research, the heighest wave heights which may occur in every 10, 25 and 50 years on Trabzon coasts were found as 10.02 m, 11.38 m and 12.39 m respectively. Then the biggest unit wave forces on the cylindrical cage collars on Trabzon coasts are estimated as 1284 N/m, 1536 N/m and 1644 N/m respectively.

In Trabzon coasts, the direction of dominant fastest winds were determined as WNW and design wind velocity was as 25.92 m/sn. The forces on freebord cage net and solid structure caused by winds was found as 3.20 kg/m² and 64.88 kg/m² respectively. The fastest wind-driven currents sea surface current was found as 0.52 m/sn and the forces caused by these currents on net bags of cage was found as 448 kg/m².

Key words: Environmental impacts, Wave forces, Marine cages, Hydrodynamic loads, Offshore fish farming.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 1. | Deniz kafesi şekilleri | 4 |
| Şekil 2. | Bridgestone Hi-Seas balık kafesi | 8 |
| Şekil 3. | Polarcirkel Gigante balık kafesi | 8 |
| Şekil 4. | Dunlop Tempest balık kafesi | 9 |
| Şekil 5. | Farmocean 3500 deniz kafesi | 10 |
| Şekil 6. | Wavemaster deniz kafesi | 10 |
| Şekil 7. | Aquasystem 104 | 11 |
| Şekil 8. | Seacon | 11 |
| Şekil 9. | Dalgıç kafesler | 12 |
| Şekil 10. | Akıntıların ağlar üzerindeki etkisi | 14 |
| Şekil 11. | Basit bir sinüoidal deniz dalgası | 19 |
| Şekil 12. | Deniz yüzeyinden alınmış dalga kaydı | 20 |
| Şekil 13. | Dalga periyodu spektrumu | 21 |
| Şekil 14. | Dalga yüksekliği olasılık dağılımı | 22 |
| Şekil 15. | Periyotlarına göre deniz dalgaları | 23 |
| Şekil 16. | Derin ve sığ sularda su partikül yörüngelerindeki değişimler | 24 |
| Şekil 17. | Rüzgar dalgaları | 27 |
| Şekil 18. | İç dalgalar | 28 |
| Şekil 19. | Duran dalganın genel şekli | 29 |
| Şekil 20. | Lineer teoriye göre su partiküllerinin derin su, orta su ve sığ suda izledikleri yörünge | 34 |
| Şekil 21. | Rüzgar gülü | 39 |
| Şekil 22. | Deniz ağ kafesi ve kesiti | 42 |
| Şekil 23. | Dikey bir silindire etkiyen dalga kuvveti | 47 |
| Şekil 24. | Yatay silindir | 51 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 25. | Trabzon'da en hızlı rüzgarların sonbahar mevsiminde yönlerine göre % esme frekansları | 67 |
| Şekil 26. | Trabzon'da en hızlı rüzgarların kış mevsiminde yönlerine göre % esme frekansları | 67 |
| Şekil 27. | Trabzon'da en hızlı rüzgarların ilkbahar mevsiminde yönlerine göre % esme frekansları | 68 |
| Şekil 28. | Trabzon'da en hızlı rüzgarların yaz mevsiminde yönlerine göre % esme frekansları | 68 |
| Şekil 29. | Trabzon'da en hızlı rüzgarların tüm yıl boyunca yönlerine göre % esme frekansları | 69 |
| Şekil 30. | Trabzon'da en hızlı rüzgarların şiddetleri ve yönlerine göre % esme frekansları | 70 |
| Şekil 31. | Trabzon'da genel olarak rüzgarların esme yönlerine bağlı olarak % esme frekansı | 71 |
| Şekil 32. | 10 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 75 |
| Şekil 33. | 25 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 75 |
| Şekil 34. | 50 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 76 |
| Şekil 35. | 10 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 78 |
| Şekil 36. | 25 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 78 |
| Şekil 37. | 50 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 79 |
| Şekil 38. | 10 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 80 |
| Şekil 39. | 25 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 80 |
| Şekil 40. | 50 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Morison metodu)..... | 81 |
| Şekil 41. | 10 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 83 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Şekil 42. | 25 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 83 |
| Şekil 43. | 50 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 84 |
| Şekil 44. | 10 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 85 |
| Şekil 45. | 25 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 85 |
| Şekil 46. | 50 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 86 |
| Şekil 47. | 10 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 88 |
| Şekil 48. | 25 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 88 |
| Şekil 49. | 50 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu)..... | 89 |
| Şekil 50. | Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 10 yılda bir oluşabilecek belirgin dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 90 |
| Şekil 51. | Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 25 yılda bir oluşabilecek belirgin dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 90 |
| Şekil 52. | Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 50 yılda bir oluşabilecek belirgin dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 91 |
| Şekil 53. | Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 10 yılda bir oluşabilecek ortalama dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 92 |
| Şekil 54. | Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 25 yılda bir oluşabilecek ortalama dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 92 |
| Şekil 55. | Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 50 yılda bir oluşabilecek ortalama dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 93 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 56. Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 10 yılda bir oluşabilecek maksimum dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 94 |
| Şekil 57. Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 25 yılda bir oluşabilecek maksimum dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 94 |
| Şekil 58. Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiş 50 yılda bir oluşabilecek maksimum dalga kuvvetlerinin karşılaştırılması | 95 |
| Şekil 59. Değişen ağ göz açıklıklarına göre rüzgar kuvvetleri | 104 |
| Şekil 60. Değişen ağ göz açıklıklarına göre akıntı kuvvetleri | 105 |

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

| | | |
|-----------|--|----|
| Tablo 1. | Trabzon kıyılarında görülebilecek derin deniz dalga yükseklikleri | 58 |
| Tablo 2. | Belirgin dalga yüksekliği ile diğer dalga parametreleri arasındaki ilişkiler | 59 |
| Tablo 3. | Trabzon kıyıları için genel dalga karakteristikleri | 59 |
| Tablo 4. | Trabzon için belirgin dalga yüksekliklerine tekbül eden Re ve KC sayıları | 62 |
| Tablo 5. | Trabzon için ortalama dalga yüksekliklerine tekbül eden Re ve KC sayıları | 62 |
| Tablo 6. | Trabzon için maksimum dalga yüksekliklerine tekbül eden Re ve KC sayıları | 63 |
| Tablo 7. | 1938-1994 yılları arası en hızlı rüzgarların maksimum, ortalama ve minimum değerlerinin esme yönlerine göre dağılımı | 69 |
| Tablo 8. | Trabzon kıyılarında görülebilecek maksimum, ortalama ve belirgin dalga yükseklikleri | 73 |
| Tablo 9. | Belirgin dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)..... | 74 |
| Tablo 10. | Ortalama dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)..... | 77 |
| Tablo 11. | Maksimum dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)..... | 79 |
| Tablo 12. | Froude-Krylov metoduna göre belirgin dalga kuvvetleri | 82 |
| Tablo 13. | Froude-Krylov metoduna göre ortalama dalga kuvvetleri | 84 |
| Tablo 14. | Froude-Krylov metoduna göre maksimum dalga kuvvetleri | 87 |

| | |
|---|-----|
| Tablo 15. Trabzon kıyılarında en hızlı rüzgarların kafeslerin dolgun yapıları üzerinde oluşturdukları kuvvet .. | 97 |
| Tablo 16. Trabzon kıyılarında en hızlı rüzgarların ağ göz açıklıkları 14,20 ve 25 mm olan ağlar üzerinde oluşturacakları kuvvetler | 98 |
| Tablo 17. Trabzon kıyılarında görülen en hızlı rüzgarların ağ göz açıklıkları 30, 40 ve 50 mm olan ağlar üzerinde oluşturacakları kuvvetler | 99 |
| Tablo 18. Trabzon kıyılarında oluşabilecek rüzgar orjinli deniz yüzey akıntıları | 100 |
| Tablo 19. Trabzon kıyılarında yüzey akıntıları nedeniyle ağ göz açıklıkları 14,20 ve 25 mm olan ağlar üzerinde oluşabilecek kuvvetler | 101 |
| Tablo 20. Trabzon kıyılarında yüzey akıntıları nedeniyle ağ göz açıklıkları 30,40 ve 50 mm olan ağlar üzerinde oluşabilecek kuvvetler | 102 |
| Tablo 21. Deniz kafeslerine etkiyen dalga kuvvetleri (Morison metodu) | 106 |
| Tablo 22. Deniz kafeslerine etkiyen dalga kuvvetleri (Froude-Krylov metodu) | 106 |
| Tablo 23. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerini etkileyen genel çevresel parametreler | 108 |
| Tablo 24. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerinde fribord ağ üzerinde oluşacak rüzgar kuvvetleri | 109 |
| Tablo 25. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerinde ağ torba üzerinde oluşacak akıntı kuvvetleri | 110 |
| Tablo 26. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerine etkiyen dalga kuvvetleri | 111 |

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğu Karadeniz bölgesinin ekonomik kalkınmasında uzun yıllardan beri önemli bir yer tutan balıkçılık, son yıllarda sanayileşme nedeniyle oluşan çevre kirliliği ve aşırı avcılık sebebiyle bir kriz içerisinde bulunmaktadır. Türkiye genelinde 1988 yılında 676 004 ton olan su ürünleri üretiminde Doğu Karadeniz bölgesinin payı % 76.1 iken bu oran 1991 yılında 364 661 ton üretim içerisinde % 39.71'e düşmüştür [1].

Balık üretimindeki bu açığı kapatmak için alternatifler aranmaya başlanmıştır. Bu amaçla sanayileşme sürecini yaşamış olan Avrupa, Amerika ve bazı Uzakdoğu ülkeleri insan kontrolü altında akarsu, göl ve deniz alanlarında çeşitli türlerde balık üretimi metodlarını kullanmışlardır. Türkiye'de de aynı sebeplerle insan kontrolü altındaki kültür balıkçılığı, karada nehir ve akarsu kenarlarında kurulan toprak veya beton havuzlardan oluşan balık çiftliklerinde üretim başlamış ve hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. Bunu daha sonra göllerde ve özellikle denizlerde bazı Salmon türleri ve deniz balıklarının deniz ağ kafeslerinde üretimi izlemiştir.

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ışığında, insanoğlu için vazgeçilmez bir protein kaynağı olan balık etini elde etmek amacıyla deniz ortamında çeşitli şekillerde kafeslerde balık üretimi hızla yaygınlaşmıştır. Dünya'da ve bölgemizde yaygınlaşmakta olan kafeslerde balık yetiştiriciliği, genellikle kıyılarda ve açık denizlerde gerçekleştirilmektedir.

Doğu Karadeniz bölgesinde, deniz ortamında ağ kafeslerde yaygın olarak Salmonidae familyasına ait, hayatlarının belli bir kısmını tatlı suda geçirip belli kısımları için de tuzlu su gerektiren Salmon türleri yetiştirme çalışmaları vardır. Karadeniz'in muhtelif yerlerinde akarsulardaki çiftliklerde uzun yıllardan beri yaygın olarak yetiştirilmekte olan Gökkuşuğu alabalığı (Onchorhynchus mykiss) tuzluluğu yaklaşık olarak %0 18-22 oranında olan Karadeniz suyuna adapte edilerek yetiştirilmektedir.

Deniz ortamında ağ kafeslerde balık yetiştiriciliği, sanayileşme ve nüfus yoğunluğu artışıyla deniz kıyılarının kirlenmesi ve balık yetiştiriciliğine elverişsiz hale gelmesi nedeniyle daha temiz sulara yada açık denize kaymaktadır. Ancak korumalı kıyı deniz alanlarından daha az korumalı kıyı açıklıklarına veya korumasız açık denizlere gidildikçe çevresel etkenlerin miktarı ve şiddeti de artmaktadır. Son yıllarda balıkçılık teknolojisinde Avrupa'da hızlı bir gelişme olup, oldukça ağır çevresel koşullara dayanıklı (5-10 m yüksekliğindeki dalgalar, 1.0-1.5 m/sn hızındaki akıntı ve 35 m/sn rüzgar hızları) okyanus tipi, pahalı olan balık yetiştirme kafesleri yada sistemleri yüksek teknoloji kullanılarak üretilmektedir [2].

Türkiye'de balıkçılık teknolojisi gelişme yolunda olup modern, dayanıklı ve pahalı balık yetiştirme kafesleri kullanılmaya başlanmıştır. Kafeslerin ve yetiştirilmekte olan balıkların ekonomik değeri küçük bir üretici için bile milyarları aşan meblağlarda rizikolar oluşturmaktadır. Bu nedenle kafeslerin yerleştirileceği yerin tesbitinde dip yapısı ve deniz suyunun biyolojik ve kimyasal özelliklerinin yanında bazı çevresel parametrelerin (rüzgar, akıntı ve dalgalar) belirlenmesi de önemli rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında özellikle deniz ağ kafeslerini etkileyen çevresel koşullardan rüzgar, akıntı ve dalgalar tarafından deniz kafeslerinin muhtelif elemanları üzerinde

oluşturulacak kuvvetler Doğu Karadeniz bölgesinde Trabzon kıyıları ve açıklarında oluşan çevresel koşullar göz önüne alınarak, çeşitli teoriler ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş formülasyonlar yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunların yanında bu alanda kullanılan teori ve uygulamalar arasında karşılaştırmalar yapılarak en uygun teoriler ve deniz kafeslerini etkileyebilecek çevresel kuvvetlerin pratik olarak belirlenmesine çalışılmıştır.

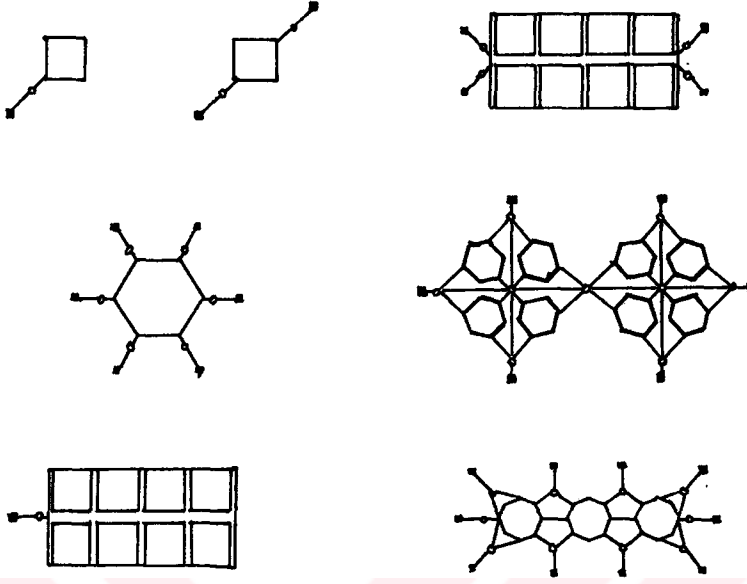
1.2. Deniz Kafesleri

Deniz ortamında balıklar için bir barınak oluşturmak amacıyla imal edilen deniz ağ kafeslerinde temel düşünce aynıdır. Deniz ağ kafesleri genellikle balıkların belirli bir ortamda kalmasını sağlayan ve kaçmasını önleyen bir ağ torba, ağ torbasını su yüzeyinde gergin bir şekilde asılı halde tutan ve ağ torbaya bir şekil veren taşıyıcı ve yüzdürücülerden oluşmaktadır. Bunun yanında servis yolları, yem ve korkuluk gibi diğer ekipmanlarda yine yüzdürücü yaka üzerinde çok çeşitli tiplerde düzenlenmiş ağ kafes friborduna (kafes üst yapısı) yerleştirilmiştir.

Deniz ağ kafesleri kıyı, körfez, lagün gibi girintili çıkıntılı deniz kenarlarında belli sığ su alanlarının etrafı çevrilerek oluşturulan, belirli bir yere sabitleştirilmiş çitle çevrili su ürünleri üretim alanları dışında deniz ortamında gerektiğinde yeri değiştirilebilen, ortam koşulları uygun olmadığı zaman daha uygun alanlara ulaştırılabilen avantajlı yapılardır. Deniz ağ kafesleri şekil itibarıyla bir çok şekillerde kare, dikdörtgen, altıgen ve yuvarlak şekillerde olabilmektedirler (Şekil 1).

Bunun yanında, deniz kafesleri tekli veya bir çok kafesin bir arada bağlanarak oluşturulan kafes filoları şeklinde de kullanılabilir. Deniz ağ kafeslerinin yapımında bugün tekniğin ilerlemesiyle oldukça kullanışlı ağ, yüzdürücü yaka ve ekipmanları kullanılmasının yanında

bazı ülkelerde hala geleneksel doğal malzemeler kullanılarak (bambu ve bitkisel lifler) kafesler yapılabilmektedir. Bugün



Şekil 1. Deniz kafesi şekilleri [3]

Türkiye dahil ileri ülkelerde, daha çok sentetik olarak imal edilmiş, otomatik makinelerde dokunan ağlar ve polyester, fiberglas, PVC, polipropilen, poliüretan ve plastik borular gibi tamamen sentetik ürünlerden ve galvanizli çelik gibi esnek olmayan yapılardan oluşan yakalar (kafese şeklini veren taşıyıcılar) kullanılmaktadır. Doğu Karadeniz ve Trabzon çevresinde kullanılan deniz kafesleri dairesel, çokgen ve kare şekillerinde olup, yapısal özelliklerini tamamen sentetik malzemeler oluşturmaktadır [4].

1.2.1. Deniz Kafeslerinin Yapısal Özellikleri

Bir ağ kafeste temel olarak yüzdürücüler, ağ kafes gövdesi, hizmet platformu, çeşitli türlerde ip ve halatlar, ağlar, sabitleştirici beton bloklar, gemici demirleri ve zincirler bulunur.

Ağ kafeslerin yüzdürülmesinde plastik ve madeni bidonlar, fiçiler, ahşap malzemeler, mantar yakalar ve köpük

(straför) gibi yüzdürücü malzemeler kullanılabilir. Ancak son yıllarda dünyada ve Trabzon çevresinde kullanılan deniz ağ kafeslerinde içi straförle doldurulmuş silindirik yapıda fiberglas (cam elyaf) veya PVC (Poli Vinil Klorür) borular kullanılmaktadır. Bunlardan fiberglas daha dayanıklı olduğu için yaygınlaşmıştır. Farklı çaplarda iç içe yerleştirilmiş yuvarlak fiberglas yüzdürücüler belli aralıklarla birbirlerine kuvvetlice birleştirilmişlerdir. Bu içi köpükle doldurulmuş taşıyıcılar ek yüzdürücü gerektirmemektedirler. Bunların yanında açıkdenizde kullanılan kafeslerde kullanılan taşıyıcı yakalar yada yüzdürücüler deniz ortamında petrol ulaştırılmasında kullanılan esnek ve çelik malzeme ile iç yapısı desteklenmiş oldukça pahalı yapılardır. Esnek olmaları nedeniyle oldukça büyük dalga ve şiddetli rüzgar ve akıntılara karşı açık denizlerde veya çevresel koşullara maruz alanlarda kullanılabilir avantajları vardır.

Yüzdürücüler üzerinde kafeslerin çaplarına göre ayarlanabilen hizmet platformları vardır. Bunlarda yine sentetik polyester, polietilen veya plastik malzemelerden imal edilmektedir. Bunların da yüzdürücü özellikleri vardır.

Kafeslerin ağlarının bağlandığı çerçeve veya balıkların kaçmasını engelleyen fribord ağın yerleştirildiği korkuluklar yüzdürücü yakalara yerleştirilmektedir.

Ağ kafeslerde ağlar üç yerde kullanılır. Bunlar; balıkların yerleştirildiği ağ torba, balıkların kaçmasını önleyen 1-1.5 m yüksekliğindeki fribord ağ ve su yüzeyi üzerinde balıkların deniz kuşlarından korunmasını sağlayan koruyucu ağlardır.

Kafes yapımında kullanılan ağ ipliklerinin ana materyali naylon, ulstron, courlene, polithen, cupro-proof ve polithen gibi sentetik maddelerdir. Bu malzemelerden imal edilen düğümlü ve düğümsüz yapıda ağlar kullanılmaktadır. Ancak düğümsüz ağlar daha az fouling (yosunlaşma) oluşması nedeniyle daha yaygındır [5].

Ağ gözleri genişliğinin su sirkülasyonu açısından büyük olması yararlıdır. Ancak bu değer balıkların boyutlarına bağlıdır. Ne balıkların kaçmalarına fırsat verecek genişlikte ne de su sirkülasyonunu önleyecek şekilde dar olmalıdır. Ağ göz açıklığı yerleştirilecek balığın boy uzunluğunun 1/10'undan geniş olmamalıdır. Kafes çerçevesine yerleştirilip su içine torba şeklinde sarkıtılan ağlarda geometrik şekil tam olarak sağlanamadığı için stoklamada kafes hacminin % 15'i eksik hesaplanır [6].

Su hattında serbest olarak yüzmekte olan ağ kafeslerin akıntı ve rüzgar nedeniyle sürüklenmemesi için belirli bir ortamda sabitleştirilmektedirler. Kafesleri sabitleştirmek için her biri 1-2 ton arasında değişen beton bloklar veya demirler kullanılmaktadır. Genellikle tekli olarak yerleştirilen kafeslerin dört tarafına yerleştirilmektedir. Bu beton sabitleştiriciler zincir veya çelik halatlarla yüzey şamandıralarına bağlanmakta dolayısıyla da bu yüzey şamandıralarında kafese esneme payı bırakacak şekilde polietilen halatlarla bağlanmaktadır. Halatların burulmasını önlemek için şamandıra uçlarına firdöndü, klemens, rodansa ve bağlantıları yapılmaktadır. İşaret şamandıraları olarak 40 cm çaplı fosfor boyalı plastik şamandıralar kullanılmaktadır. Bunların yanında ağ torbanın gerginliğini sağlamak ve akıntı nedeniyle ağın büzülmesini önlemek için askı betonları da kullanılmaktadır.

1.2.2. Kafes Tipleri

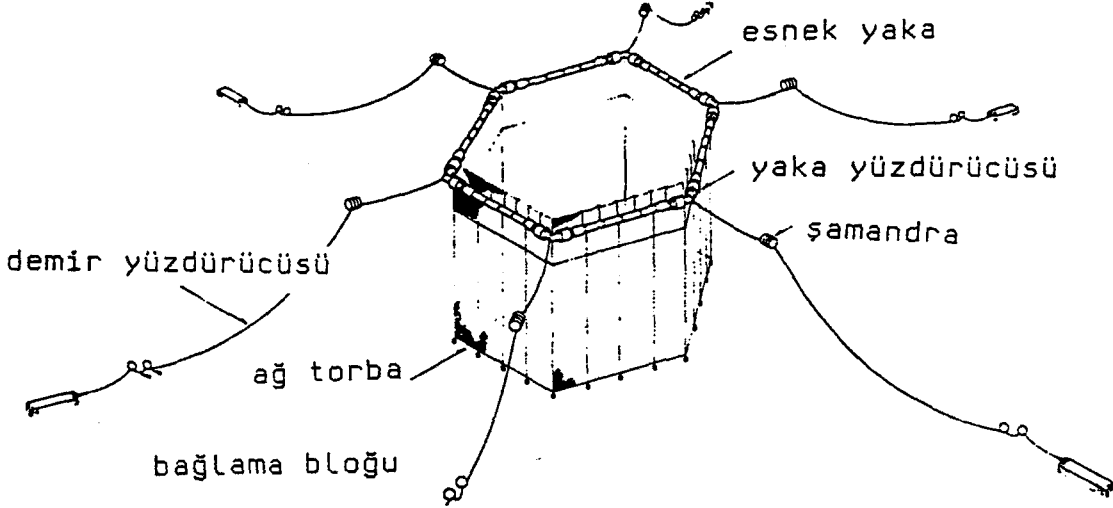
Balıkçılık teknolojisinde kullanılan deniz kafesleri genel olarak yüzen kafesler, belli bir yere tesbit edilmiş kafesler ve orta su veya dibe yerleştirilmiş dalgıç kafesler olarak sınıflandırılabilir. Belli bir yere tesbit edilmiş kafesler koy, körfez, liman gibi korunmalı yerlerde kıyıyla irtibatlı deniz kafesleridir. Orta suya veya dibe

yerleştirilmiş dalgıç kafesler, dalgaların dalga boyunun yarısı kadar derinlikten sonra etkilerinin olmamasından ve nispeten sıcaklık değişimi ve akıntı etkisinin az olması nedeniyle tercih edilmektedir. Serbest olarak su hattında yüzmekte olan deniz kafesleri en fazla kullanılan kafeslerdir. Bu tür kafesler daha az korumalı yerlerde ve açık denizlerde kullanılmaktadır.

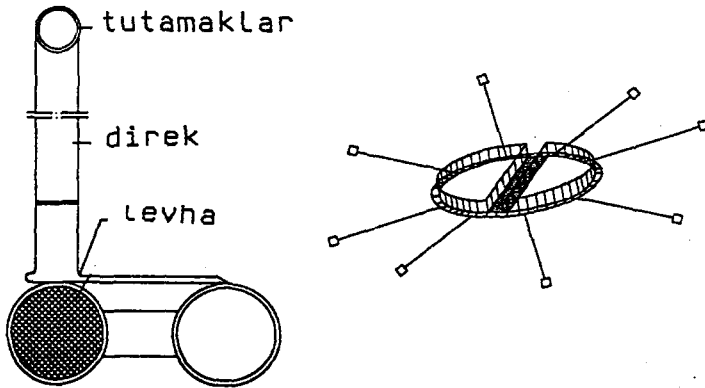
1.2.2.1. Kıyılarda ve Açıkdenizlerde Kullanılan Modern Deniz Ağı Kafesleri.

Açıkdeniz veya kıyı açıklarında Karadeniz'in tüm kıyılarında kullanılabilecek ve anormal deniz koşullarına karşı koyabilecek balık kafesleri bugün Kuzey Avrupa denizlerinde, okyanus kıyılarında kullanılmaktadır. Bu tür kafesler oldukça büyük olup (20-30 m çaplarında) yüksek teknoloji ile imal edilmişlerdir. Açıkdeniz balık çiftçiliğinde kullanılmakta olan deniz kafesleri başlıca beş ana gruba ayrılabilir. Bunlar, basit esnek tek ağ torbalı kafesler, esnek olmayan tek ağ torbalı kafesler, basit esnek olmayan çok ağ torbalı kafesler, kompleks yapıda çok ağ torbalı kafesler ve dalgıç kafesleridir.

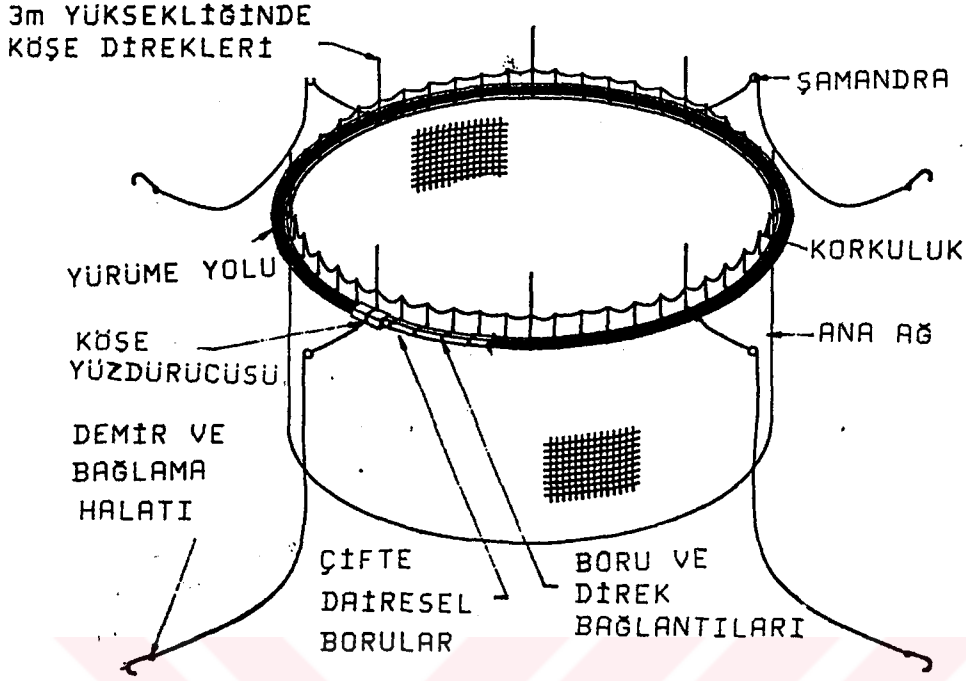
Basit esnek tek ağ torbalı kafesler, genellikle yuvarlak şekilli olup farklı çaplarda iç içe yerleştirilmiş silindir borulardan oluşmaktadırlar. Bu silindirler esnek yapıda olup gelebilecek her türlü etkiyi esneklikleri vasıtasıyla giderebilmektedirler. Bu kafeslerde tek bir ağ torbası olup içteki silindir boruya monte edilmiştir. Doğu Karadeniz kıyılarında kullanılan kafesler bu tip kafeslerdir. Bu kafeslere örnek olarak Bridgestone Hi-Seas balık kafesi (Şekil 2), Polarcirkele Gigante (Şekil 3) ve Dunlop Tempest balık kafesleri (Şekil 4) verilebilir (2).



Şekil 2. Bridgestone Hi-Seas balık kafesi [2,7,8,9]



Şekil 3. Polarcirkel Gigante balık kafesi [2,7,8,9]

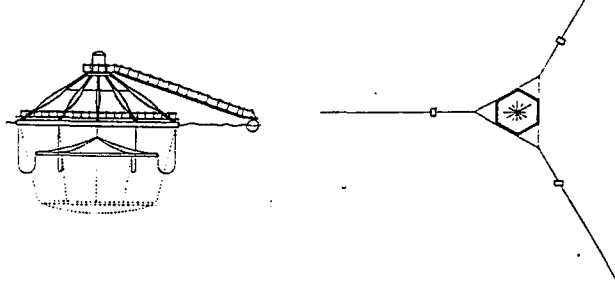


Şekil 4. Dunlop Tempest balık kafesi [2,7,8,9]

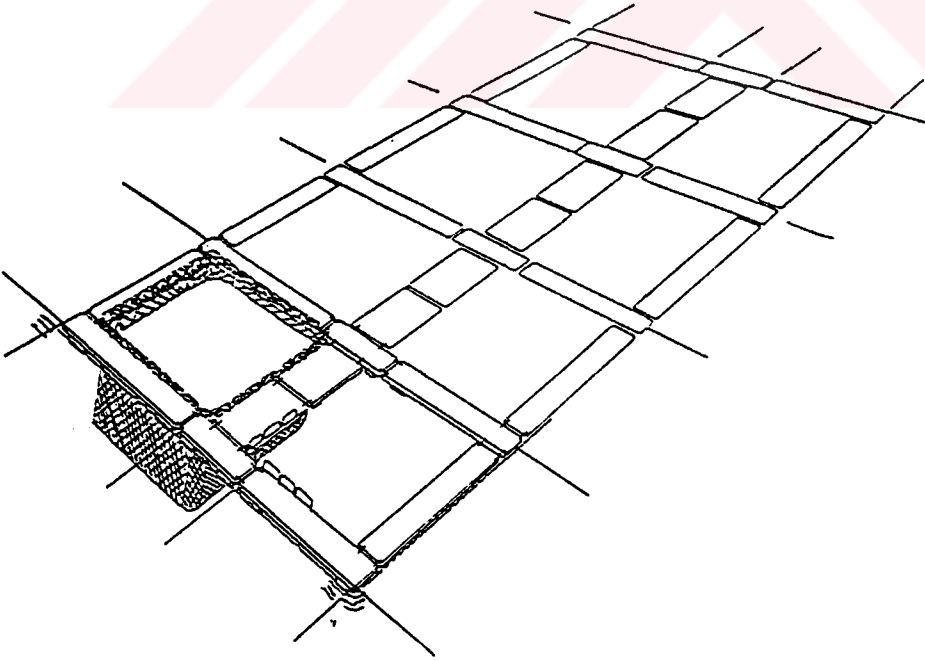
Esnek olmayan tek ağ torbalı kafesler, genellikle alüminyum-çelik alaşımları gibi metal ve alaşımlarından imal edilen taşıyıcı çerçevelerden oluşmuş dikdörtgen veya çokgen tek ağ torbalı kafeslerdir. Bütünlük arzeden bir sistem olup örnek olarak Farmoccean 3500 (Şekil 5) verilebilir.

Basit esnek olmayan çok ağ torbalı deniz kafesleri, taşıyıcıları yine alüminyum, çelik ve alaşımlarından oluşan bir kaç tek ağ torbalı kafesin birleştirilerek oluşturulan kafes sistemleridir. Bu tür kafeslere örnek olarak ağır çevresel koşullara maruz deniz alanları için imal edilmiş Wavemaster (Şekil 6) verilebilir.

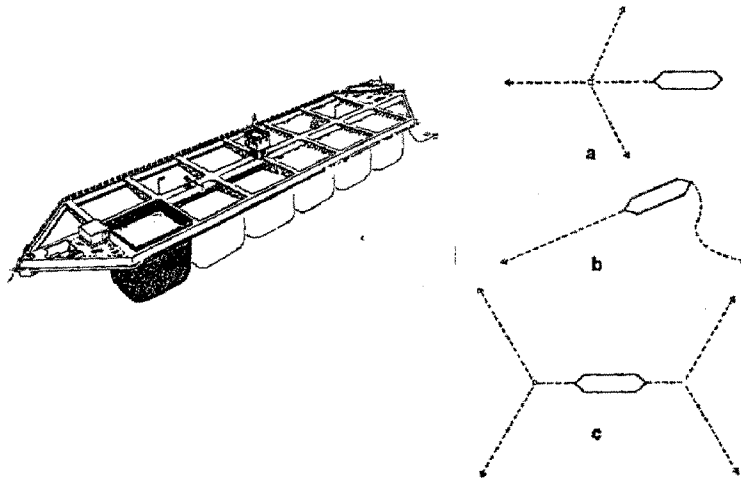
Esnek olmayan çok ağ torbalı büyük yapılar ise açık deniz koşulları için imal edilmiş olup oldukça büyük yapılardır. Öyleki bu tür kafeslere örnek olarak verilebilecek Aquasystem 104 (Şekil 7) kafes sistemi 12 adet ve Seacon (Şekil 8) 15 adet tek ağ torbalı kafeslerden oluşmaktadır.



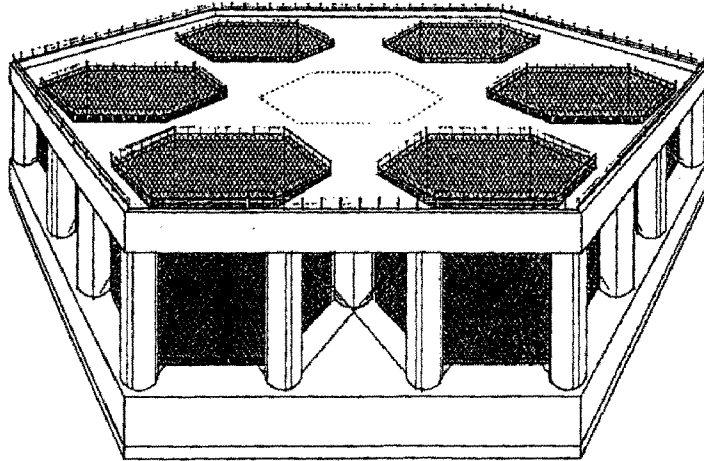
Şekil 5. Fermocean 3500 deniz kafesi [2,7,8]



Şekil 6. Wavemaster balık kafesi [2,7,8]

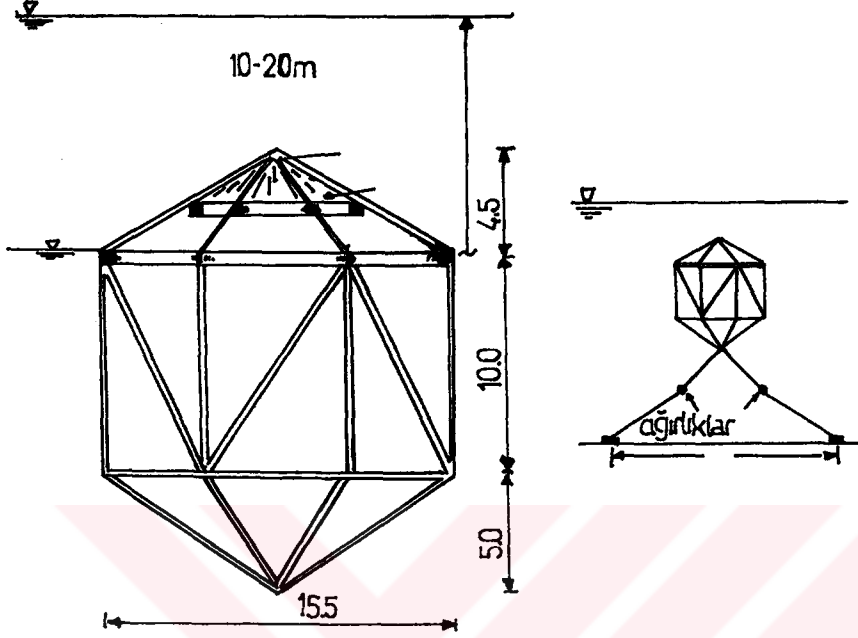


Şekil 7. Aquasystem 104 [2,8]



Şekil 8. Seacon [2,7]

Dalgıç kafesler ise genellikle uygun olmayan hava koşullarında yüzeyden 2-5 m derinliğe batırılabilen kafeslerdir (Şekil 9).



Şekil 9. Dalgıç kafes [2,9]

1.3. Deniz Kafeslerini Etkileyen Çevresel Kuvvetler

Balık yetiştiriciliği amacıyla kullanılan deniz kafeslerinin üretim kapasiteleri ve biyolojik özellikleri yanında çevresel kuvvetlerle etkileşimi de önemlidir. Deniz kafesleri hizmet koşulları altında çevresel şartlarla devamlı ilişki içersindedir. Bu çevresel şartlar genel olarak esen rüzgarlar, deniz yüzey akıntıları ve ortamda görülen deniz dalgaları olarak sayılabilir.

Bu çevresel koşullardan rüzgar ve akıntıların hız ve yönlerinin, deniz dalgalarının ise yükseklik, periyot ve yönlerinin belli bir bölge için belirlenmesi, o bölgeye kurulması düşünülen veya kurulmuş deniz kafes çiftliklerinin emniyeti için oldukça önem arz etmektedir.

Deniz kafesi bir bütün olarak düşünüldüğünde kafesi

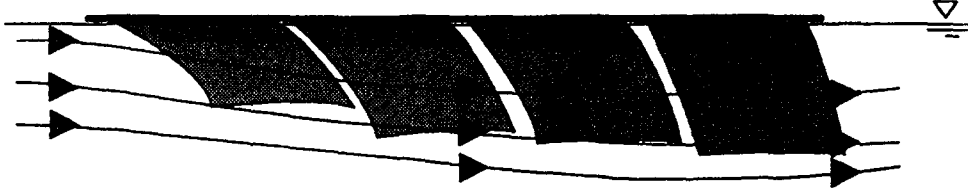
etkileyen yükler statik ve dinamik kuvvetler olarak sınıflandırılabilir. Statik yükler, kafesi oluşturan ağlar, kafes yapısının kendi ağırlığı, yüzdürücüler, personel, ekipman, depolama üniteleri, yemler, taşıyıcı sistemler, yürüme yolları ve korkuluk gibi üst yapı malzemeleri, ağların gerginliğini oluşturan ağırlıklar ve yosunlaşma etkisi ile oluşan yükler oluşturur. Dinamik yükleri ise çevresel koşulların kafes elemanları üzerinde oluşturduğu kuvvetler meydana getirir. Çevresel kuvvetler nedeniyle deniz kafes elemanları üzerinde etkiyen dinamik yükler demirleme, rüzgar, akıntı ve dalga kuvvetleri olarak sayılabilir.

Deniz kafeslerinin rüzgar ve akıntı nedeniyle sürüklenerek bulunduğu yerden uzaklaşmasını önlemek için çapa ile kafeslerin deniz tabanına demirlenmesi nedeniyle oluşacak demirleme kuvvetleri dikey ve yatay yük binmesine sebep olabilir veya demirleme düzenlemesine bağlı olarak kafes yapısı üzerinde yatay yük oluşturabilir. Kafes yapısı üzerindeki demirleme nedeniyle oluşan yüklerin karşılanması için demirleme halatlarında yüzeyde şamandıra kullanılması tavsiye edilmektedir [7].

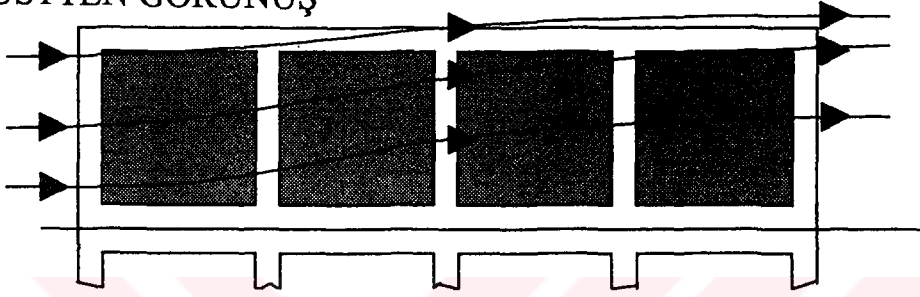
Rüzgarlar deniz kafeslerinin su dışında bulunan elemanları üzerinde yük oluşturur. Bunlar yüzdürücü ve taşıyıcıların su üstünde kalan kısımları, balıkların sıçrayıp kaçmalarını önleyen fribord ağlar ve kafes üst yapısını oluşturan ve korkuluklar sayılabilir.

Gelgit ve rüzgar nedeniyle oluşan deniz akıntıları deniz kafeslerinin ağ torbası ve taşıyıcıları üzerinde etkiler oluşturur. Ancak akıntıların en büyük etkisi ağlar üzerinde gerçekleşir. Balıkların yerleştirildikleri ortam ağ torbayla oluşturulduğundan sahip olunan hacim, akıntı nedeniyle ağların şeklinde bozulma ve sapma oluşturduğundan azalmaktadır (Şekil 10). Bu durum hem balıklar üzerinde stres oluşturmaları ve hem de yapı üzerinde oluşacak yük açısından önemlidir. Esasen akıntılar ağlar üzerine yatay bir sürtünme kuvveti uygularlar [3,10,11].

YANDAN GÖRÜNÜŞ



ÜSTTEN GÖRÜNÜŞ



Şekil 10. Akıntıların ağlar üzerindeki etkisi [10,11,12]

Bunların yanında ağ torba üzerinde, onunla devamlı etkileşim içersinde bulunan dalgalar da etkilidir. Dalga içersindeki su partiküllerinin dairesel hareketi nedeniyle sahip olduğu kinetik enerji ağlar üzerinde yatay bir sürtünme kuvveti oluşturur [3,13].

Deniz dalgalarıyla kafeslerin etkileşiminde daha önemli olan dalgaların kafeslerin yüzdürücü yakaları üzerinde oluşturdukları menfi etkilerdir. Deniz kafeslerinin yakaları üzerine etkiyen dalga kuvvetlerinin yada dalga enerjisinin bir kısmı yansıtılacak olup geri kalan kısım ise yaka tarafından absorbe edilecektir. Absorbe edilen enerjinin bir kısmı kinetik ve potansiyel enerjiye çevrilecektir. Böylece kafesin hareket etmesine sebep olacaktır. Arta kalan kuvvetler yapı içersinde harcanmakta veya kafesin bitişiğindeki elemanlar, demirler ve su arasında dağılmaktadır [3].

Deniz kafesleri, yüzen herhangi bir cisim gibi akıntı, rüzgar ve dalgaların birarada veya tek başlarına kafeslere uyguladıkları etkiler nedeniyle üç doğrusal ve üç döngüsel hareket yapabilirler. Doğrusal hareketler dikey kalkma hareketi (heave), yatay eksen boyunca uzunlamasına yatay dalgalanma hareketi (surge) ve enine eksen boyunca yatay sallanma hareket (sway)'leridir. Döngüsel hareketler ise dikey eksen etrafında dönme şeklinde sağa sola sapma hareketi (yaw), boyuna eksen etrafında dönerek yuvarlanma hareketi (roll) ve enine eksen boyunca dönme hareketleri (sway)'dir [3,14].

Bir deniz kafesi serbest olarak yüzüyor iken dalgalanma hareketi nedeniyle büyük ölçüde dikey yönde kalkma, boyuna eksen boyunca dönme (roll) ve alçalma ve yükselme (pitch) hareketleri yapar. Dengeden uzaklaşan kafesin dengesi kütle üzerindeki yerçekim ivmesiyle düzeltilir. Kafesler demirlendiği zaman üç ek doğal hareket oluşur. Bunlar boyuna aksis boyunca doğrusal hareket, enine aksis boyunca yatay doğrusal hareket ve dikey eksen boyunca dönme hareketleridir. Demirleme, tek noktadan demirlenmiş kafes grupları üzerinde bu hareketlerin gerçekleşmesinde etkisi az iken çok noktadan demirleme durumunda kafes gruplarına demirleme etkisi önemli derecede azalacaktır [3,12,14].

Yaka içersinde toplanan enerji kafes çerçeve elemanları ve bitişiklerinin deformasyonuna harcanır. Rijid metal alaşımlardan (Al-Çelik) yapılmış kare veya dikdörtgen kafesler ve esnek olmayan plastik, PVC ve fiberglas gibi malzemelerden oluşmuş yakaları olan kare veya dairesel kafeslere dikey olarak etkiyen yatay kuvvetler kenarlar boyunca kıvrılmaya yada dönmeye ve yakanın kırılmasına sebep olacaktır. Diğer esnek plastik borulardan oluşan yakalar ise oluşan dalga yüklerini esneklikleri ve elastikiyetleri nispetinde gidereceklerdir. Hatta bugün oldukça yüksek dalgalara karşı koyabilen okyanus tipi kafesler balıkçılık teknolojisinde kullanılmaktadır [2,3,7,9].

1.3.1. Deniz Dalgaları

Deniz dalgaları, deniz yüzeyinin periyodik bir şekilde salınması sonucu oluşan ve okyanuslarda en etkili hareketleri içeren oluşumlardır. Bu oluşumlar tarih boyunca oldukça ilgi çekmiştir. Aristotle (Mö 322-384) rüzgar ve dalgalar arasında bir ilişki olduğunu zamanında gözlemlemiştir. Bununla beraber ilk zamanlarda deniz dalgalarının oluşum mekanizması ve okyanus üzerindeki ilerleyişleri tam olarak anlaşılamamıştır. Bunun nedeni dalga karakteristiklerinin gözlenmesinin deniz ortamında zor olması ve dalganın davranışının matematiksel olarak modellenmesi için ideal akışkanların özelliklerinin kullanılmasının gerektiği halde deniz dalgalarının bu özelliği göstermemesidir [15].

Deniz dalgalarının anlaşılması ve özelliklerinin belirlenmesi için ciddi bilimsel çalışmalar 19. yüzyılda başlamıştır. Bugün bu konuda oldukça fazla bilgi birikiminin olduğu söylenebilir.

Elektromanyetik dalgalar hariç dalga olayı maddelerin çeşitli hallerinde titreşim itimleri vasıtasıyla momentum ve enerji taşınımını içerir. Teorik olarak ortam enerji geçtiği yöne doğru hareket etmez. Yörünge modeline uygun olarak ortamda basitçe salınan partiküller birinden diğerine enerji iletir. Dalga hareketinin iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için basit gelişen dalgalar, longitudinal (boylamasına), transverse (enlemesine) ve dairesel dalga olarak sınıflandırılabilir [16].

Longitudinal dalgalar ses dalgaları gibi titreşim hareketi yapan partiküller, enerji yayılımına paralel bir yönde ileri ve geriye doğru hareket ederler. Enerji, partiküllerin longitudinal hareketi sonucu maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinin tümünün içinden geçebilir.

Transverse dalga olayı partikül titreşim yönüne doğru enerji yayılımını içerir. Bu tip dalgalarda yalnızca

katıların içindeki partiküller kuvvetli bir şekilde bir diğerine hücum ettiği için enerji transverse dalga ile sadece katıların içinden geçer. Transverse ve longitudinal dalgalar bir maddenin içinden enerji geçirdikleri için cisim yada yapı dalgaları olarak isimlendirilebilirler.

Deniz dalgaları durumunda farklı yoğunluktaki iki sıvı arasındaki bölge boyunca enerji iletimi sözkonusu olduğu için ne longitudinal ne de transverse parçacık hareketlerine dahil değildir. Okyanus ve atmosfer arasındaki bölgede su partikülleri dairesel yörüngede hareket ettikleri için her iki bileşeni içeren bu ara yüzey boyunca partikül hareketinin varlığından daha güvenilir olarak sözedilebilir. Bu dalgalar başka bir deyişle yörüngesel veya arayüzey dalgaları olarak adlandırılabilir.

1.3.1.1. Deniz Dalgalarının Genel Özellikleri

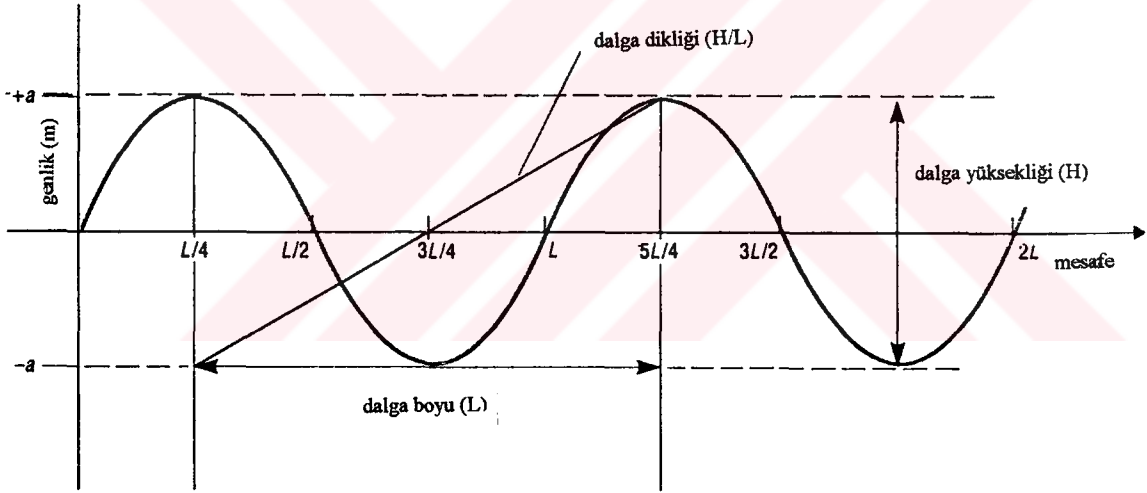
Deniz yüzeyinin aslında herhangi bir anda düzgün bir görünüşünün olmadığı, çok karmaşık yapıda olduğu bilinen bir olaydır. Keza okyanus yüzeyi gözleendiğinde sürekli olarak değişen karmaşık dalga grupları, çeşitli büyüklüklerde ve yönlerde dalgaların olduğu görülür. Ard arda gelen dalga yükseklik ve boylarının teoride zorunlu olarak kabul edilmesinin yanında genellikle birbirlerine eşit değildir.

Deniz dalgaları esas olarak kapiller (küçük çarpıntılar) ve gravite (ağırlık) dalgaları olarak iki kısma ayrılabilir. Kapillar dalgalar oldukça küçük dalga boy ve periyodlarına sahip yüzey gerilimi sonucu oluşan deniz yapıları için bir önem arzetmeyen ancak radar ve ses dalgalarını yansıtması ve deniz içini göstermemesi bakımından önemlidirler. Gravite dalgaları ise durgun deniz yüzeyinin herhangi bir dış etkenle denge konumunun bozulmasıyla oluşur. Etkenin şiddeti, tipi ve etki süresine bağlı olarak kapillar dalgalara nazaran çok daha büyük ve

deniz yapıları (gemiler, limanlar, petrol platformları, ve özellikle balık yetiştiriciliğinde kullanılan deniz ağ kafesleri) açısından önem arzeden dalgalardır. Gravite dalgalarını oluşturan dış etkenler öncelikle rüzgar, su yüzeyinde ilerleyen cisimler, deniz altında oluşan depremler, gel-git yada ay ve güneşin çekim etkileri sayılabilir.

Doğada çoğunlukla rastlanan dalgalar rüzgar etkisiyle oluşan dalgalar olduğu için genellikle rüzgar dalgaları üzerinde durulmaktadır. Diğer etkenler tarafından oluşturulan deniz dalgalarının olmasına rağmen rüzgar dalgalarına nazaran çok daha nadir oluşturmaktadırlar. Bu nedenle deniz dalgaları denince akla rüzgar dalgaları gelmektedir. Rüzgar dalgaları rüzgarın estiği ve devam ettiği sürece görülen düzensiz dalgalardır. Genellikle rüzgarın estiği yönde veya bu yönün sağ ve solunda en fazla 45°'lik sapma olacak şekilde muhtelif yönlerde ilerlerler. Deniz yüzeyi hemen hemen mükemmel bir düzensizlik içerisinde bulunur. Rüzgarın şiddeti arttığı oranda dalga tepeleri sivrileşir ve çatlama suretiyle köpükler meydana gelir. Denizin karakteristik görünüşü rüzgar şiddeti ve rüzgar esme alanı büyüklüklerine göre değişir. Rüzgarın kesilmesiyle veya dalgaların ilerleyerek rüzgar etkisi alanının dışına çıkmasıyla veya rüzgarın 45°'den daha fazla yön değiştirmesiyle kabarık dalgalar oluşur. Rüzgar etkisinden kurtulan bu tip ilerleyen düzensiz dalgalar içinde önce dalga boyları kısa ve hızları küçük olanlar enerjilerini yitirerek kaybolurlar. Geriye dalga boyları uzun, hızları büyük fazla enerjiye sahip dalgalar kalır. Bu dalgalar genellikle daha önceki rüzgar yönünde ilerler. Tedricen kısa boyda ve enerjisi az olan dalgaların yok olmasıyla dalga tepeleri ve çukurları arasında eşit aralıklar bulunan, yani dalga boyları sabit kabul edilebilecek tarzda ilerleyen düzenli dalga dizileri meydana gelir. Bu tip dalgalara kabarık dalgalar adı verilmektedir [17].

Rüzgar veya kabarık dalgaların ilerleyerek sahile yaklaşmasıyla dalga üzerinde sığ su etkisi başlar. Böylece yarım dalga boyundan daha az derin denizlerde çatlak dalgalar meydana gelir. Bu tip dalgalar gayet sivri tepeli ve yükseklikleri çok fazladır. Düzenli karakter arzeden deniz dalgalarına okyanuslarda az rastlanmasının yanında genellikle deniz dalgaları düzensizdir. Lineer dalga teorisine göre bu tip dalgalar çeşitli yönlerden gelen dalga uzunlukları gayet geniş bir aralıkta değişen ve birbirlerine göre faz farkları rastgele değişik bulunan sonsuz sayıdaki dalgaların süperpozisyonuyla oluşmaktadır [18].

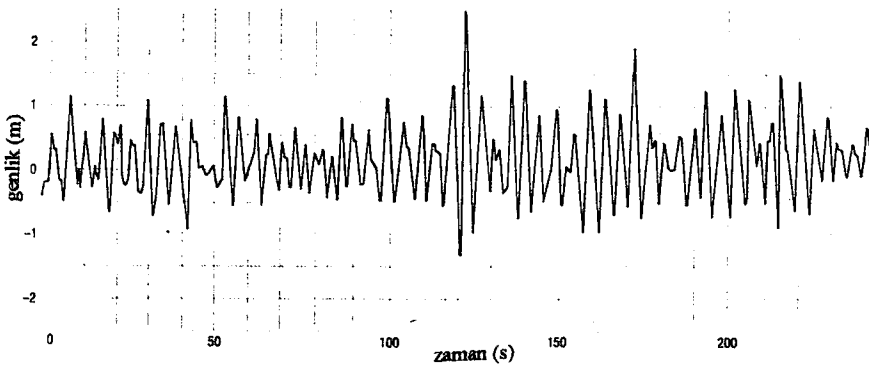


Şekil 11. Basit bir sinüzoidal deniz dalgası [15]

Doğal olarak denizlerde oluşmayan ancak deniz dalgalarının özellikleri ve davranışlarının hesaplanmasında kabul edilen basit idealize edilmiş sinüzoidal bir dalganın boyutları ve bunları açıklamak için kullanılan terminoloji Şekil 11'de görülmektedir. Şekil 11'de görülen idealize edilmiş dalga, sinüzoidal bir yapı göstermektedir. Bu şekil

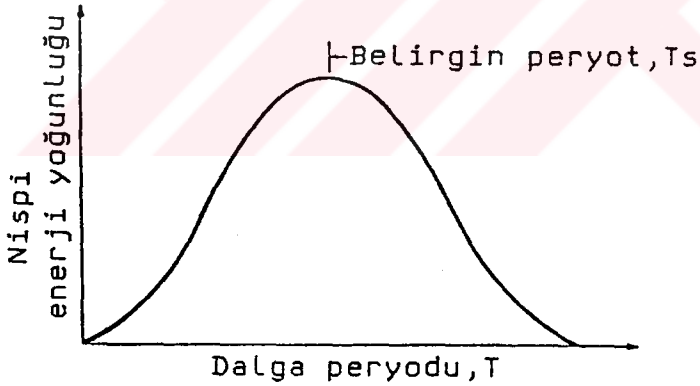
temel alınır, dalga yüksekliği H dalga tepesi ve onu izleyen çukur arasındaki dikey mesafe, dalga boyu L birbirlerini izleyen tepeler veya çukurlar arasındaki mesafe ve dalga periyodu T bir dalga boyunca geçen süre yada bir dalga boyu mesafesi hareket eden dalga tepesinin geçirdiği zaman olarak ifade edilebilir. Dalga hızı C dalga formunun yayılma hızı olup dalga boyunun periyota bölünmesiyle bulunur. Su derinliği d ile gösterilmekte olup λ ise su parçacıklarının durgun su seviyesinden sapması yada dalga genliği olarak ifade edilmektedir. Dalga dikliği H/L dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı olarak ifade edilebilir. Bunun yanında bir noktadan birim zamanda geçen dalga tepe ve çukur sayısına frekans adı verilmekte olup ω ile gösterilmektedir. Bu sayılan dalga özellikleri basit tek yönlü bir sinüzoidal dalga için çok iyi bir şekilde ifade edilebilir.

Bunların yanında tipik deniz yüzeyi kaydında Şekil 11'de olduğu gibi uniform bir yükseklik ve periyot belirlemek oldukça zordur. Aşağıda Şekil 12'de herhangi bir anda deniz yüzeyinden alınmış bir dalga kaydı görülmektedir.



Şekil 12. Herhangi bir anda deniz yüzeyinden alınmış dalga kaydı [15].

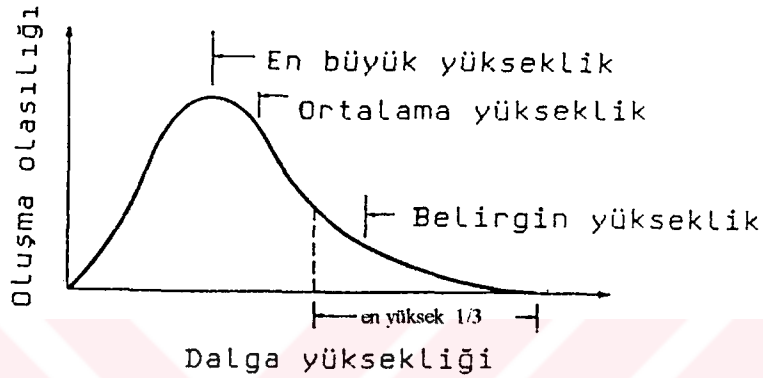
Yukarda (Şekil 12) de görülen deniz kaydı bir çok düzgün sinüzoidal dalganın süperpozisyonuyla oluşmuş gerçek deniz durumudur. Bu sinüzoidal eğrilerden oluşan deniz yüzeyinin fazları rastgele olmaktadır. Bu nedenle olasılık teorileri burada kullanılabilir. Düzgün olmayan bir kayıta eşit zaman aralıklarında ard arda gelen noktaların Normal veya Gaussian istatistiksel dağılıma uyduğu gözlenmiştir. Böylece Şekil 13'de görüldüğü gibi deniz durumunu daha doğru bir şekilde açıklayan dalga spektrumları geliştirilmiştir. Bu spektrumlarda herhangi bir özel periyot için çeşitli dalga yükseklikleri vardır. Periyot spektrumuyla direkt olarak değiştirilebilmesinden dolayı frekans spektrumu kullanmak daha doğrudur. Dalga periyodu $T=2\pi/\omega$ olacak şekilde dalga açısal frekansıyla (ω) ilişkilidir.



Şekil 13. Dalga periyodu spektrumu [18].

Belirli bir yerde belirli bir dalga yüksekliğinin deniz durumunda oluşma olasılığı Şekil 14'de görüldüğü gibi oldukça uygun bir şekilde Rayleigh dağılımını izlemektedir.

Bu şekilden (Şekil 14) ortalama dalga yüksekliği, olması mümkün en büyük dalga yüksekliği ve verilen bir yüzdedeki en yüksek dalga yükseklikleri belirlenebilir. Oşinografide en yüksek dalgaların 1/3'ünün ortalaması belirgin dalga yüksekliği olarak (H_s) olarak ifade edilmiştir ki bu tanım görsel gözlemlerden alınan değerlerle iyi bir şekilde uyumaktadır.



Şekil 14. Dalga yüksekliği olasılık dağılımı [18].

1.3.1.2. Deniz Dalgalarının Sınıflandırılması

Okyanus ve denizlerde oluşan dalgalar periyotlarına, deniz yüzeyi üzerinde oluşturdukları görünümüne göre, dalgaların deniz dibine olan ilişkilerine ya da su derinliğine ve dalgaları oluşturan kuvvet ve etkenlere göre sınıflandırılabilirler.

Deniz dalgaları periyotları göz önüne alınarak incelendiği zaman üç ana sınıfta toplanabilirler. Bunlardan birincisi kısa periyotlu dalgalardır ve bu dalgaların periyotları 30 s'den küçüktür. Örnek olarak kapiller ve gravite dalgaları verilebilir. İkincisi uzun periyotlu dalgalar olup, periyotları 30 s ile bir kaç saat arasında değişen yer sarsıntılarında doğan sismik veya tsunami dalgaları verilebilir. Üçüncü kısım ise periyotları bir kaç saatten çok daha fazla olan Gelgit ve fırtına kabarma

dalgaları olup ay ve güneşin etkileri ve rüzgarın etkilediği geniş su kütlelerindeki dalgalanmalarla oluşurlar.

| DALGA TİPİ | Kapiller dalgalar | Ultra-gravite dalgalar | Gravite dalgalar | İntra-Gravite dalgalar | Uzun periyotlu dalgalar | Med-Cezir | Çok uzun periyotlu dalgalar |
|--|-------------------|------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|
| DALGA KARAKTERİNİ KONTROL EDEN KUVVETLER | Yüzey gerilimi | Gravite yüzey gerilim | Gravite | Gravite koriolis kuvveti | Gravite koriolis kuvveti | Gravite koriolis | Gravite koriolis |
| NEDEN | Rüzgâr | Rüzgâr | Rüzgâr | Rüzgâr Dalgalar Kabarma | Fırtınalar Depremler | Ay Güneş | Ay Güneş Fırtınalar |
| DALGA ENERJİSİ | | | | | | | |
| PERIOD | | 0.1 sn. | 1sn. | 30 sn. | 5dk. | 12 s. | 24 s |

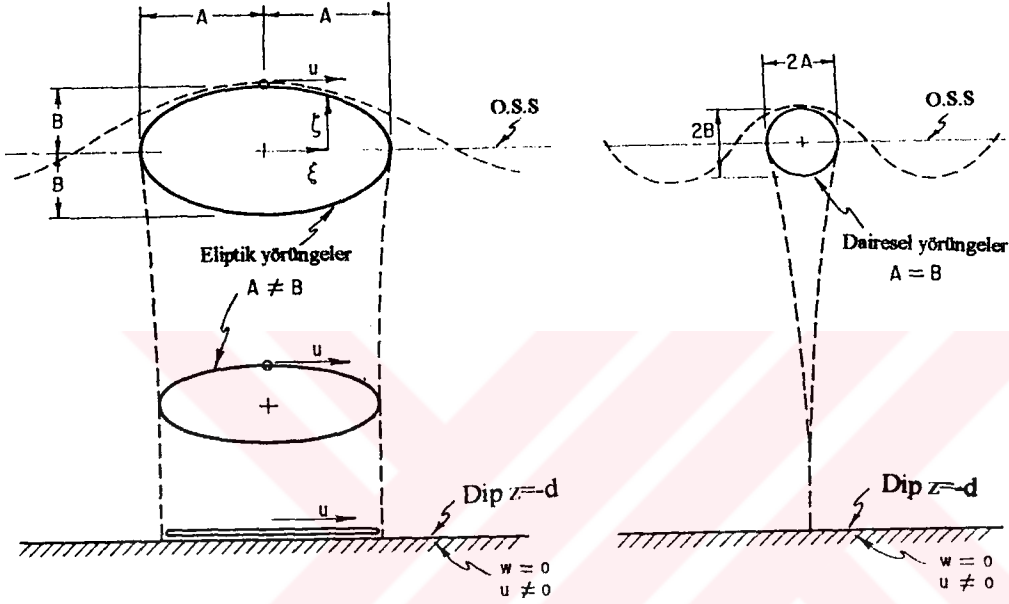
Şekil 15. Peryotlarına göre deniz dalgaları [15,16,17,19]

örnek olarak, yerel olarak oluşan Gelgit, Manş denizi kuzeyinde sık görülen ve periyotları günlerle ölçülebilen, yükseklikleri 7 m'ye varabilen deniz kabarmaları ve periyotları kıyısularda 1-3 dakika ve derin sularda ise 12 saatte çıkan iç dalgalar verilebilir. Peryotlarına göre dalga sınıflandırılması Şekil 15'te görüldüğü gibi özetlenebilir.

Deniz dalgalarının davranışı ile su derinlikleri arasında oldukça geniş bir ilişki vardır. Öyleki dalgalar sığ su ve derin sularda farklı özellikler taşımaktadırlar. Dalgalar derin deniz dalgaları ve sığ su dalgaları olmak üzere iki kısma ayrılır.

Su derinliği yarım dalga boyundan daha büyük olduğu zaman dalga bir derin su dalgası olarak davranır ve dalga hızı dalga boyuyla yönlendirilir. Derin sularda su partiküllerinin takip ettikleri yörünge dairevi bir şekildedir. Dalga boyunun yarısı kadar olan derinlikten sonra dalganın etkileri yoktur. Su partiküllerinin yörünge

çapları yüzeyde dalga yüksekliğine eşit iken derinlikle birlikte exponansiyel olarak azalmakta ve dalga boyunun yarısı kadar olan derinlikte sifıra eşit olmaktadır. Derin ve sığ sularda dalga partikülü ile ilgili değişiklikler Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Sığ ve derin sularda su partikül yörüngelerindeki değişimler [15,16].

Su derinliği dalga boyunun 1/20'sinden büyük ancak dalga boyunun yarısından küçük olduğu durumlarda görülen dalgalara geçiş dalgaları denmektedir. Geçiş dalgalarının hızı kısmen dalga boyu kısmen de su derinliği ile belirlenmektedir.

Sığ su dalgaları ise su derinliği dalga boyunun yirmide birinden daha küçük olduğu anlarda görülür ve dalga hızı su derinliği ile yönlendirilir. Sığ su dalgaları sahile yakın sığ bölgelerde hareket eden rüzgar orjintli dalgalardır. Sığ su dalgalarında su derinliği dalga boyundan küçük olduğu için ve dalga tabanı hissettiği için yada dip etkisine

uğradığı için su partikülü yörüngeleri Şekil 16'da görüldüğü gibi eliptik bir şekildedir.

Dalga hızlarının genel ifadesi Airy'nin küçük genlikli dalga teorisinden elde edilebilir [15,16,18,19,20]. Deniz yüzey gerilmesi ihmal edilirse:

$$C^2 = g.L/2\pi \cdot \tanh(2\pi d/L) \quad (1)$$

Bu denklemde derin sular için, $\tanh(2\pi d/L)$ terimi 1 değerine yaklaştığı için yaklaşık olarak şu şekle indirgenebilir.

$$C^2 = gL/2\pi \quad (2)$$

Bu genel ifade kullanılarak derin ve sığ sulardaki dalga hızları belirlenebilir. Su derinliği $(d > L/2)$ dalga boyu yarısından daha fazla olduğu zaman yada derin sular için L dalga boyu (m) , g yerçekimi ivmesi (9.81 metre/s^2) , T dalga periyodu olmak üzere C dalga faz hızı (metre/s) :

$$C = 1.56 T \quad (3)$$

$$L = 1.56 T^2 \quad (4)$$

Sığ su durumunda $(d < L/20)$ bu denklemler şöyle olur.

$$C = (gd)^{1/2} \quad (5)$$

Derin su dalgaları sahile yakın sığ sulara geldiklerinde sığlaşan su derinliği nedeniyle tabana sürtünürler ve dalga yüksekliğinde artış ve dalga boyunda bir azalma gerçekleşir. Ancak dalga hızında hemen hemen hiç bir değişim olmamaktadır. Dalga yüksekliğindeki artış ve dalga boyundaki azalma sonucu dalga dikliğinde de değişiklikler oluşmaktadır. Genellikle dalga diklikleri (H/L)

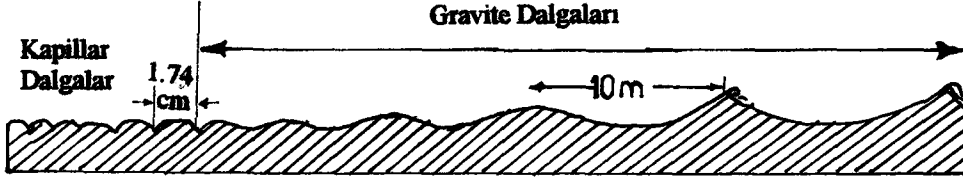
1/10'a ulaştığı anlarda kırılmaya başlarlar. Bu olayın teorik limiti 1/7'dir veya dalgalar $1.28H$ 'dan daha sığ sulara girdiklerinde kırılırlar [18,21].

Deniz dalgalarının sınıflandırılması onları oluşturan kuvvetler dikkate alınarak yapıldığında dalgalar altı ana bölüme ayrılabilir. Bunlar rüzgar dalgaları, iç dalgalar, duran dalgalar, katastrofik dalgalar, ay ve güneşin çekim etkisiyle oluşan dalgalanmalar ve dünyanın kendi etrafındaki dönüşü nedeniyle oluşan dalgalardır.

İki yakın akışkan tabakası farklı hızlarda hareket ettikleri zaman bunların arasında sürtünmeli bir gerilim oluşur. Böylece rüzgarın esmeye başlamasıyla enerjilerinin bir kısmını deniz yüzeyine olan sürtünmede ve basınç değişimlerinde harcadıklarından, hava-deniz ara yüzeyinde dengesiz bir akış oluşur. Rüzgar hızındaki değişimler, basınç farklılıkları sonucu oluşan akışlar ve deniz yüzeyine iletilen enerji sebebiyle rüzgar dalgaları oluşur. Başlangıçta su yüzeyinde parçacıklar halinde ve hemen gözden kaybolan dalgacıklar oluşur. Bu dalgacıklara kapillar dalgalar adı verilir. Bunların dalga boyu 1.73 cm 'den küçük olup şekilleri sıvının yüzey gerilmesine bağlı olmakla beraber çukuru v şeklinde olan sinüzoidal şekillidir. Bu andan itibaren rüzgar şiddet ve esme süresindeki artışlar sonucu graviti dalgalar oluşur (Şekil 17) [17,18].

Graviti dalgalar kapillar dalgalardan daha büyük olup genellikle yer çekiminin kontrolündedirler. Bununla beraber, bu küçük dalgalar deniz yüzeyinin kabarmasına dolayısıyla rüzgarla deniz yüzeyi arasında daha etkin bir ilişkinin oluşmasına neden olurlar. Böylelikle de rüzgarlardan denizlere olan enerji nakli giderek artar ve dalgalarda aynı şekilde büyür.

Bu gelişimi başlatan olaylar bugün hala tam olarak anlaşılamamasına rağmen rüzgar dalgalarının gelişimini oldukça iyi bir şekilde açıklayan yarı deneysel bir çok denklem vardır. Dalga gelişiminin son durumu dalga tahmininde

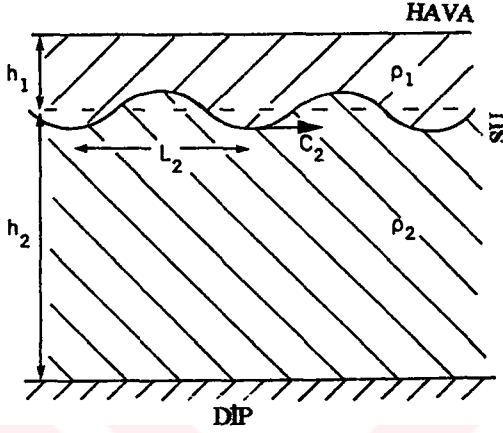


Şekil 17. Rüzgar dalgaları [15,16,17,19]

kullanılan üç temel parametreye dayanmaktadır. Fıç veya rüzgarın esmiş olduğu mesafe, rüzgar hızı ve rüzgarın esme süresidir. Böylece belirli sabit bir rüzgar hızı için dalgaların oluşumu fıç ve zaman ile sınırlanabilir. Bununla beraber, eğer yeterli uzunlukta bir zaman için yeterli mesafede rüzgar eserse ortalama dalga yüksekliklerinin değişmediği, daha fazla veya daha az bir sabit durum şartı oluşacaktır. Bu durum tam oluşmuş deniz olarak adlandırılır ve bu olay dalga tahmininde temel olarak kullanılır [18,22].

İç (internal) dalgalar hava ve su arasındaki yüzeyde oluşan yüzey dalgaları gibi farklı yoğunluktaki su tabakaları arasında deniz içersinde oluşur. Bu dalgaların oluşum nedeni, yoğunluk farklılıkları nedeniyle dikey yönde yer değiştiren akışkanlar üzerindeki gravitasyonel (yer çekimi) kuvvetidir. Derin okyanus sularında veya oseanik sularda özel yüzeyler termoklinde olduğu zaman yoğunluk farklılığı sıcaklık farkından dolayıdır veya kıyısularda haloklinde ise o zaman yoğunluk farklılıkları yoğunlukla tuzluluk farklılıklarındandır. Su hareketleri kendi ara yüzeyiyle sınırlandırılmaz ancak suyun aşağısına ve yukarısına uzanır. Yüzey dalgaları için havanın yoğunluğu suyun yoğunluğu ile karşılaştırılırsa (1/800 civarında bir oran) oldukça küçüktür. Bu miktar ihmal edilecek kadar küçüktür ve dalga hızının hesaplandığı formülde havanın

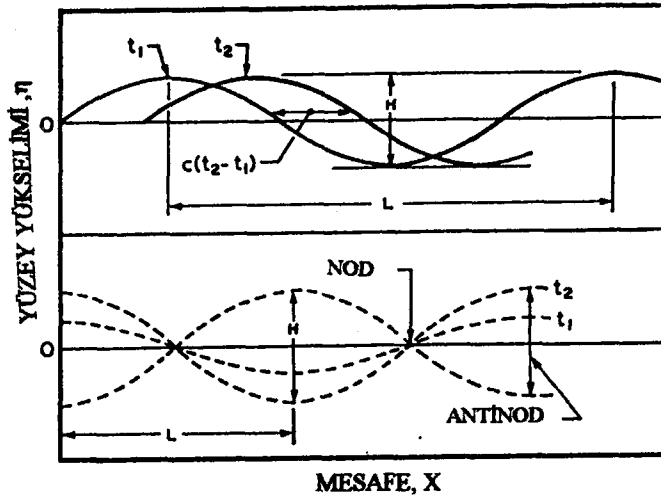
dalga hızının hesaplandığı formülde havanın yoğunluğu bulunmaz. Ancak iç dalgalarda iki su tabakasının yoğunlukları birbirlerine oldukça yakındır (Şekil 18).



Şekil 18. İç dalgalar [22]

İç dalgaların hızları (5-100 cm/sn) yüzey dalga hızlarından oldukça küçüktür. Bu iç dalgaların tipik bir özelliğidir. Kıyusal suların üst tabakalarında bir kaç metre genliğe sahip ve 1-3 dakikalık periyotları olan iç dalgalar gözlenebilir. Okyanus sularında yoğunluk farkları daha küçük olduğundan periyotları 12 saate çıkan ve genlikleri 10 m'den 30 m'ye ulaşan iç dalgalar kaydedilmiştir [16,17,23].

Duran dalgalar koy, körfez veya okyanusların yerel olarak kapalı özellikte olan bölgelerinde ve göllerde oluşan bir dalga tipidir. Bu tip dalga'da su yüzeyi aşağı yukarı yönde ritmik olarak hareket eder, ancak dalga tepesi ve çukuru yatay yönde yer değiştirmez (Şekil 19). Duran dalgalar deniz üzerindeki atmosferde oluşan ani basınç değişimlerinden, şiddetli fırtınalar sonucu oluşan dalgaların fırtınadan sonra yavaşlamasından veya su yüzeyinin ani bir düzensizliğinden oluşurlar. Bu dalgaların boyları uzun fakat yükseklikleri küçüktür [17,24].



Şekil 19. Duran ve ilerleyen dalganın genel şekli [20].

Katastrofik (felaket) dalgalar, deniz altı volkanik hareketleri, buzul hareketleri, depremler ve okyanus üzerindeki büyük fırtınalar sırasında oluşan alçak basınç gibi değişik etkenler tarafından oluşturulmaktadır. Peryotları bir kaç saniye gibi kısa olan katastrofik dalgalar kıyılarda en fazla zarar oluşturan dalgalardır. Bunlarda kendi aralarında Tsunamiler, Fırtına dalgaları ve Heyelan dalgaları olmak üzere üçe ayrılırlar.

Okyanus üzerinde meydana gelen fırtınalar oluşturdukları alçak basınçtan dolayı suyun birikerek bir tepe oluşturmaya ve fırtına yönünde hareket eden tepelerin gerçekleşmesini sağlarlar. İşte bu sürece göre Kasırga ve Tayfun gibi fırtınaların estiği sıralarda sahil boyunca deniz seviyesinin 3-5 m alçalıp yükseldiği görülür. Bunun yanında fırtınalara yakın kıyılarda sığ sulara yaklaştıkça sahile doğru esen rüzgarlar dalga tepelerini etkileyerek fırtına dalgalarını oluştururlar. Bu dalgalar kıyılarda çok büyük hasarlara yol açarlar. 1900 yılında Teksas'ta 7m yüksekliğindeki dalgalardan oluşan fırtınalar kaydedilmiştir [16,18].

Heyelan dalgaları buzul hareketleri veya depremler nedeniyle karalardan büyük buz veya kaya kütlelerinin koparak denize düşmeleri sonucu oluşan dalgalardır.

Katastrofik dalgaların en önemlisini tsunamiler oluşturur. Bunlar deniz altı volkanik faaliyetlerinden, denizaltı faylarının hareketleri veya deniz dibindeki çamur kaymaları sonucu oluşurlar. Doğu bölgelerinden itibaren binlerce km ilerleyebilirler. Hızları derinliğe bağlı olup açık denizlerde 4000 m derinliklerde 200 m/s olabilmektedir.

Tsunami, alışılmış gelgitsel yükselme ve alçalmadan farklı olarak liman dalgası anlamına gelen Japonca bir kelimedir ve genellikle depremle birlikte birleşmiş deniz dibi hareketleriyle oluşmuş uzun su dalgalarını açıklamak yada göstermek için kullanılır. Tsunaminin yerine sismik deniz dalgaları da kullanılır. Tüm tsunamiler kıyı yakınında veya deniz altında oluşan depremleri takip ederler. Ancak tüm depremler tsunami oluşturmazlar. Muhtemelen tabana dik hareketlerin bileşenlerini içeren depremler yada sarsıntılıların sebep olduğu düşünülmektedir. Mesela bir yükselme ve düşme muhtemel oluşturucudur. Yatay hareketler tsunamiye sebep oluşturmazlar. Bazı durumlarda tsunamiler deniz içindeki toprak kaymaları veya denizdeki volkanik hareketlerle birleşen diğer yer hareketleri tarafından oluşturulmaktadır. Ancak bunların etkileri geniş bir yayılım göstermez.

Tsunamiler açık denizde diğer yüzey dalgaları gibi davranırlar. Fakat uzun dalga boyları nedeniyle (200 km), derin okyanus sularında $h/L \sim 1/50$ oranı nedeniyle bir sığ su dalgası gibi davranırlar. Derin okyanuslarda hesaplanan genlikleri 1 m'dir. Böylece seyrü sefer durumundaki gemilere önemli etkileri olmaz. Sadece yavaşladıkları ve kıyı yakınında tepe oluşturduklarında tehlikeli olurlar. 15 dk civarında peryot ve bir kaç metre genliğe ulaşan deniz seviyesindeki anormal bir düşme ve yükselmeler gözlenen etkileridir. Bazen başlangıçta bir yükselme vardır bazen de başlangıçta bir düşüş olur ve alışılmamış salınımlar saatlerce devam edebilir. Bazen bu bir veya iki gün

sürebilir. Deniz seviyesindeki anormal düşüşler süresince gemiler karaya oturabilir, yan tarafa yatabilir ve yükselme ile gemi su ile dolarak batabilir. Anormal yükselmeler süresince kıyılarda dik bir uçurumların olduğu yerlerde daha az önem arzeden etkileri olmasına rağmen düz kıyılarda ve normal gelgit seviyesinden fazla yüksek olmayan yerlerde, deniz düz kıyılardan içeri doğru girerek önüne çıkan binaları ve her şeyi süpürür. Tsunami dalgalarında kırılmanın etkileride kıyı yakınlarında belirgin bir rol oynar ve özellikle limanlarda hissedilir derecede zararlar oluştururlar [16,17,22].

Eğer tüm dünyanın bir akışkanla örtüldüğü kabul edilirse, dünyanın kendi etrafında dönüşü nedeniyle oluşan Coriolis kuvvet ve yer çekimi etkisi altında ince bir akışkan tabakasının salınımlı hareketleri mümkündür. Bu şekilde gelişen dalgalar Kelvin, Rossby ve değişmiş gravite dalgaları olmak üzere üç kısma ayrılır. Üç kısma ayrılabilen bu dalgalarda görülebilen hareketler iki gruba ayrılabilir. Birinci grupta gravite dalgaları bulunmaktadır ki bu dalgalar eğer yeterince uzun iseler, rotasyon (dönme) nedeniyle değiştirilebilir yada saptırılabilir. İkinci gruptaki hareketler genellikle bir günlük periyotlardan daha büyüktür ve enleme bağlı Coriolis parametresinin değişimiyle birlikte gerçekleşir. Eğer rotasyon sıfıra doğru giderse ikinci grup dalgalar sabit akıntı oluyorken birinci grup dalgalar normal gravite dalgaları olurlar. Eğer yanıl bir sınır ilave edilirse, özel bir tip dalga mevcut olabilir ki ilk olarak Lord Kelvin tarafından bu dalgayı açıklayan çözümü bulunduğundan Kelvin dalgaları olarak adlandırılmaktadır [22].

Gel-git yada med-cezir ay ve güneşin çekim etkileri sonucu oluşan dalgalanmalar olup büyük periyotlu su (24 saat 50 dk) hareketleridir. Özellikle okyanus kıyılarında oluşturdukları su seviyesi değişimleri etkili olmaktadır. Gelgit nedeniyle oluşan akıntılar özellikle kafeslerde balık

yetiştiriciliği ve diğer denizcilik faaliyetleri açısından önemlidir.

1.3.1.3. Deniz Dalga Teorileri

Deniz dalgaları daha öncede değinildiği gibi ilk bakışta belli bir düzensizlik içersindedir. Belirli bir anda belirli bir yerde deniz yüzeyinden alınan dalga kayıtlarında kesin bir şekli olmayan çeşitli yüksekliklerde dalgalar görülür. Mühendislikte bu tür dalgalarla ilgili çalışmalarda dalgaların özelliklerinin kullanılmasında belli kabuller kullanılarak ideal bir dalga (sinüzoidal) tanımı yapılmıştır. Bu tanımda yine daha önce değinildiği gibi sinüzoidal bir şekli olan çukur ve tepelerden oluşan, tepeden tepeye belli bir periyodu ve bir tepeden bir çukura dalga yükseklikleri belirtilmiştir. Ancak bu ideal dalgaların matematiksel olarak ifade edilmesinde, dalga özelliklerinin fiziksel büyüklüklerle temsil edilmesi için dalga formlarını da içeren teoriler ileri sürülmüştür. Bu teorilerden deniz dalgalarını matematiksel olarak ifadesini en iyi şekilde temsil eden en basit teori lineer airy dalga teorisidir. Diğer bilinen dalga teorileri, Stokes ikinci ve üçüncü dereceden teorileri, Stokes beşinci dereceden teori, Cnoidal teori, Solitari, Trokoidal ve Akım fonksiyonu teorileri de yüksek dereceden dalga teorileri olarak verilebilir [18,19,20,23].

1.3.1.4. Lineer Dalga Teorisi

Tüm dalga teorilerinin en basiti ve kullanışlısı küçük genlikli dalga teorisidir. Bu teori airy veya sinüzoidal dalga teorisi olarak da bilinir. Bu teori dalga yüksekliğinin dalga boyu ve su derinliğine nazaran küçük olması kabulüne dayanır.

Lineer teoride hız potansiyeli [18,20];

$$\phi = \frac{H}{2} \cdot \frac{g}{w} \cdot \frac{\cosh ks}{\cosh kd} \cdot \sin(kx - wt) \quad (6)$$

Böylece hız potansiyelinden herhangi bir (x,y) noktasında su partikülü dikey ($U = d\phi/dx$) ve yatay ($V = d\phi/dy$) hız bileşenleri belirlenmektedir. Burada k dalga numarasını ($k = 2\pi/T$), w açısal frekansı ($2\pi/T$), s ise d+z değeri olup d su derinliğini ve z herhangi bir noktanın derinliğini temsil etmektedir.

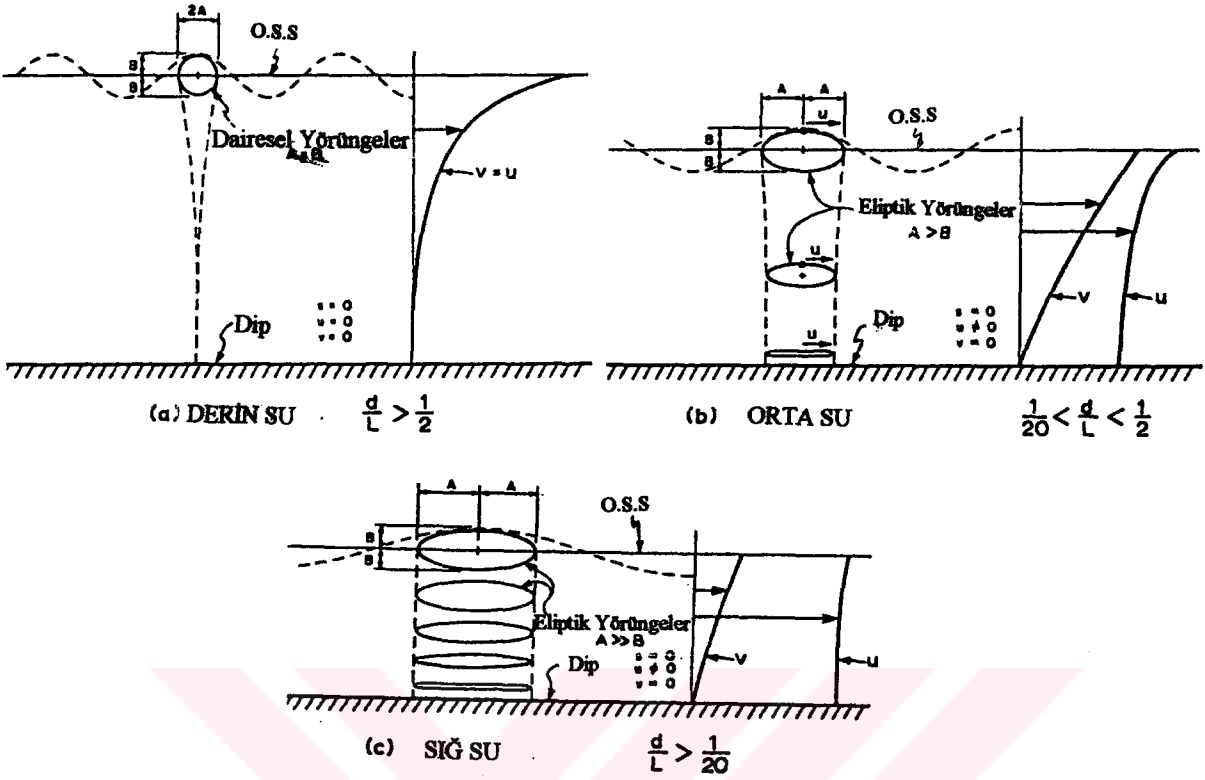
$$U = \frac{g \cdot k \cdot H}{2 \cdot w} \cdot \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cdot \cos(kx - wt) \quad (7)$$

$$V = \frac{g \cdot k \cdot H}{2 \cdot w} \cdot \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cdot \sin(kx - wt) \quad (8)$$

Dalga içersinde su partikül ivmeleri ise su partikül hızlarından türetilerek ($a_x = dU/dt$ ve $a_y = dV/dt$) belirlenir;

$$a_x = \frac{gkH}{2} \cdot \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cdot \sin(kx - wt) \quad (9)$$

$$a_y = - \frac{gkH}{2} \cdot \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cdot \cos(kx - wt) \quad (10)$$



Şekil 20. Lineer teoriye göre su partiküllerinin derin su, orta su ve siğ sularda izledikleri yörünge [20].

Lineer dalga teorisine göre su partikülleri, derin sularda ($d/L > 0.5$) dairevi bir yörünge (Şekil 20a), orta yada geçiş sularında ($1/20 < d/L < 1/2$) eliptik olmaya başlamakta ve siğ sularda ($d/L < 1/20$) tamamen eliptik yada yassı yörüngeler (Şekil 20b,c) takip etmektedirler.

1.3.2. Deniz Akıntıları

Deniz veya okyanus akıntıları, yerçekimi kuvveti, deniz üzerinde rüzgar sürtünmesi ve su yoğunluğu farklılıklarının etkisiyle ortaya çıkan, yatay ve dikey düzlemde görülebilen ve belli bir periyota sahip olmayan (gelgit akıntıları hariç) su dolaşım veya sirkülasyonları olarak ifade edilebilir.

Okyanus akıntılarının yönünü, tipini ve hızını belirleyen bir dizi doğal etmen vardır. Bunlardan başlıcaları, yatay basınç gradyanti kuvvetleri, sıcaklık ve tuzluluk değişkenlerine bağlı olarak deniz suyu yoğunluğunda görülen farklılıklardan kaynaklanan kuvvetler, yerin kendi çevresinde dönüşünden kaynaklanan ve yer yüzeyinde yada yüzeye yakın yerlerde hareket halindeki bütün cisimler üzerinde etkiyen Koriolis kuvvetleri ve okyanus yüzeyinde esen rüzgarların yol açtığı sürtünme ile farklı su katmanları arasındaki sürtünmelerdir. Koriolis kuvvetleri okyanus akıntılarının Kuzey Yarıküre'de saat ibresi yönünde (antisiklonik biçimde), Güney Yarıkürede ise saat ibresi yönünün tersine (siklonik biçimde) hareket etmesine neden olur ve akıntıları rüzgar doğrultusundan yaklaşık 45° saptırır. Bu hareket, halka denilen farklı akıntı sistemlerinin oluşmasına yol açar. Dönme düzenleri antisiklonik halkaların merkezlerinin batıya doğru kaymasına ve kıtaların doğu kıyılarında güçlü batı sınır akıntılarının oluşmasına neden olur. Bunların başlıcaları, Atlas Okyanusundaki Gulf Stream, Kuzey Atlantik Akıntısı ve Norveç Akıntısı ile Büyük Okyanustaki Kuraşio ve Kuzey Pasifik (Batı rüzgarlar) akıntılarıdır. Güney Yarıkürede saat ibresi yönünün tersindeki su dolaşımı, kıtaların batı kıyılarında güçlü doğu sınır akıntılarının oluşmasına yol açar. Bunların en önemlileri, Güney Amerika açıklarındaki Peru (Humboldt) Akıntısı, Batı Afrika açıklarındaki Benguela Akıntısı ve Batı Avustralya Akıntısıdır [16,17,22,24,25].

Karadeniz'deki akıntı sistemi hakkında şunlar belirtilebilir. Karadeniz'in yüzey sularında, saat ibresi yönünün tersine bir akıntı sistemi vardır. Sular, Anadolu kıyıları boyunca doğuya doğru hareket eder. Bu dolaşım halkası, bütün kuzey ve batı kıyıları boyunca ilerleyen suların İstanbul Boğazına yönelmesiyle kapanır. Büyük bir halka oluşturan bu dolaşım sistemi içinde iki küçük dolaşım halkası bulunur. Doğudan kuzeye doğru ilerleyen suların bir

bölümünün Kırım Yarımadasına çarparak güneye dönmesi, Karadeniz'in doğu kesiminde küçük bir akıntı halkası oluşturur. Kırım Yarımadasının batısında da buna benzer bir başka halka vardır. Azak denizinin içinde Karadeniz'deki dolaşım sistemiyle aynı yönde hareket eden akıntılar vardır.

Denizlerde veya okyanuslarda görülen akıntı veya sirkülasyonlar onları oluşturan etkenlere göre beş grup altında toplanabilirler. Bunlar rüzgar akıntıları, termohalin akıntılar, boğaz akıntıları (yoğunluk akıntıları) med-cezir akıntıları, dalga akıntılarıdır.

Rüzgar akıntıları deniz yüzeyi üzerinde hakim rüzgarların oluşturduğu yüzey akıntılarıdır. Akıntı hızı Ekman spiriline göre derinlikle azalmakla birlikte yönü de değişmektedir. Akıntı hızının sıfır olduğu derinlikte akıntı hızı ve rüzgar hızı aynı yöndedir. Bunun yanında, yüzeyde ekvator bölgesi dışında akıntı yönü Koriolis kuvvetinin etkisi nedeniyle rüzgarın yönünden 45° Kuzey Yarıkürede sağa, Güney Yarıkürede sola doğru sapar. Sadece ekvatorunda rüzgarın yönü oluşturduğu akıntının yönüne paraleldir. Yüzey akıntıları Koriolis kuvvetinin yanında zeminin topoğrafik yapısında etkilenirler [16,17,22,24,25].

Yüzey akıntıları genellikle rüzgarların etkisi sonucu oluştuklarından çoğu zaman denizlerin yüzeysel tabakalarında birkaç yüz metre derinliğe kadar etkindirler. Bununla beraber Gulf-Stream gibi yüksek hıza sahip bazı yüzeysel akıntılar 1000 m derinliğe kadar etkili olabilirler [17].

Termohalin akıntılar ise deniz veya okyanuslarda mevsim değişikliği, yağış, buharlaşma, nehir deşajları gibi çeşitli nedenler sonucu oluşan sıcaklık ve tuzluluk değişimleri suyun yoğunluğunu etkileyerek değişimine sebep olurlar. Çeşitli bölge suları ve katmanları arasında oluşan bu yoğunluk farkları sonucu Termohalin akıntılar oluşur. Okyanusların derin kısımlarında gerçekleştikleri için dip su akıntıları da denmektedir [16,17].

Boğaz (Yoğunluk) Akıntıları, okyanusları denizlere veya denizleri denizlere bağlayan dar geçitlerde yani boğazlarda gerçekleşir. Boğaz akıntılarında genelde farklı yönde iki farklı katmanlarda akışın varlığından söz edilir. Birbirine ters yönde akan iki akış arasında bir ara yüzey vardır ve bu ara yüzeyin eğimi genelde yoğunluğun düşük olduğu tarafadır. Boğaz akıntılarında akışı kontrol eden bazı faktörler vardır. Bunlardan biri denizlerin hidrolojik (yağış, buharlaşma ve akarsu deşarj miktarları) durumudur. İkincisi ise boğazların genişlik ve topoğrafik özellikleridir. Örnek olarak İstanbul boğazında var olan Marmara'dan Karadeniz'e daha tuzlu suyun alt akış ve Karadeniz'den Marmara'ya daha az tuzlu suyun bir üst akıntısı şeklinde akmış olduğu boğaz akıntısı verilebilir. Aynı durum Cebelitarık boğazında Atlas okyanusu ile Akdeniz arasında da geçerlidir.

Med-cezir akıntıları genellikle gel-git olayının daha fazla hissedildiği yerlerde etkindir. Açık denizde med-cezir akıntılarının bir önemi yoktur. Ancak kıyılarda akarsu çıkışları, lagün vb gibi kıyısal alanlarda gel durumunda ve git durumunda birbirine zıt yönlerde akıntılar gerçekleşir.

Büyük ölçekli rüzgar etkenli yüzey ve yoğunluk akıntılarının yanında dalgaların oluşturduğu küçük ölçekli akıntılar vardır. Bu tür akıntılar kıyı mühendisliğinde, balıkçılıkta ve turistik faaliyetlerde önemli olmaktadır. Kısa periyotlu dalgaların kıyıya vardıklarında refraksiyon olayı ile dalga cepheleri, taban konturlarının etkisiyle kıyıya paralel duruma gelecek şekilde yön değiştirirler. Normal olarak dalgalar, kıyıya belli bir açı ile gelirler ve kırılan dalgaların momentumu sonucu kıyıya paralel bir akıntı oluştururlar. Bu tip akıntıya, kıyıya paralel akıntı manasınada sahil boyu akıntısı (Longshore veya Littoral current) denmektedir [17,26].

1.3.3. Rüzgarlar

Dünyanın, okyanusların ve atmosferin ana enerji kaynağı güneşten gelen radyasyondur. Radyasyonun zamana ve yere bağlı olarak farklılık göstermesi hava olaylarını ve iklimleri meydana getirir. Dolayısıyla yeryüzeyinin güneşten aldığı enerjinin her tarafta aynı miktarda olmayışı atmosferik sirkülasyonu oluşturmaktadır.

Güneşten gelen enerjinin çoğu ekvator bölgesinde tutulmakta olup diğer yerlerdeki enerji miktarı ekvatora yakınlık ve uzaklığına göre değişmektedir. En fazla enerjiyi Kuzey ve Güney yarı kürelerdeki 30'uncu derece enlemleri arasındaki iki bölge almaktadır. Bu bölge hemen hemen yeryüzeyinin yarısına eşittir. Bu bölgenin dışında kutuplara gittikçe enerji azaldığından her zaman ekvatordan kutuplara doğru (kuzey ve güney kutupları) enerji akımı olmaktadır. Dünyanın dönüşü ve topoğrafik yapının etkileri ile farklı yönlerde hava akımları gerçekleşmektedir [27].

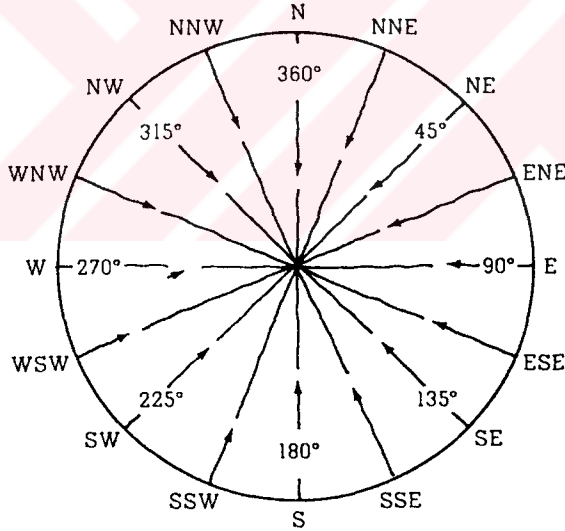
Rüzgar bir hava akımı olup, genel olarak herhangi bir yön ve hız öngörülmeden havanın yeryüzeyine göre hareketi olarak tanımlanır. Fakat meteorolojide, hava hareketinin sadece yeryüzeyine paralel olan bileşenine rüzgar adı verilmektedir. Rüzgar yönü rüzgar oku (jirüet) ile ve rüzgar hızı ise anemometrelerle ölçülür. Ayrıca rüzgarın hem hızını hem de yönünü ölçen anemograf cihazları da vardır.

Rüzgarlar çevreye yaptıkları etkileri ile gözlenebilirler. Rüzgarların etkileri bakımından üç belirgin özelliği vardır. Bu özellikler rüzgarın yönü, hız şiddeti ve esiş frekansıdır [27,28].

Rüzgarın yönü, rüzgarın herhangi bir yere doğru geldiği yöne denir. Rüzgar yönü dört coğrafi ana yönle ifade edilmektedir. Bu dört ana yön Kuzey, Güney, Doğu ve Batı olup sırasıyla N,S,E ve W ile gösterilmektedir. Bunlara ek olarak da dört ara yön vardır ve genelde bunlar birarada gösterilir. Ancak meteorolojik amaçlarla daha ayrıntılı

çalışmalar için derece ile ifade edilen rüzgar yönlerini içeren rüzgar gülleri de kullanılmaktadır. Rüzgar yönlerinin pusula derecelerine göre eşit açılarla birbirlerini kestiği çizgilerle gösterilen şekil rüzgar gülüdür (Şekil 13).

Rüzgar yönü iklimler ve özellikle günlük hava koşulları bakımından önemli olup kendilerini oluşturan hava kütlelerinin özelliklerine göre sıcaklık, soğukluk veya nemlilik, kuruluk getirirler. Kıyılarda denizlerden karalara doğru esen şiddetli rüzgarlar fırtınalara neden olurlar. Örneğin Karadeniz'de yıldız ve karayel fırtınası güçlü ve tehlikeli olurken, Marmara'da önemli bir etkisi görülmez [27,28]. Aksine Lodos Kuzey Marmara'da etkili olup Anadolu'nun Karadeniz kıyılarında zararsızdır. Bunların yanında deniz yolculuklarında, deniz kafeslerinin ve tarım alanlarının kurulmasında rüzgar yönünün özellikle önemi vardır.



Şekil 21. Rüzgar gülü [29]

Klimatoloji çalışmalarında rüzgar yönleri üzerinde önemle durulur ve özellikle hakim rüzgar yönlerinin saptanmasına çalışılır. Hakim rüzgar bir bölgede belirli bir süre içerisinde en çok esen rüzgarlara denilmektedir.

Bunun yanında bir bölgede etkileri ile kendini belli eden karakteristik rüzgarlar üzerinde de yön bakımından durmak gerekir.

Rüzgar hızı, hava kütlelerinin hızı olup saniyede metre (m/sn), saatte kilometre (km/saat) ve knot (denizmili/saat) birimleriyle gösterilmektedir. Herhangi bir yerde rüzgarın hızlı esmesi hava olaylarının güçlü geliştiğini gösteren bir işarettir. Bu olay fırtına olarak adlandırılmaktadır. Bunların iklimsel etkileri yanında canlılar ve cisimler üzerinde menfi etkileri vardır.

Hızla esen rüzgarlar çarptıkları yüzeylere bir basınç yaparlar. Rüzgarın yıkıcı etkisi bu basınçtan dolayıdır. Rüzgarın hareket yönüne dik bir yüzey üzerindeki basınç;

$$S = V^2 \cdot 0.075 \quad (11)$$

formülü ile bulunabilmektedir [27]. Rüzgar hızı V , m/sn cinsindedir ve S ise m^2 'ye etkiyen basınçtır. Buna göre esmekte olan 1 m/sn hızındaki bir rüzgar 1 m^2 'lik bir alana 0.075 kg'lık basınç yaptığı belirlenmiştir.

Rüzgar hızını belirlemek için aletlerin bulunmaması durumunda kuvvet rasatları tahminle yapılır. Tahminler deniz ortamında deniz yüzeyinin görünümüne göre yapılmaktadır. Gittikçe sertleşen hava koşulları 0-12 arasında rakamlarla ölçülendirilmiş, denizcilikte çok kullanılan Bofor skalasına göre numaralandırılmıştır. Yer rüzgarının kuvveti Beaufor rüzgar skalasına göre belirlenir. Bofor skalasıyla deniz durumu belirlenebildiği gibi rüzgar hızları (Denklem 12), dolayısıyla karada ve denizde cisimler üzerinde uyguladığı basınç ve dalga yükseklikleri tahmin edilebilmektedir. İlk olarak İngiliz amirali Beaufor tarafından 1806'da geliştirilen bu skala 12 veya 17 ölçekli olup;

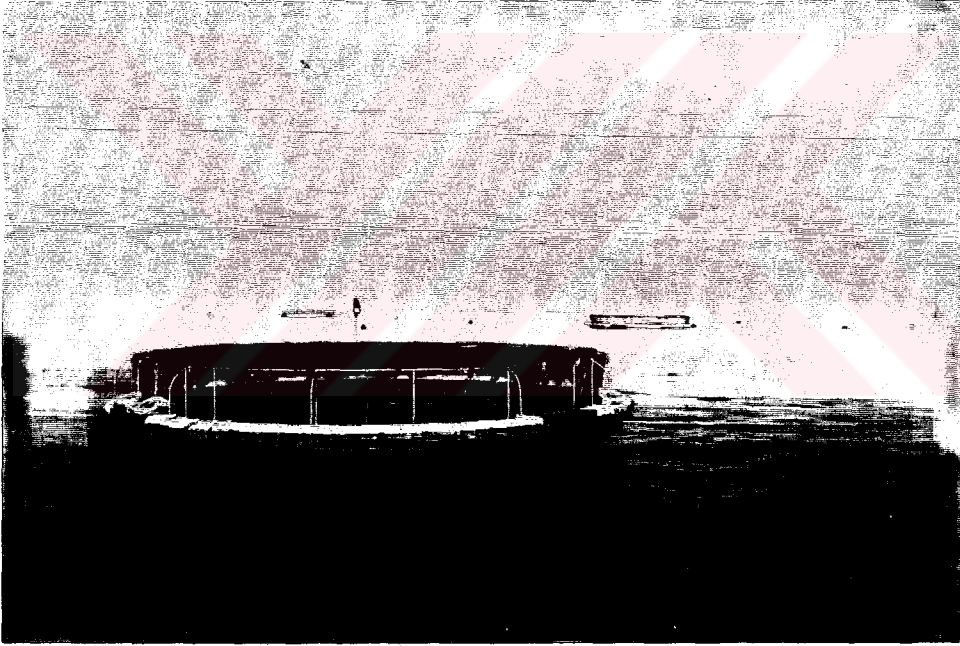
$$V = 0.863 \cdot \sqrt{B^3} \quad (12)$$

eşitliğine göre düzenlemiştir. Bu formülde V (m/sn) rüzgar hızı ve B ise Beaufor rüzgar kuvvetidir.

Rüzgar yönleri zaman zaman değişebilmektedir ve bu değişmeler hava koşulları üzerinde önemli etki yapar. Bu nedenle rüzgarın hangi yönden ne kadar süreyle ve ne sıklıkta estiği bilinmesi gerekir. Buna göre bir rüzgarın esme sayısına veya esiş sıklığına o rüzgarın frekansı denilir. Frekans, sözkonusu rüzgarın esme süresi veya sayısının, belirli zaman aralıklarına göre (gün, ay, yıl) % oranı belirtilerek ifade edilir. Rüzgar frekans diyagramları yada rüzgar gülü diyagramları ile rüzgar esme sıklıkları gösterilebilmektedir. Rüzgar frekans diyagramlarının harita üzerinde istasyonlar üzerine yerleştirilmesiyle rüzgar haritaları gerçekleştirilir. Rüzgar frekansları karışık gibi görünmekle birlikte basıncın günlük, aylık ve mevsimlik değişimlerine uyarak az çok düzenli bir gidiş gösterir. Bu nedenle belli basınç merkezlerinin olduğu bölgelerde aylık ve yıllık rüzgar diyagramları hemen hemen benzerdirler. Bunun sebebi bu bölgelerde belirli zamanlarda belirli rüzgarların esmesidir [28].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Trabzon kıyılarında balık yetiştiriciliği amacıyla kullanılan deniz kafeslerine (Şekil 22) etkiyen rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel kuvvetlerin belirlenmesine çalışılmıştır.



Şekil 22. Trabzon kıyılarında kullanılan tipik bir deniz kafesi

Çalışma sahası olarak son yıllarda deniz kafeslerinde balık yetiştiriciliğinin oldukça yaygınlaşmış olduğu 40° - 41° N enlem ve 39° - 41° E enlemleri arasında kalan Trabzon kıyıları seçilmiş olup bu bölgede oluşan meteorolojik ve oşinografik koşullar göz önüne alınmıştır.

2.1. Yöntem

2.1.1. Dalga Kuvvetlerinin Belirlenmesi

Deniz dalgaları kafeslerin daha çok yüzdürücü yaka elemanları ve ağ torbası üzerinde etki oluşturur. Ancak dalgalar sahip oldukları enerjilerinin büyük bir kısmını yakalar üzerinde harcarlar [3]. Bu nedenle deniz dalgalarının kafesler üzerindeki etkileri incelenirken silindirik yapıda olan yüzdürücü yaka elemanları üzerindeki dalga kuvvetleri ön planda tutulmaktadır.

Bu çalışmada, deniz kafesi yakaları üzerine etkileyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

Deniz dalgaları bir çok yönden ve çok sayıda değişik dalga boy ve yüksekliklerinde kafese doğru geldiğinden kafese etkileyen dalga kuvvetlerini belirlemek oldukça zordur. Bu nedenle deniz yüzeyi lineer dalga teorisinde olduğu gibi sinüzoidal dalgaların oluşturduğu teorik bir deniz yüzeyi olarak kabul edilmiştir.

Dalga kuvveti hesaplamalarında dalga yüksekliği parametreleri olarak belirgin dalga yüksekliği (H_s veya $H_{1/3}$), ortalama dalga yüksekliği (H_{ort}) ve en büyük dalga yüksekliği veya maximum dalga yüksekliği (H_{max}) deniz durumunu temsil eden parametreler olarak kullanılmıştır.

Kıyı ve açık denizde dalgalara maruz kalan deniz kafeslerinin yüzdürücü yakalarının silindirik bir yapıda olduğu kabul edilmiştir.

Silindirik bir yapıda bulunan borulardan oluşan yüzdürücü yakaların su içersine tamamen batmış ve su yüzeyine paralel olarak yatay düzlemde bulunduğu varsayılmıştır.

Dalgaların ilerleme doğrultusu ile kafes yakalarını oluşturan silindirik elemanların normalleri arasındaki açının sıfır olduğu yada silindir elemanlara dik olarak

geldiği kabul edilmiştir.

Dalga kuvvetlerinin hesabında dalga kinematikleri (su partikül hız ve ivmeleri) belirlenirken yine lineer airy dalga teorisi kullanılmıştır.

Deniz kafeslerinin yerleştirildiği ortam ister kıyı, ister açık deniz olsun kafesleri etkileyen dalgaların kırılmadığı yani dalgaların kafesi geçtikten sonra yine dalga özelliğini koruduğu kabul edilmiştir. Bir başka deyişle deniz kafeslerinin dalga kırılma bölgesi dışında yerleştirildiği kabul edilmiştir.

Bu kabuller ışığında deniz ortamında dalgaların etkilerine maruz kalan kafes yakalarını oluşturan silindir yapılara etkileyen kuvvetler genel olarak üç methodla bulunabilir. Bu methodlar Morison, Froude-Krylov ve Difraksiyon methodlarıdır [13,20].

Morison denklemi, dalga boyuna nazaran silindir yapının çapının oldukça küçük olması ve dolayısıyla sürtünme etkisinin belirgin yada önemli olduğu suya tamamen batmış silindirik elemanlar üzerine etkileyen kuvvetlerin bulunması için uygundur [13]. Morison denkleminde dalga kuvveti sürtünme ve atalet kuvvetlerinden oluşmaktadır.

Sürtünme etkisinin küçük olduğu zaman atalet kuvvetinin etkisi dominant (baskın) bir durumdadır. Ancak silindirik yapı dalga boyuyla karşılaştırıldığında küçük olmadığı ve difraksiyon oluşturmayacak ölçüde de büyük olmadığı durumda Froude-Krylov methodu kullanılabilir. Bu teori, beklenen dalga basıncını ve basınç alanı methodunu yapı yüzeyindeki kuvveti hesaplamak için kullanır.

Deniz kafesini oluşturan yapıların boyutunun dalga boyuyla karşılaştırılabilecek ölçüde büyük olduğu durumlarda yapının varlığı çevresindeki dalga alanını değiştirir. Bu durumda dalgaların yapıların yüzeyinden difraksiyonu dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde hesaba katılmalıdır. Bu teori daha çok gemi ve tankerler için kullanılabilir. Ayrıca büyük çaptaki rijid balık çiftliği kompleksitelerinde de (aqua

system 104, seacon) kullanılabilir.

Burada adı geçen metodlardan Morison ve Froude-Krylov metodları, Trabzon ve çevresinde kullanılan deniz kafeslerinin yakalarına etkiyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesi için uygun bulunmuştur. Çünkü kafeslerin yakalarını oluşturan silindirik elemanlar dalga boylarına nazaran oldukça küçüktürler. Dalgalar üzerinde difraksiyon olayı gerçekleşemeyeceğinden veya ihmal edilebilecek ölçüde olabileceğinden difraksiyon teorisi kullanılmayacaktır.

Deniz kafeslerinin silindirik yapıda olan yüzdürücü yakaları üzerinde oluşacak dalga kuvvetleri F , aşağıdaki parametrelere bağlıdır [20].

$$F(H, t, T, D, L, U_0, q, v) \quad (13)$$

Burada H dalga yüksekliği, t zaman, T dalga periyodu, L dalga boyu, U_0 maksimum yatay su partikül hızını, q suyun yoğunluğunu ve v ise kinematik viskoziteyi temsil etmektedir. Bu parametreler kullanılarak bazı boyutsuz büyüklükler üretilmiştir [19,20,30]. Bunlar;

- t/T : Boyutsuz zaman
- $U_0.T/D$: Keulegan-Carpenter sayısı
- $U_0.D/v$: Reynolds sayısı
- $\pi.D/L$: Difraksiyon parametresi

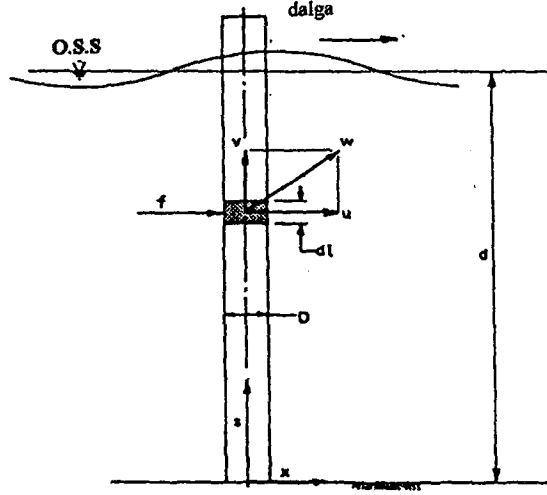
Bu boyutsuz büyüklüklerden difraksiyon parametresi önemli difraksiyon etkisini belirlerken, Keulegan-Carpenter sayısı önemli sürtünme etkisinin bir ölçüsüdür. Keulegan-Carpenter sayısı yapının çapının su partikülü yörünge çapına oranına eşdeğerdir. Oysa difraksiyon parametresi yapı çapının dalga boyuna oranına eşdeğerdir. Keulegan-Carpenter sayısı büyük olduğu zaman difraksiyon parametresi küçük olmaktadır. Bu durum karşılıklı olarak geçerlidir. Böylece büyük difraksiyon etkisi demek küçük sürtünme etkisi

demektir ve tam tersi bir durumda sürtünme etkisi büyük olduğunda difraksiyon ihmal edilebilir. Bu boyutsuz sayılardan Re sayısı ise silindir yakanın etrafındaki akışın özelliklerini temsil etmektedir. Re sayısı sürtünme ve atalet kuvvet katsayılarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [19,20,30,31,32].

2.1.1.1. Morison Metodu

Deniz yapılarını oluşturan elemanlar üzerine etki eden dalga kuvvetlerini belirlemek oldukça karmaşık bir olaydır. Çünkü aynı anda bir çok değişik özellikteki akışlar birarada bulunabilir. Yani akıntı ve dalga olayları aynı anda yapıları etkileyebilmektedir. Ancak bu olayları ayrı ayrı ele almakta fayda vardır. Bu nedenle bu çalışmada deniz kafes yapılarını oluşturan silindirik borulara etkiyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesi ilk planda amaçlanmıştır.

Silindir yapılarına etkiyen dalga kuvvetleri silindirin çapının dalga boyuna nazaran küçük olması koşuluyla Morison denklemi ile belirlenebilir [13,20]. Morison denklemi Morison, O'Brien, Johnson ve Shaaf (1950) tarafından, dipten su yüzeyine uzanan dikey bir kazık üzerindeki yatay dalga kuvvetlerinin belirlenmesi için geliştirilmiştir [20]. Morison teorisinde, deniz tabanından su yüzeyine uzanan dikey bir silindire etkiyen dalga kuvvetinin atalet ve sürtünme kuvvetlerinin bir kompozisyonu olduğu ileri sürülmektedir (Şekil 23). Atalet kuvvetinin temel prensibi dalga içerisinde hareket eden bir su partikülünün taşımış olduğu momentumdan dolaydır. Bu momentum dairesel silindirin etrafından geçen su partikülünü hızlandırır ve daha sonra yavaşlatır. Bu durumda momentumun artırılması için silindir üzerinde kuvvet uygulanmasından dolayı bir iş yapılır.



Şekil 23. Dikey bir silindire etkiyen dalga kuvveti (20).

Sürtünme kuvveti bileşeninin temel sebebi silindirin akış yönündeki kenarı üzerinde bir akış alanının varlığıdır. Uniform dalgalarda dikey bir silindire rotasyonel hız ve ivme vektörleri ile açıklanabilen bir akış alanı uygulanır. Bunlar silindirin eksenlerindeki içeren aynı dikey düzlemlerdir. Bu büyüklükler silindir boyunca yer ve zamanın fonksiyonudurlar. Bu akışın esas özelliklerinden bazıları iki boyutlu salınım şartlarında incelenecektir. Hem silindir hem de sıvı düz bir hata göre salınmaktadır. Beklenen hız ve ivme vektörleri genellikle kesişmekte olup silindir eksenine dikeydirler ve zamanla önemli ölçüde salınmaktadır.

Morison denklemine göre; bu durumda hız ve ivme vektörleri ile boylamasına birim uzunluğa etkiyen toplam kuvvet, atalet ve sürtünme bileşenlerinin toplamıdır [19,20,30,31,32,33].

$$F_T = F_d + F_m \quad (14)$$

$$F_T = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot D \cdot U \cdot |U| + \frac{1}{4} \cdot C_m \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot dU/dt \quad (15)$$

Bu denklemde F_D sürtünme kuvveti, F_m atalet kuvvetini temsil etmektedir. C_D ve C_m sırasıyla zamandan bağımsız sürtünme ve atalet katsayılarıdır. U dalga içersindeki ani su partikül hızı, dU/dt su partikülü ivmesi, q akışkanın yoğunluğu ve D ise silindirin çapıdır.

Bu denklem dikey silindirler için geçerli olduğundan açık deniz platformlarında ve diğer deniz yapılarının dikey silindirik elemanlarına gelen kuvveti bulmak için kullanılabilir. Ancak balık ağ kafeslerinin taşıyıcı yakaları su yüzeyinde yatay bir şekilde yüzdüklerinden yakalara gelen dalga kuvvetleri bu formülle bulunamaz. Yatay silindirler üzerine gelen dalga kuvvetleri için yapılmış bir çok çalışma vardır. Bu çalışmalardan Holmes ve Chaplin [31] 'ın yaptığı çalışmada yatay silindirlere gelen dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde, dikey silindirler için geçerli olan Morison'un orjinal formülü yatay silindirler için şöyle düzenlenmiştir (Denklem 17) [31].

$$F_T = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot q \cdot D \cdot \Omega^2 \cdot R^2 + \frac{1}{4} \cdot C_a \cdot \pi \cdot D^2 \cdot q \cdot \Omega^2 \cdot R + M \cdot \Omega^2 \cdot R \quad (16)$$

Bu formülasyonda R su partikülü yörünge çapı, M silindirin birim uzunluğunun kütlesi, C_a eklenmiş kütle katsayısı olup $C_a = C_m - 1$ olarak verilmektedir ve Ω ise $2\pi/T$ olup açısal frekansı temsil etmektedir. Bu formülde birinci kısım sürtünme kuvveti, ikinci kısım ise atalet kuvveti terimleridir. Bu kuvvetlerin katsayıları C_D ve C_a sırasıyla sürtünme ve eklenmiş kütle katsayıları genellikle bu konuyla ilgili problemlerin ana konusu olmaktadır. Bu katsayılar çoğunlukla deneysel olarak belirlenmektedir. Ancak her zaman bu konuda geniş deneysel çalışmalar yapmak mümkün olmadığından daha önce yapılmış belli boyutsuz sayılara göre (Re , KC ve k/D pürüzlülük parametresi) katsayıların seçilmesi daha uygun görülmektedir. Nitekim düzgün ve pürüzsüz bir silindir etrafındaki hem silindir hem de akışkanın iki boyutlu salınlı akışındaki (planar oscillatory flow) uygulamalardan

Sarpkaya [20,30], C_D ve C_m 'in Keulegan-Carpenter sayısı ve $2 \cdot 10^4$ 'den büyük Reynolds sayılarında fonksiyonları olduğunu ileri sürmüştür. Bunun yanında Moe [30], deniz kirliliği, yosunlaşma ve deniz canlılarının silindirlere tutunmasıyla oluşan fouling olayını da ifade edip pürüzlülük oluşan silindirlere ilgili hidrodinamik katsayıların;

$$[C_D, C_m] = f (KC, Re, k/D) \quad (17)$$

KC, Re sayısı ve k/D pürüzlülük parametresi gibi boyutsuz sayıların fonksiyonu olduğunu ileri sürmektedir. Ayrıca Holmes ve Chaplin [30] yaptığı çalışmalar sonucunda C_D ve C_a katsayılarının Re ve KC sayılarının fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.1.2. Froude-Krylov Metodu

Froude-Krylov metodu, dalga boyu ile karşılaştırılabilir boyutta olan küçük yapılara etkiyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak yapıya etkiyen atalet kuvveti sürtünme kuvvetine nazaran dominant (daha etkili) olması gerekmektedir. Ayrıca yapı yüzeyinde dalga difraksiyonu yada yansıması olayının gerçekleşmediği kabul edilmektedir. Eğer yapı dalga yansımasına olanak sağlayacak ölçüde büyükse o zaman difraksiyon teorisi kullanılmaktadır. Buna göre Froude-Krylov metodunda yatay silindirlere etkiyen dalga kuvveti bulunabilir [13,20].

Froude-Krylov metodu, silindir yüzeyine etkiyen dalga basıncına dayanmaktadır. Lineer dalga teorisine göre dinamik dalga basıncı [20,18];

$$P = q \cdot g \cdot H / 2 \cdot \frac{\cosh ks}{\cosh kd} \cdot \cos (kx - wt) \quad (18)$$

Silindire etkiyen kuvvet, suya batırılmış cismin belli bir noktada yüzeyi üzerine dik olarak etkiyen statik kuvvettir. Yapı üzerinde özel bir yöndeki toplam kuvvet cismin batan kısmı üzerinde bu yöndeki basıncın bileşenlerinin entegrasyonu ile elde edilir. x ve y yönlerindeki yatay ve dikey kuvvet bileşenleri ;

$$F_x = C_H \iint_S P \cdot n_x \cdot dS \quad (19)$$

$$F_y = C_V \iint_S P \cdot n_y \cdot dS \quad (20)$$

Burada, C_H ve C_V sırasıyla yatay ve dikey kuvvet katsayılarıdır. n_x ve n_y ise x ve y yönlerindeki normalerin yönüdür. dS batmış yapının elemanter yüzey alanıdır. Entegrasyon yapının batmış yüzeyi üzerinde gerçekleştirilir.

Yatay silindir durumunda, silindirin yeterince uzun olduğu ve silindirin uç kısımlarının etkilerinin ihmal edildiği kabul edilmektedir. Dalganın yönü silindir eksenine dikey olarak kabul edilmekte ve problem iki boyutlu olarak düşünülmektedir.

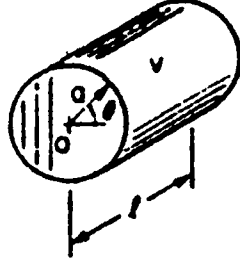
Silindirik polar koordinat sisteminde, okyanus tabanından S_0 'la verilen silindir ekseninin yükselimi uygun şekilde kullanılır. Silindirin a yarıçapına, dalga geliş yönü ile arasında Q açısına ve l boyuna sahip olduğu kabul edilmektedir (Şekil 24). Buna göre silindirik koordinat eksenleri;

$$x = a \cdot \cos Q \quad (21)$$

$$s = a \cdot \sin Q + S_0 \quad (22)$$

şeklindedir. Silindir üzerinde dS elemanter alanı ise;

$$dS = a \cdot l \cdot dQ \quad (23)$$



Şekil 24. Yatay silindir [20]

Silindir yüzeyi üzerinde bir dS elemanter yüzeyi üzerindeki hidrodinamik basıncın değişimi yalnızca silindirin uzunluğuna dikey yöndedir. Böylece yatay yöndeki kuvvet;

$$F_x = C_H \cdot q \cdot \pi \cdot a^2 \cdot L \cdot \frac{gkH}{2} \cdot \frac{\cosh kS_0}{\cosh kd} \cdot \sin wt \quad (24)$$

$$F_y = C_V \cdot q \cdot \pi \cdot a^2 \cdot L \cdot \frac{-gkH}{2} \cdot \frac{\sinh kS_0}{\cosh kd} \cdot \cos wt \quad (25)$$

Bu denklemler silindir hacmi ve dalga su partikülü ivmelerinin yatay ve dikey bileşenlerinin cinsinden yazılırsa;

$$F_x = C_H \cdot q \cdot V \cdot \dot{u} \quad (26)$$

$$F_y = C_V \cdot q \cdot V \cdot \dot{v} \quad (27)$$

Burada F_x ve F_y sırasıyla yatay ve dikey Froude-Krylov kuvvet bileşenleri, q ; deniz suyu yoğunluğu (1025 kg/m^3), V ; silindir hacmi ve u, v ise yine sırasıyla dalga içersindeki su partiküllerinin yatay ve dikey ivme bileşenleridir.

Bunların yanında C_H ve C_V ise yatay ve dikey kuvvet katsayıları olup yapıların şekilleri ve diğer özellikleriyle değişebilen katsayılardır. Yatay silindirlere için bu katsayıların belirlenmesinde $k.a$ difraksiyon parametresi dikkate alınmaktadır. Buna göre 0-1 arasındaki ka değerleri için yatay ve dikey kuvvet katsayıları 2 alınabilmektedir [20]. Difraksiyon parametresinde ($k.a$), k ; dalga numarasını ve a ise silindir yarı çapını temsil etmektedir. Bu çalışmada incelenen silindirlere için $k.a$ parametresi 0.0019 ile 0.0096 arasında değiştiği görülmüştür. Bu nedenle Froude-Krylov kuvveti hesabında yatay ve dikey kuvvet katsayıları için 2 değeri kullanılmıştır .

Froude-Krylov metoduna göre yatay silindirlere etkiyen dalga kuvvetleri yatay ve dikey bileşenlerinin bileşkeleri belirlenerek birim uzunluğa etkiyen toplam kuvvet belirlenebilmektedir.

2.1.2. Rüzgar ve Akıntı Kuvvetlerinin Belirlenmesi

Deniz ağ kafeslerinde gerçekleştirilen balık yetiştiriciliği açısından kafeslerin yerleştirilmiş oldukları ortamda esen rüzgarlar ve deniz yüzey akıntıları oldukça önemlidir. Çünkü kafesler deniz tabanına veya kıyıya bağlanmalarına rağmen şiddetli rüzgar ve akıntılarla sürüklenebilir ve kafes elemanlarına özellikle ağ torbada şekil bozulması veya hacim azalması gibi olumsuz etkiler oluşturabilirler. Bunun yanında ağ kafes içerisindeki su değişimi ve atıkların uzaklaştırılması açısından da kafeslerin bulunduğu ortamda 0.1 m/s den az ve 0.6 m/s den çok olmamak şartıyla deniz yüzey akıntıları olması istenen bir durumdur [6,12,26]. Bu nedenlerden dolayı gerek proje ve gerekse daha ileri aşamalarda deniz ağ kafeslerinin yerleştirilecekleri bölge rüzgar ve akıntılar açısından değerlendirilmelidir. Bu amaçla bu çalışmada Trabzon ve çevresinde görülen rüzgarlar incelenmiş olup deniz ağ

kafesleri için etkili olan en hızlı esen rüzgarlar yönlerine göre esme sayıları ve şiddetleri belirlenmiştir.

Deniz kafeslerini etkileyen etkenlerden biri olan deniz akıntılarının toplam hızı rüzgar kaynaklı akıntı ve gelgit akıntı bileşeni olarak ayrılabilir. Karadeniz küçük bir iç deniz olması nedeniyle gelgit seviyesi 0.1 m'den az olmak üzere oldukça düşüktür [34]. Bu nedenle gelgit akıntı bileşeni ihmal edilebileceğinden Karadeniz'deki yüzey akıntılarının rüzgar kontrolünde olduğu söylenebilir. Balıkçılık teknolojisinde deniz kafeslerinin projelendirilmesinde rüzgar orijintli yüzey akıntısı çoğunlukla en hızlı rüzgar hızının % 2'si olarak tahmin edilmektedir [12]. Buna göre Trabzon kıyıları ve açıklarında en hızlı ani esen rüzgarların oluşturacağı yüzey akıntıları 5.8-51.84 cm/sn aralığında en hızlı yüzey akıntıları olarak belirlenmiştir. Bunun yanında genelde Karadeniz'de akıntı sistemi saat ibresine ters yönde dairesel bir harekete sahiptir. Karadeniz'in doğu ve batısında olmak üzere iki farklı döngüden oluşan bu akıntı sisteminde Trabzon kıyıları ve çevresinde kıyıya yakın yerlerde 10-20 cm/sn ve daha açıklarda ise 20-30 cm/sn'ye çıkan akıntılara rastlanmaktadır [35].

Kafes sistemlerinin tümü için rüzgara maruz kalan alanın önemli bir kısmı balıkların sıçrayıp kaçmalarını önleyen sıçrama ağlarıdır. Akıntı kuvvetlerinin olduğu esas kafes elemanları ise ağ torbalardır. Trabzon ve çevresinde kullanılan deniz kafeslerinin sıçrama ağ yükseklikler genelde 1-1.5 m olup 9-10 m çaplarında kafesler 7-14 m arasında derinliklerde ağ torbalara sahiptirler [4]. Rüzgar ve deniz akıntıları kafesler üzerindeki etkilerini ağ paneller üzerinde sürtünme kuvveti olarak göstermektedirler.

Rüzgar ve akıntı kuvvetlerinin tahmininde bazı formülasyonlar kullanılır. Genel olarak sürtünme kuvveti, rüzgar veya akıntı hızları, etkilediği dikey alan ve ortamın yoğunluğu ile orantılıdır [3,9,36].

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot q \cdot C_d \cdot V^2 \cdot A \quad (28)$$

Burada, F_s sürtünme kuvveti, q suyun veya havanın yoğunluğu, V rüzgar veya akıntı hızı, C_d sürtünme katsayısı ve A ise akıntı ve rüzgar etkisine maruz kalan alan olup rüzgar ve akıntının bu alana dikey olarak etkidiği kabul edilmektedir.

Yukarıda verilmiş olan genel sürtünme kuvveti denklemi ağ panellerindeki sürtünme kuvvetini, ağların ağ yapısı özelliklerinden dolayı temsil etmemektedir.

2.1.2.1. Rüzgar Kuvvetlerinin Belirlenme Yöntemi

Bu çalışmada ağ kafesler üzerindeki rüzgar kuvvetlerinin belirlenmesinde aşağıdaki formüller kullanılmıştır [3,36,37].

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot q \cdot k \cdot V^2 \cdot 10^{-2} \quad (29)$$

$$F_w = 0.0965 \cdot A \cdot V^2 \quad (30)$$

Burada F_w rüzgar kuvveti (kg), V rüzgar hızı (m/sn), k sürtünme katsayısı olup $k=1-B/2$ 'dir. B ise blokaj katsayısıdır ve $B=(1-d/L)^2$ 'dir. Ayrıca d ağ iplik çapı (mm) ve L ise ağ göz açıklığının yarısına eşdeğer kol boyudur. A ağ panelinin tasarlanan alanı (m^2) ve q ise havanın yoğunluğu olup 1.227 kg/m^3 alınmaktadır.

Deniz kafeslerinin ağısı olmayan ve korkuluklar, servis yolları, yemlikler gibi üst yapıyı oluşturan katı ve dolgun yapılar üzerinde oluşan rüzgar kuvvetleri Boven, 1968 denklemi (30) kullanılarak belirlenmiştir [3]. Bunun yanında su hattı üzerinde, rüzgarın etkisinde bulunan ağlara etkileyen rüzgar kuvvetlerinin belirlenmesinde Pankhurst ve Holder, 1952 denklemi (29) kullanılmıştır.

Rüzgar kuvvetlerinin hesabında anlık en şiddetli rüzgarlar kullanılır [12]. Bu nedenle bu çalışmada Trabzon Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğünden alınan rüzgar verilerinden, 1938-1994 yılları arasında her yılın on iki ayı için en hızlı rüzgar hızları ve yönleri tesbit edilmiştir. Bu veriler ışığında Trabzon için en hızlı rüzgarların mevsimlere göre dağılımı ve hakim rüzgar yönleri, ayrıca en hızlı rüzgarların şiddetleri de analiz edilip rüzgar esme yönlerine göre dağılımları belirlenmiştir. Bunların yanında Trabzon için saatlik rüzgar verileri kullanılarak 1949-1990 yılları arasında uzun yıllar genel rüzgar durumları incelenmiştir.

2.1.2.2. Akıntı Kuvvetlerinin Belirlenme Yöntemi

Deniz ortamında bulunan balık yetiştirme kafeslerine etki eden diğer bir faktör de deniz yüzey akıntılarıdır. Akıntılar kafeslerin su içersinde bulunan tüm elemanları ile ilişki içersindedir. Ancak balık yetiştiriciliğinde ağ torba üzerinde oluşan akıntı kuvvetleri önem arz etmektedir. Dolayısıyla ağ torba üzerine gelen akıntı ağ torbanın genel şeklinin bozulmasını ve sahip olduğu haciminin azalmasını sağlar. Bu durum genellikle ağların dip kısımlarında köşelere 15-20 kg'lık ağırlıkların bağlanmasıyla önlenir. Bunun yanında akıntılar taşıyıcı çerçeve ve yüzdürücüler üzerinde de kuvvetler oluştururlar. Ancak bu çalışmada akıntıların ağlar üzerine etkileyen kuvvetleri üzerinde durulacaktır.

Deniz kafesinin ağ torbasını oluşturan ağ paneline veya ağ gözlerine doğru akan su panel üzerinde bir yük oluşturur. Panel üzerine etkileyen yük, kullanılan doğal malzemeye, ağ gözünün şekil ve boyutuna, akıntı hızı ve suyun yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir [3,36,37].

$$F_c = C_d \cdot q \cdot V^2 \cdot A / 2$$

(31)

Burada, F_c akıntı tarafından panele uygulanan kuvvet (kg), C_d ağ panelinin sürtünme katsayısı (boyutsuz), q suyun yoğunluğu (kg/m^3) olup deniz suyu için 1025 kg/m^3 alınmıştır. V akıntı hızı (m/sn) ve A ise ağın tasarlanan alanıdır (m^2). Ağ malzemelerin C_d sürtünme katsayıları ağların düğümlü, düğümsüz ve kirlenmiş (fouling), temiz olmalarına göre değiştiğinden uygulamalı olarak belirlenmektedir. Metal ağ gözleri dışındaki malzemeler için C_d değerleri uygulamalı olarak yaklaşık bir şekilde aşağıdaki formüllerle bulunmaktadır [3,36,37,38].

$$C_d = 1 + 3.77 (d/L) + 9.37 (d/L)^2 \quad (32)$$

$$C_d = 1 + 2.73 (d/L) + 3.12 (d/L)^2 \quad (33)$$

Ağ panellerinin sürtünme katsayıları belirlenirken, düğümlü ağlar için 32. denklem, düğümsüz ağlar için ise 33. denklem kullanılmaktadır. Burada d iplik yarıçapını (mm), L ağ gözü kol boyunu temsil etmektedir. Buna göre sürtünme katsayısının kol boyu arttıkça azaldığı, iplik yarıçapı ise arttıkça sürtünme katsayısının artacağı görülmektedir. Bir başka deyişle fouling (yosunlaşma) oluşmuş ağlar için sürtünme katsayısının çok daha büyük olacağı açıktır.

Doğu Karadeniz ve Trabzon kıyılarında balık yetiştirmek amacıyla kullanılan deniz kafesleri, genellikle 9-10 m çaplarında dairesel kafesler olup 7-14 m derinliklerinde ağ torbalara sahiptirler. Bu ağ torbalarını oluşturan naylon ağ materyali düğümlü olup, yetiştiriciliğin başlangıcında denize atılan 30-40 gr'lık balıklar için 14 mm göz açıklığında ağlar kullanılmaktadır. Daha sonra balıklar büyüdükçe ağ göz açıklıkları artırılmaktadır [4].

Bu çalışmada, Trabzon kıyılarında kullanılan deniz kafeslerinin ağ torbaları üzerindeki akıntı kuvvetlerinin belirlenmesinde 31. denklem kullanılmış olup ağların sürtünme katsayılarının tespitinde 32. denklem kullanılmıştır.

Sürtünme katsayılarının belirlenmesinde ilk önce 14 mm göz açıklığında ve daha sonra gittikçe artırılmak üzere 20, 25, 30, 40 ve 50 mm göz açıklıklarında ağlar kullanılmıştır. Ağların iplik çapları naylon ağ olduklarından 2.3 mm alınmıştır [3].

2.2. Veriler

2.2.1. Dalga Verilerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, deniz kafeslerini etkileyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde deniz dalgalarının temel karakteristikleri olan yükseklik, peryod ve boy parametreleri kullanılmıştır.

Trabzon kıyılarında dalga ölçümleri henüz yapılamadığından gerçek dalga verileri elde bulunmamaktadır. Ancak Bilgin ve ark.[39,40] tarafından kıyı meteoroloji istasyonları rüzgar verileri ve meteoroloji genel müdürlüğü tarafından günde dört adet yayınlanan sinoptik kartlar yardımıyla derin deniz dalga tahminleri yapılmıştır. Buna göre Trabzon kıyılarında görülebilecek dalgalar, belirgin dalga yüksekliği parametresi kullanılarak görülebilecek sıklığı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Trabzon kıyılarında görülebilecek derin deniz dalga yükseklikleri [39,40]

| Tekrar per. | Sinoptik Harita | | Meteoroloji ist. | |
|-------------|-----------------|----------|------------------|----------|
| | H1/3(m) | T1/3(sn) | H1/3(m) | T1/3(sn) |
| 10 | 5.36 | 9.26 | 2.30 | 6.07 |
| 25 | 6.09 | 9.88 | 2.67 | 6.54 |
| 50 | 6.63 | 10.30 | 2.91 | 6.83 |

Tablo 1'de Trabzon kıyıları için sinoptik haritalar ve meteorolojik istasyonlardan alınmış saatlik rüzgar

verilerine göre tahmin edilmiş belirgin dalga yükseklikleri görülmektedir. Bu dalga yüksekliklerine dikkat edildiğinde sinoptik haritalardan elde edilen dalga yüksekliklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bilgin [40] sinoptik haritalardan elde edilen dalga verilerinin daha güvenilir olduğunu ileri sürmektedir. Bu nedenle bu çalışmada sinoptik haritalardan elde edilmiş dalga verileri kullanılmıştır.

Tahmin edilmiş bu dalga verileri Trabzon kıyılarında görülebilecek belirgin dalga yükseklikleridir veya bir başka deyişle belli bir yerde belli zaman aralıklarında görülebilecek en yüksek dalgaların üçte birinin ortalamasıdır. Bunun yanında o bölgede görülebilecek ortalama ve en yüksek dalgalar ortalama ve en yüksek dalga kuvvetlerinin hesaplanması açısından önemlidir. Bu amaçla bunları belirlemek için belirgin dalga yüksekliği ile bazı dalga parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren Rayleigh olasılık dağılımı tablosu (Tablo 2) kullanılmıştır [18].

Tablo 2. Belirgin dalga yüksekliği ile diğer dalga parametreleri arasındaki ilişkiler [18]

| Dalga Parametresi | İlişki |
|------------------------------|--------|
| Belirgin dalga yüksekliği | 1.00 |
| Ortalama dalga yüksekliği | 0.64 |
| En yüksek % 10'un ortalaması | 1.29 |
| En yüksek % 1'in ortalaması | 1.68 |
| Maksimum dalga yüksekliği | 1.87 |

Böylece belirgin dalga yükseklikleri ile birlikte ortalama ve maximum dalga yükseklikleri de elde edilebilir. Bunların yanında bu dalgaların boyları lineer dalga teorisine göre derin sular için $(d) > L/2$ 35. denklem kullanılarak hesaplanmıştır [18,20].

$$L = g.T^2/2\pi$$

(35)

Trabzon kıyılarında 10, 25 ve 50 yılda bir oluşabilecek ortalama, belirgin ve maximum dalga yükseklikleri ve boyları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Trabzon kıyıları için genel dalga karakteristikleri

| Tekrar Per. | Peryod (sn) | Belirgin Dal.Yük. | Ortalama Dal.Yük. | Maksimum Dal.Yük. | Dalga Boyu(m) |
|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 10 | 9.26 | 5.36 | 3.43 | 10.02 | 134 |
| 25 | 9.88 | 6.09 | 3.89 | 11.38 | 152 |
| 50 | 10.30 | 6.63 | 4.24 | 12.39 | 166 |

Tablo 3'de, Trabzon için belirgin ortalama ve maximum dalga yükseklikleri ve görülme sıklıkları görülmektedir.

2.2.2. Hidrodinamik Katsayıların Belirlenmesi

Deniz dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılan Morison denklemindeki hidrodinamik katsayılar sürtünme kuvveti katsayısı C_D , atalet katsayısı C_m veya eklenmiş kütle katsayısı C_a genellikle deneysel çalışmalarla belirlenmektedir. Ancak bu çalışmalar yapılamadığı durumlarda katsayılar incelenen durumun özelliklerine göre ortaya çıkan Re ve KC sayıları gibi boyutsuz değerler yardımı ile daha önce yapılmış deneyler sonucu yayınlanmış bilgilerden duruma en uygun C_D , C_m ve C_a katsayıları seçilir.

Hidrodinamik katsayılar hakkında dikey silindirlere için kullanılabilir birçok deneysel data mevcut iken yatay dairevi silindirlere için pek azdır. Özellikle dairevi yatay silindirlere için en büyük Re sayısı $1.5 \cdot 10^6$ olduğu durumda, $C_D = 0.65$ ve $C_m = 1.80$ değerlerinin kullanılması dalga

hareketi nedeniyle yatay silindirlere üzerine etki eden kuvvetlerin belirlenmesinde bir üst limit oluşturmaktadır [20].

Bunların yanında C_D sürtünme katsayısının Re sayısı $1.0 \cdot 10^6$ 'ın altında olduğu durumlarda nispeten sabit ve yaklaşık olarak 1.2'ye eşit olup, Re sayısı $0.1 \cdot 10^6$ ile $0.4 \cdot 10^6$ arasında olduğunda değişken ve yine Re sayısı $0.4 \cdot 10^6$ üzerinde C_D katsayısının nispeten sabit ve yaklaşık olarak 0.6-0.7 arasında değişir. Atalet katsayısı C_m 'de Re sayısı ile önemli ölçüde değişmekte olup C_m 'in tesbitinde önemli rol oynamaktadır. $2.5 \cdot 10^5$ 'in altındaki Re sayılarında C_m 'in 2'ye eşit olduğu, $2.5-5.0 \cdot 10^5$ arasında $C_m = 2.5 - Re/5.0 \cdot 10^5$ ve Re sayısı $5.0 \cdot 10^5$ 'den büyük olduğu durumlarda ise $C_m = 1.5$ alınabilmektedir. Lineer teori kullanılan çalışmalarda $3.8 \cdot 10^5-6.0 \cdot 10^5$ arasındaki Re sayılarında C_m 'in 1.74-1.23 arasında değişmektedir [19].

Morison formülündeki hidrodinamik katsayılar olan sürtünme C_D ve atalet katsayılarının C_m seçiminde önemli rol oynayan Re ve KC sayıları her bir dalga parametresi için hesaplanabilir.

Bunlar, Re sayısı;

$$Re = \frac{\Omega.R.D}{v} \quad (36)$$

ve KC sayısı ise;

$$KC = \frac{2\pi R}{D} \quad (37)$$

şeklindeki denklemlerle hesaplanmıştır [31]. Bu denklemlerde;

T: Peryod,

Ω : Açısal frekans ($2\pi/T$) ,

R: Su partikülü yörünge çapı,

D: Silindir çapı

v: Kinematik viskozite (deniz suyu için $1.188 \cdot 10^{-6}$ m²/s alınmıştır.)

olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada Trabzon kıyılarında görülebilecek dalgalara (Tablo 3) göre hesaplanmış Re ve KC sayıları belirgin dalgalara için Tablo 4'de, ortalama yükseklikteki dalgalara için Tablo 5'de ve maksimum yüksekliğe sahip dalgalara için Tablo 6'da belli boyutlardaki silindirlere ilgili olarak verilmiştir.

Tablo 4. Trabzon için belirgin dalga yüksekliğine tekabül eden Re ve KC sayıları.

| D(m) Silindir Çapı | Belirgin Dalga Yüksekliği (Hs veya H1/3) | | | | | |
|--------------------------|--|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | 5.36 m | | 6.09 m | | 6.63 m | |
| | Re*10 ⁶ | KC | Re*10 ⁶ | KC | Re*10 ⁶ | KC |
| 0.40 | 0.62 | 42.7 | 0.65 | 47.81 | 0.68 | 52.04 |
| 0.35 | 0.54 | 48.08 | 0.57 | 54.64 | 0.60 | 59.48 |
| 0.30 | 0.46 | 56.10 | 0.49 | 63.74 | 0.51 | 69.39 |
| 0.25 | 0.38 | 67.32 | 0.41 | 76.49 | 0.43 | 83.27 |
| 0.20 | 0.31 | 84.15 | 0.33 | 95.61 | 0.34 | 104.09 |
| 0.15 | 0.23 | 112.20 | 0.24 | 127.48 | 0.26 | 138.78 |
| 0.10 | 0.09 | 168.30 | 0.16 | 191.23 | 0.17 | 208.18 |

Tablo 5. Trabzon için ortalama dalga yüksekliklerine tekabül eden Re ve KC sayıları

| D(m) Silindir Çapı | Ortalama Dalga Yüksekliği (Hort) | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | 3.43 m | | 3.89 m | | 4.24 m | |
| | Re*10 ⁶ | KC | Re*10 ⁶ | KC | Re*10 ⁶ | KC |
| 0.40 | 0.39 | 26.92 | 0.42 | 30.54 | 0.44 | 33.28 |
| 0.35 | 0.34 | 30.77 | 0.36 | 34.89 | 0.38 | 38.04 |
| 0.30 | 0.29 | 35.90 | 0.31 | 40.72 | 0.33 | 44.38 |
| 0.25 | 0.25 | 43.08 | 0.26 | 48.86 | 0.27 | 53.25 |
| 0.20 | 0.20 | 53.85 | 0.21 | 61.07 | 0.22 | 66.57 |
| 0.15 | 0.15 | 71.80 | 0.16 | 81.43 | 0.16 | 88.76 |
| 0.10 | 0.09 | 107.70 | 0.10 | 122.15 | 0.11 | 133.14 |

Tablo 6. Trabzon için maksimum dalga yüksekliklerine tekabül eden Re ve KC sayıları

| D(m) Silindir Çapı | Maksimum Dalga Yüksekliği (Hmax) | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | 10.02 m | | 11.38 m | | 12.39 m | |
| | Re*10 ⁶ | KC | Re*10 ⁶ | KC | Re*10 ⁶ | KC |
| 0.40 | 1.14 | 78.66 | 1.22 | 89.33 | 1.27 | 97.26 |
| 0.35 | 1.00 | 89.89 | 1.07 | 102.09 | 1.11 | 111.16 |
| 0.30 | 0.86 | 104.87 | 0.91 | 119.11 | 0.95 | 129.68 |
| 0.25 | 0.72 | 125.85 | 0.76 | 142.93 | 0.80 | 155.62 |
| 0.20 | 0.57 | 157.31 | 0.61 | 178.66 | 0.64 | 194.52 |
| 0.15 | 0.43 | 209.75 | 0.46 | 238.22 | 0.48 | 259.36 |
| 0.10 | 0.29 | 314.63 | 0.30 | 357.33 | 0.32 | 389.05 |

Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiş olan, Trabzon kıyıları için belirgin, ortalama ve maksimum dalga yüksekliklerinin 0.40, 0.35, 0.30, 0.25, 0.20, 0.15 ve 0.10 m çaplı silindirlere ilgili olarak hesaplanmış Re ve KC sayıları görülmektedir.

Trabzon kıyıları için belirlenmiş bazı dalga parametrelerine tekabül eden Re ve KC sayıları (Tablo 4,5,6) incelendiğinde, belirgin dalga yüksekliklerine tekabül eden Re sayıları 5.36 m için $0.15 \cdot 10^6$ ile $0.62 \cdot 10^6$ arasında, 6.09 m için $0.16 \cdot 10^6$ ile $0.65 \cdot 10^6$ ve 6.63 m için ise $0.17 \cdot 10^6$ ile $0.67 \cdot 10^6$ arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 4). Benzer şekilde belirgin dalga yüksekliklerine tekabül eden KC sayıları 5.36 m için 42.07 ile 168.30 arasında, 6.09 m için 47.81 ile 191.23 arasında ve 6.63 m için ise 52.04 ile 208.18 arasında değişmektedir (Tablo 4). Burada silindir çapları azalırken Re sayılarının düştüğü fakat KC sayılarının ise arttığı görülmektedir.

Ortalama dalga yüksekliklerinde, Re sayıları 3.43 m için $0.09 \cdot 10^6$ ile $0.39 \cdot 10^6$, 3.89 m için $0.10 \cdot 10^6$ ile $0.42 \cdot 10^6$ ve 4.24 m için ise $0.11 \cdot 10^6$ ile $0.44 \cdot 10^6$ arasında değiştiği, KC sayıları ise 3.43 m için 26.92 ile 107.70, 3.89 m için 30.54 ile 122.15 ve 4.24 m için ise 33.28 ile 133.14 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 6).

Maksimum dalga yüksekliklerinde ise Re sayıları, 10.02 m için $0.29 \cdot 10^6$ ile $1.14 \cdot 10^6$, 11.38 m için $0.30 \cdot 10^6$ ile $1.22 \cdot 10^6$ ve 12.39 m için $0.32 \cdot 10^6$ ile $1.27 \cdot 10^6$ arasında değişmektedir. Aynı şekilde maksimum dalga yükseklikleri için KC sayıları 10.02 m için 78.66 ile 314.63, 11.38 m için 89.33 ile 357.33 ve 12.39 m için ise 97.26 ile 389.05 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 6). Tüm dalga verileri için bir değerlendirme yapılırsa Re sayıları $0.09 \cdot 10^6$ ile $1.27 \cdot 10^6$ arasında değiştiği, KC sayıları ise 26.92 ile 389.05 arasında değişmekte olduğu görülmektedir (Tablo 4,5,6). Bunların yanında artan silindir çaplarında Re sayıları artarken KC sayılarının azaldığı ve artan dalga yükseklikle-

rinde ise Re ve KC sayılarının arttığı görülmektedir.

Böylece bu çalışmada, deniz kafes yakalarını oluşturan dairesel silindirlere yatay olarak konumlandırıldıklarından, bunların üzerinden geçen dalgaların oluşturduğu kuvvetlerin belirlenmesi için kullanılan hidrodinamik katsayılar kafeslerin dalga kırılma bölgesi dışında yerleştirildiği kabulüyle sürtünme katsayısı $C_d=0.65$ ve $C_m=1.80$ dolayısıyla $C_a=0.80$ olarak alınmıştır. Ancak şu da belirtilmelidir ki dalga kırılma bölgesine yerleştirilen kıyısız yada kıyıda karaya bağlantılı deniz kafesleri veya diğer yapılara şiddetli bir şekilde dalga çarpma durumlarında katsayılar oldukça önemli ölçüde değişmektedir. Nitekim Britanya Standart Enstitüsü ortalama su seviyesine yakın yatay yapılar üzerine dalganın şiddetli çarpmasında C_d yaklaşık olarak 3.5 alınmasını tavsiye etmektedir. Bunun yanında Det Norske Veritas'a (Norveç Standart Enstitüsü) göre hareketli bölgede yatay dairesel silindirlere için çarpma katsayısı minimum olarak 3 alınmalıdır [20]. Dolayısıyla dalga kırılma bölgesinde sürtünme kuvveti açıklara yerleştirilen kafeslerin yakalarını oluşturan silindirlere etkiyen sürtünme kuvvetinden oldukça fazladır.

2.2.3. Rüzgar Verilerinin Tespiti

Trabzon kıyılarında, deniz kafeslerinin gerek ağısı (sığrama ve koruma ağları) gerekse katı ve dolgun (korkuluk, yüzdürücü ve yemlik gibi) yapıları üzerinde etkili olan rüzgar kuvvetlerinin belirlenmesi için gerekli rüzgar verileri Trabzon Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir.

Trabzon Meteoroloji İstasyonundan temin edilen rüzgar verileri, istasyonun bir kıyı istasyonu olması ve deniz ile arasında bir kod farkı olmasından dolayı öncelikle denize uyarlanmıştır [35]. Balıkçılık teknolojisinde dizayn rüzgar hızlarının belirlenmesinde deniz seviyesinin 10 m üzerindeki rüzgar hızları kullanılmaktadır [12]. Bu amaçla denize

uyarlanan rüzgar hızları Trabzon Meteoroloji istasyonunun denizden yüksekliği 30 m olmasından dolayı rüzgar hızları deniz seviyesinin 10 m üzerine indirgenmiştir .

2.2.3.1. Dizayn Rüzgar Hızlarının Belirlenmesi

Dizayn rüzgar hızları, deniz yapılarının yerleştirileceği ortamda maruz kalabileceği en tesirli rüzgarlar olarak alınmaktadır. Balıkçılık teknolojisinde de kafes ve rüzgar etkileşimi incelenirken en hızlı rüzgar verileri kullanılır [3,12]. Bu nedenle bu çalışmada Trabzon kıyılarında deniz kafesleri açısından dizayn rüzgar hızlarının belirlenmesinde 1938-1994 yılları arasında her ayın en hızlı rüzgarlar ve yönleri tespit edilmiştir. Tesbit edilmiş olan en hızlı rüzgarlar esme yönlerine göre incelenmiş olup maksimum, ortalama ve minimum değerleri belirlenmiştir.

2.2.3.2. Deniz Kafesleri için Etkin Rüzgar Yönlerinin Belirlenmesi

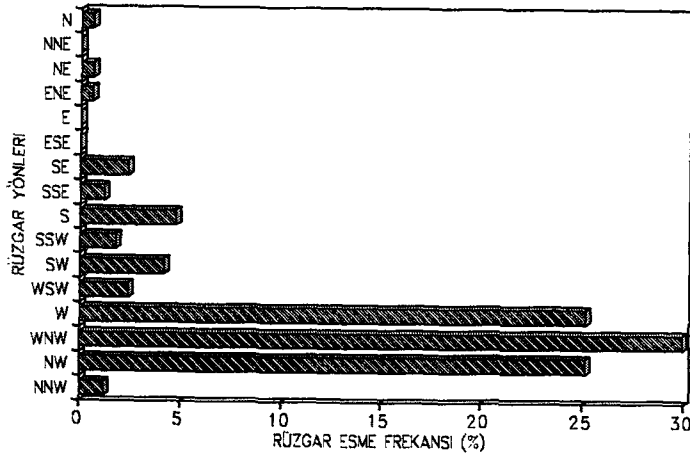
Rüzgarlar deniz kafeslerini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden birisidir. Kafeslerin yerleştirilmesi ve yerinin bağlama, demirleme sistemiyle tesbitinde ortamda esen rüzgarların esme yönleri belirlenmelidir. Bu nedenle, bu çalışmada Trabzon kıyılarında deniz kafesleri için etkin rüzgar yönlerinin belirlenmesinde 1938-1994 yılları arasında ölçülen en hızlı rüzgarlar kullanılmıştır. En hızlı rüzgarların yıl içersinde genel ve mevsimsel olarak esme sayıları rüzgar yönlerine göre belirlenmiştir.

Bunların yanında Trabzon kıyılarında rüzgar şiddetleri göz önüne alınmadan 1949-1990 yılları arasında ölçülmüş olan rüzgarlar incelenmiş olup rüzgar esme yönlerine göre esme sayıları ortaya çıkarılmıştır.

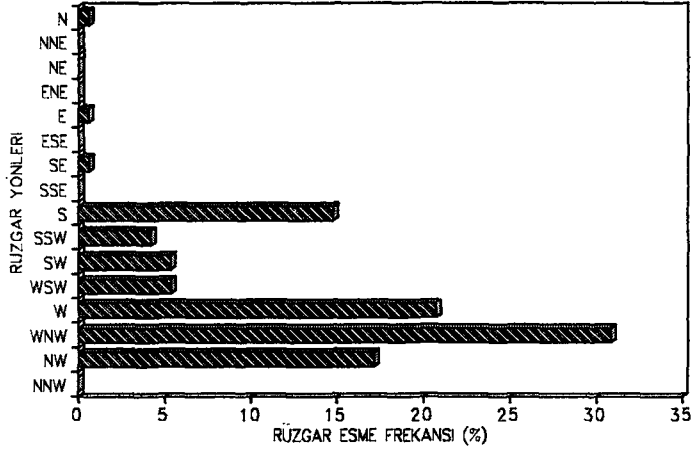
2.2.4. Trabzon Kıyılarında Dizayn Rüzgar Hızları ve Etkin Rüzgar Yönleri

Deniz kafeslerini etkileyen çevresel faktörlerden biri olan rüzgar hem dalgaların hem de o bölgede oluşacak olan yerel rüzgar akıntılarının oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla Trabzon'da esen rüzgarlar, meteoroloji istasyonundan alınan saatlik rüzgar verileri kullanılarak değerlendirilmiş ve dizayn rüzgar hızları belirlenmiştir.

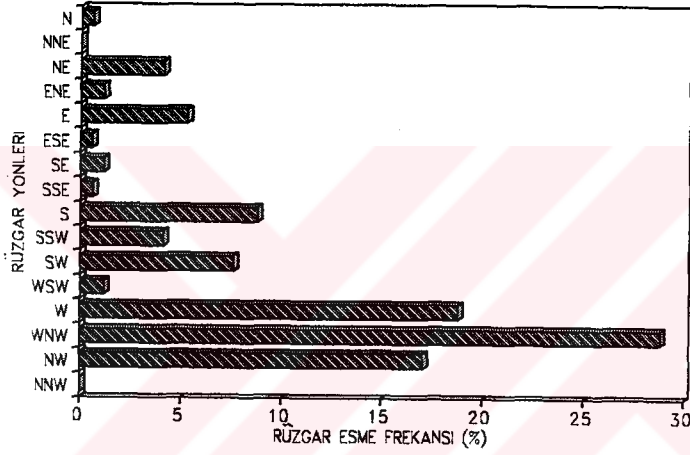
Trabzon meteoroloji istasyonundan alınan rüzgar verilerinden 1938-1994 yılları arasında yılın her ayı için en hızlı rüzgarlar ve yönleri belirlenmiştir. Buna göre 1938-1994 yılları arasında en hızlı rüzgarlar dikkate alınarak yapılan inceleme sonucunda Trabzon için etkin rüzgar yönünün WNW olduğu ve ekstrem rüzgar hızlarının deniz seviyesinin 10 m üzerindeki değerlere indirgenmiş olarak 25.09-25.92 m/sn arasında olduğu tesbit edilmiştir. En hızlı rüzgarların esme yönlerine göre dağılımları her mevsim için (Şekil 25,26,27,28) ve tüm yıl için (Şekil 29) esme sayılarıyla birlikte aşağıda verilmektedir.



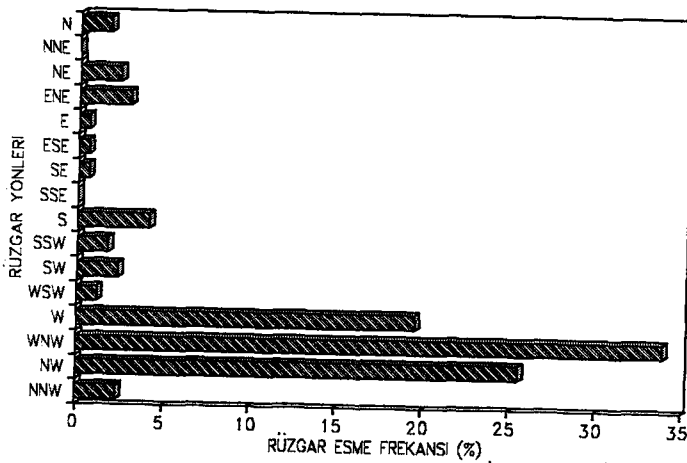
Şekil 25. Trabzonda en hızlı rüzgarların sonbahar mevsiminde yönlerine göre % esme frekansı



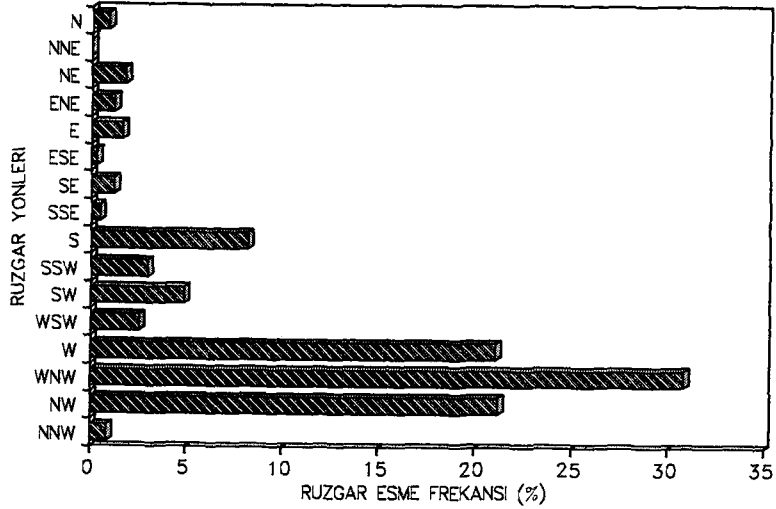
Şekil 26. Trabzon'da en hızlı rüzgarların kış mevsiminde yönlerine göre % esme frekansı



Şekil 27. Trabzon'da en hızlı rüzgarların ilkbahar mevsiminde yönlerine göre % esme frekansı



Şekil 28. Trabzon'da en hızlı rüzgarların yaz mevsiminde yönlerine göre % esme frekansı



Şekil 29. Trabzon'da en hızlı rüzgarların genel olarak tüm yıl boyunca yönlerine göre % esme frekansı

Şekil 25'de uzun yıllar için Sonbahar mevsimlerinde her ayın en yüksek rüzgar hızlarının esme yönlerine göre dağılım frekansları görülmekte olup en fazla rüzgarın kuzeybatılı yönlerden ve özellikle W,WNW ve NW yönlerinden gelmiş olduğu görülmektedir. Aynı durumun diğer mevsimlerde de geçerli olduğu söylenebilir (Şekil 26,27 ve 28). Genel bir değerlendirme yapıldığında 1938-1994 periyotunda yıllık yüzde frekans grafiğinde (Şekil 29) yine en fazla rüzgarın W,WNW ve NW yada kuzeybatılı yönlerden estiği görülmektedir.

Bunun yanında, aynı periyot için en hızlı rüzgarların şiddetlerine göre bir değerlendirme yapılmıştır. Tablo 7'de Trabzon için 1938-1994 periyotunda rüzgar esme yönlerine göre maksimum, ortalama ve minimum rüzgar hızları görülmektedir.

Bu rüzgar hızları, belirli bir yükseklikte yerleştirilmiş meteoroloji istasyonlarında ölçüldüğünden rüzgar sebepli akıntı ve dalgaların oluşturulması yanında kafeslere etkileri bakımından denize uyarlanıp deniz seviyesinin 10 m üzerindeki rüzgar hızlarına dönüştürülmüştür. Tablo 7'de Trabzon meteoroloji istasyonundan edinilmiş saatlik rüzgar verileri içersinden her ayın en hızlı rüzgarları ve bunların yönleri belirlenip esme yönlerine bağlı olarak düzenlenmesiyle elde edilmiş olan maksimum, minimum

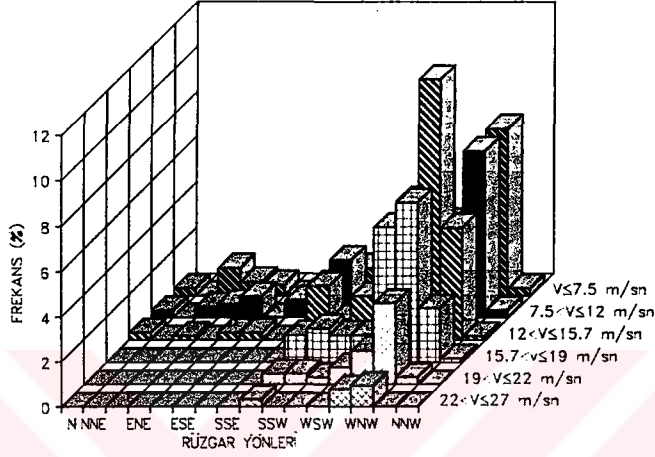
Tablo 7. 1938-1994 yılları arası en hızlı rüzgarların maksimum, minimum ve ortalama değerlerinin esme yönlerine dağılımı.

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | RÜZGAR HIZLARI (m/sn) | | |
|------------------|-----------------------|----------|---------|
| | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 12.78 | 9.62 | 6.71 |
| NNE | 8.23 | 8.23 | 8.23 |
| NE | 13.55 | 7.23 | 2.90 |
| ENE | 11.51 | 7.94 | 6.38 |
| E | 13.55 | 9.80 | 6.81 |
| ESE | 14.88 | 14.52 | 14.15 |
| SE | 10.33 | 7.74 | 2.90 |
| SSE | 11.83 | 9.80 | 7.94 |
| S | 25.92 | 13.25 | 5.47 |
| SSW | 21.38 | 16.50 | 8.33 |
| SW | 21.86 | 13.93 | 6.27 |
| WSW | 21.80 | 17.11 | 11.00 |
| W | 25.76 | 13.93 | 6.92 |
| WNW | 25.09 | 15.45 | 4.61 |
| NW | 20.77 | 10.67 | 4.21 |
| NNW | 17.65 | 11.26 | 6.38 |

ve ortalama rüzgar hızları verilmiştir. Bunlardan deniz yapıları ve özellikle deniz kafesleri açısından oldukça önemli olan maksimum rüzgarların şiddetlerine göre esme sayıları ve esme yönleri Şekil 30'da görülmektedir.

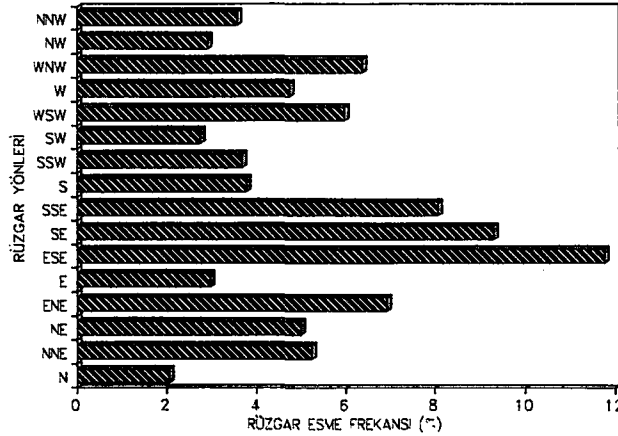
Trabzon kıyılarında aynı periyot için rüzgar şiddetlerine göre bir değerlendirme yapılırsa, WNW yönünde esme

sayısı en fazla olan en hızlı rüzgarların 12.0-15.7 m/sn arasında olması ve kuzeybatılı rüzgarlardan olması dikkat çekmektedir (Şekil 30).



Şekil 30. Trabzon'da en hızlı rüzgarların şiddetlerine ve yönlerine göre % esme frekansları

En hızlı rüzgarların yanında rüzgar şiddetleri gözönüne alınmadan Trabzon kıyı meteoroloji istasyonunda kaydedilen rüzgarların 1949-1990 yılları arasında esme frekansları Şekil 31'de görülmektedir.



Şekil 31. Trabzon'da genel olarak rüzgarların esme yönüne bağlı olarak % frekansları

Trabzon kıyılarında genel olarak anemograflarla ölçülen saatlik rüzgar verileri incelendiğinde en fazla esen rüzgarların SW, SSW ve S yönlerinde olmak üzere güney ve güneybatılı rüzgarların hakim olduğu görülmektedir.

2.2.5. Akıntı Verilerinin Belirlenmesi

Deniz kafes elemanları üzerinde akıntılar tarafından uygulanan etkilerin belirlenmesi için deniz yüzey akıntılarının hız ve yönlerinin bilinmesi gerekir. Bir deniz ortamında yüzey akıntıları direkt olarak akıntı ölçerlerle tesbit edilmektedir. Bu çalışmada Trabzon kıyılarında akıntı ölçümleri teknik imkansızlıklar nedeniyle yapılamadığından, akıntılarının tahmini yoluna gidilmiştir.

Deniz kafeslerini etkileyen etkenlerden biri olan deniz akıntılarının toplam hızı rüzgar kaynaklı akıntı ve gelgit akıntı bileşeni olarak ayrılabilir [12]. Karadeniz küçük bir iç deniz olması nedeniyle gelgit seviyesi oldukça düşüktür [34]. Bu nedenle gelgit akıntı bileşeni ihmal edilebileceğinden Karadeniz'deki yüzey akıntılarının rüzgar kontrolünde olduğu söylenebilir. Balıkçılık teknolojisinde deniz kafeslerinin projelendirilmesinde rüzgar orijinli yüzey akıntısı çoğunlukla en hızlı rüzgar hızının % 2'si olarak tahmin edilmektedir [12]. Buna göre Trabzon kıyıları ve açıklarında en hızlı ani esen rüzgarların oluşturacağı yüzey akıntıları 5.8-51.84 cm/sn aralığında en hızlı yüzey akıntıları olarak belirlenmiştir. Ayrıca Trabzon kıyılarında tesbit edilmiş olan en hızlı rüzgar hızlarının esme yönlerine bağlı olarak oluşturacakları akıntılarının maksimum, ortalama ve minimum değerleri belirlenmiştir (Tablo 18). Karadeniz'de genelde akıntı sistemi saat ibresine ters yönde dairesel bir harekete sahiptir. Karadeniz'in doğu ve batısında olmak üzere iki farklı döngüden oluşan bu akıntı sisteminde Trabzon çevresinde kıyıya yakın yerlerde 10-20 cm/sn ve daha açıklarda ise 20-30 cm/sn'ye çıkan akıntılara rastlanmaktadır [35].

3. BULGULAR

Bu çalışmada, Trabzon kıyılarında balık yetiştirmek amacıyla kullanılan deniz kafeslerinin yüzdürücü yakalarına etkileyebilecek dalga kuvvetleri, Morison ve Froude-Krylov metodlarına göre belirlenmiştir. Ayrıca Trabzon Meteoroloji istasyonundan alınan rüzgar verileri analiz edilerek deniz kafesleri için önem arzeden dizayn rüzgar hızları ve kafeslerin muhtelif elemanlarını etkileyen rüzgar ve akıntı kuvvetleri bulunmuştur.

3.1. Dalga Kuvvetleri

Trabzon kıyılarında henüz dalga ölçümü yapılamadığından dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde daha önceden tahmin edilmiş dalga verileri kullanılmıştır. Bilgin [40] tarafından Trabzon kıyılarında tahmin edilmiş, 10, 25 ve 50 yıllık tekrar periyotlarına sahip belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları kullanılarak, Rayleigh olasılık dağılımı prensibine göre Trabzon kıyıları için ortalama ve maksimum dalga yükseklikleri belirlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Trabzon kıyılarında görülebilecek maksimum ortalama ve belirgin dalga yükseklikleri.

| Tekrar Periyodu (Yıl) | Maksimum Dalga Yük. (m) | Belirgin Dalga Yük. (m) | Ortalama Dalga Yük. (m) |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 10 | 10.02 | 5.36 | 3.43 |
| 25 | 11.38 | 6.09 | 3.89 |
| 50 | 12.39 | 6.63 | 4.24 |

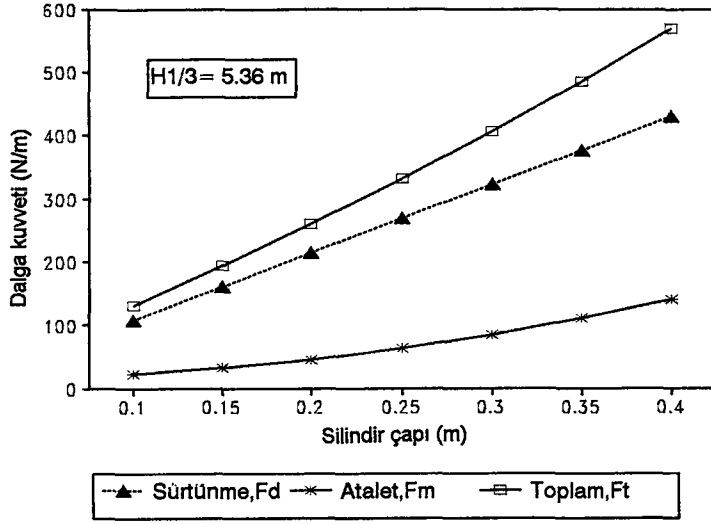
Tablo 1'de verilen 10, 25 ve 50 yıllık tekrar periyoduna sahip maksimum, belirgin ve ortalama dalgaların deniz kafeslerinin yakaları üzerinde oluşturacakları kuvvetler Morison ve Froude-Krylov metodları kullanılarak hesaplanmıştır.

3.1.1. Morison Metoduna Göre Belirlenmiş Dalga Kuvvetleri

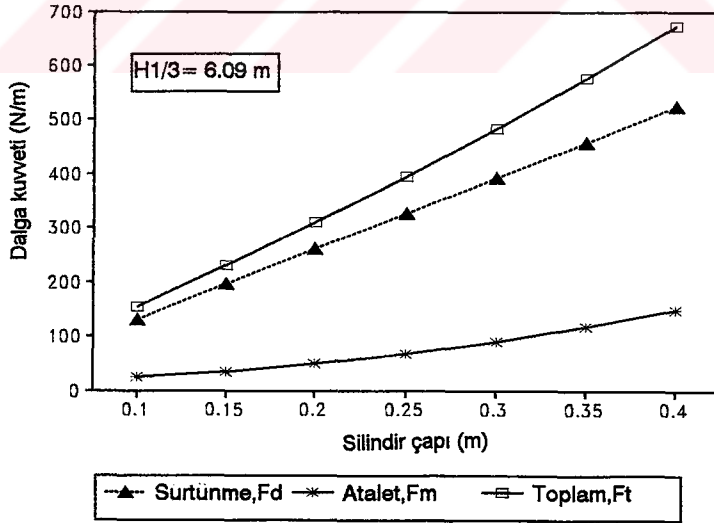
Morison metoduna göre, deniz dalgalarının kafeslerin silindirik yüzdürücü yakaları üzerinde oluşturacakları toplam dalga kuvveti, sürtünme ve atalet kuvvetlerinden oluşmaktadır. Bu metod kullanılarak silindirik elemanlardan oluşan yüzdürücü yakaların, değişen çaplarda birim uzunluğu üzerinde belirgin dalgaların oluşturacakları kuvvetler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Belirgin dalga kuvvetleri (Morison metodu)

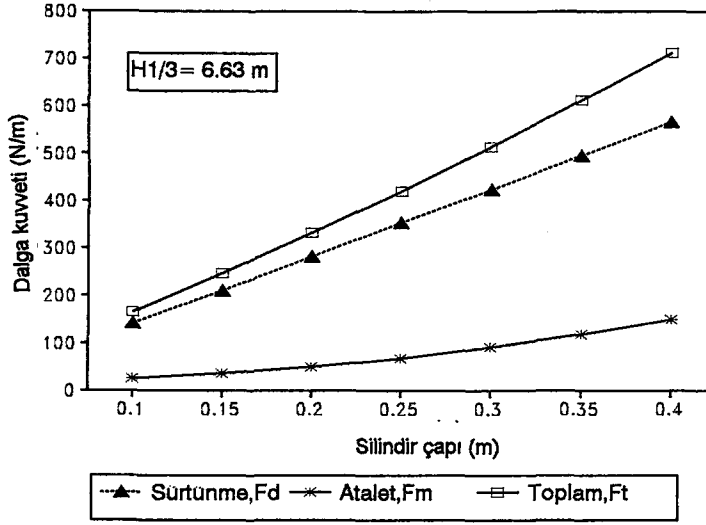
| Silindir Çapı (m) | Dalga Kuvvetleri, $F_t = F_d + F_m$ (N/m) | | |
|-------------------------|---|-----------|-----------|
| | Hs=5.36 m | Hs=6.09 m | Hs=6.63 m |
| 0.40 | 568.252 | 672.204 | 711.642 |
| 0.35 | 485.509 | 575.634 | 610.263 |
| 0.30 | 406.638 | 483.212 | 512.992 |
| 0.25 | 331.639 | 394.937 | 419.828 |
| 0.20 | 260.512 | 310.809 | 330.771 |
| 0.15 | 193.257 | 230.829 | 245.823 |
| 0.10 | 129.875 | 154.996 | 164.981 |



Şekil 32. 10 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)



Şekil 33. 25 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)



Şekil 34. 50 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)

Tablo 9'da belirgin dalga yüksekliklerine tekabül eden toplam dalga kuvvetleri verilmiştir. Buna göre Şekil 32, 33 ve 34'de Trabzon kıyılarında 10, 25 ve 50 yıllık tekerrür periyotlarına sahip 5.36 m, 6.09 m ve 6.63 m 'lik yüksekliklere sahip belirgin dalgaların kafes yakaları üzerindeki dalga kuvvetleri, sürtünme ve atalet kuvvetleri bileşenleri olarak görülmektedir (Şekil 32, 33 ve 34).

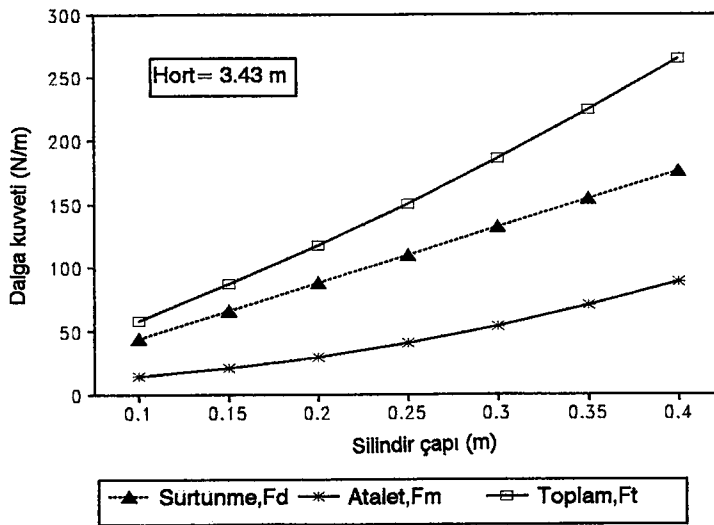
Yukarıda verilmiş olan Şekil 32, 33 ve 34 incelendiğinde sürtünme kuvvetlerinin atalet kuvvetine karşı dominant olduğu ve her iki kuvvetinde silindir çapları küçülürken azaldığı görülmektedir.

Ortalama dalga yüksekliklerine sahip deniz dalgalarının birim uzunluğa etkiyen toplam dalga kuvvetleri Tablo 10'da görülmektedir.

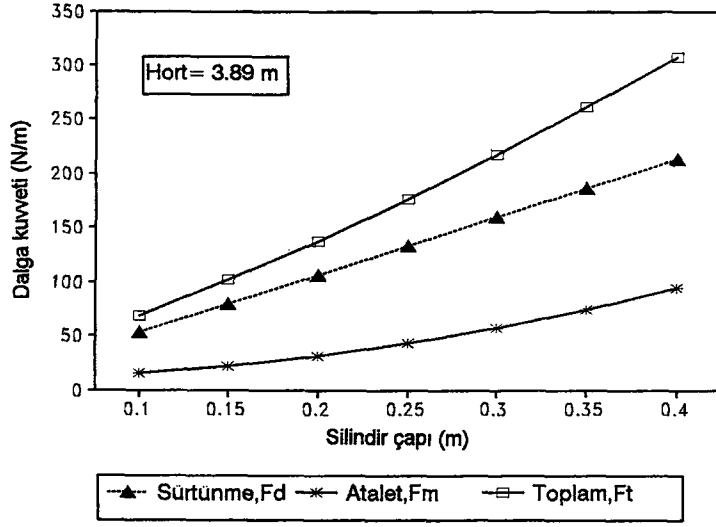
Tablo 10. Ortalama Dalga Kuvvetleri (Morison metodu)

| Silindir Çapı (m) | Dalga Kuvvetleri, $F_t = F_d + F_m$ (N/m) | | |
|-------------------|---|----------------|----------------|
| | $H_o = 3.43$ m | $H_o = 3.89$ m | $H_o = 4.24$ m |
| 0.40 | 264.645 | 307.670 | 324.115 |
| 0.35 | 224.070 | 261.212 | 275.667 |
| 0.30 | 185.973 | 217.398 | 229.843 |
| 0.25 | 150.353 | 176.229 | 186.641 |
| 0.20 | 117.212 | 137.706 | 146.062 |
| 0.15 | 86.362 | 101.827 | 108.106 |
| 0.10 | 58.362 | 68.592 | 72.773 |

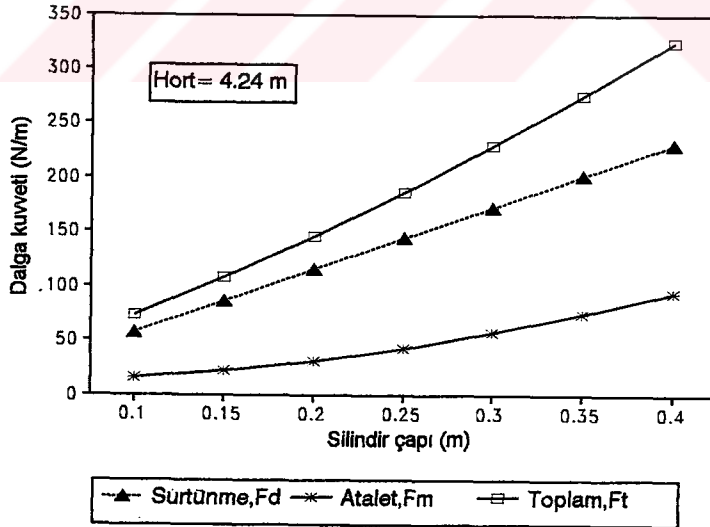
Tablo 10'da ortalama dalga yüksekliklerine tekabül eden toplam dalga kuvvetleri değişen silindir çaplarına göre görülmektedir. Buna göre Şekil 35, 36 ve 37'de Trabzon için 10,25 ve 50 yılda bir görülebilecek 3.43 m, 3.89 m ve 4.24 m yüksekliklerindeki dalgaların oluşturacağı sürtünme, atalet ve toplam dalga kuvvetleri gösterilmektedir.



Şekil 35. 10 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)



Şekil 36. 25 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)



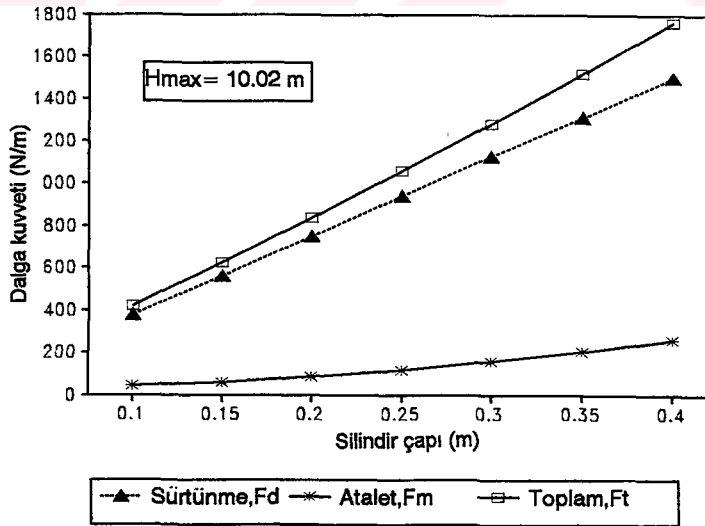
Şekil 37. 50 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)

Morison metoduna göre maksimum dalga yüksekliklerinin deniz kafesleri yakaları üzerinde oluşturacakları toplam dalga kuvvetleri Tablo 11'de görülmektedir.

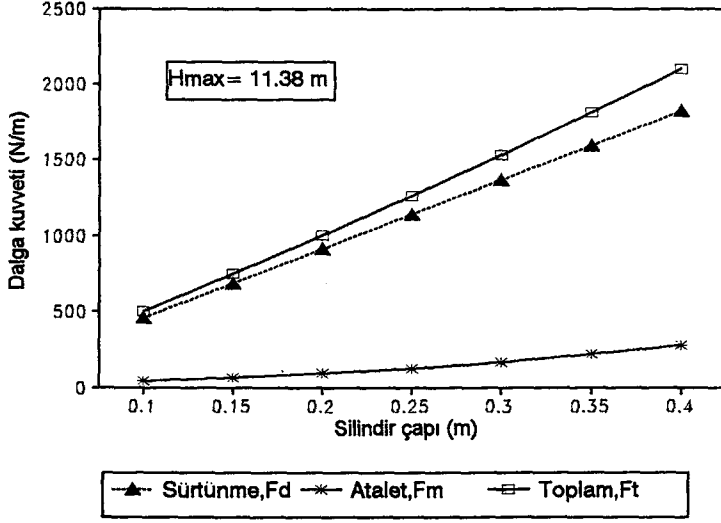
Tablo 11. Maksimum Dalga Kuvvetleri (Morison metodu)

| Silindir Çapı (m) | Dalga Kuvvetleri, $F_t = F_d + F_m$ (N/m) | | |
|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| | $H_{mx} = 10.02m$ | $H_{mx} = 11.38m$ | $H_{mx} = 12.39m$ |
| 0.40 | 1760.541 | 2099.734 | 2243.577 |
| 0.35 | 1518.580 | 1813.865 | 1939.929 |
| 0.30 | 1283.858 | 1535.733 | 1643.952 |
| 0.25 | 1056.373 | 1265.338 | 1355.645 |
| 0.20 | 836.127 | 1002.681 | 1075.009 |
| 0.15 | 623.119 | 747.761 | 802.044 |
| 0.10 | 417.351 | 500.578 | 536.749 |

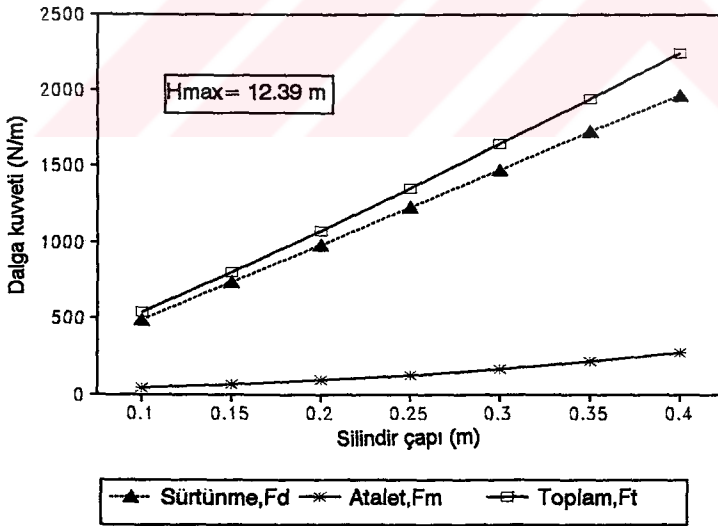
Tablo 11'de verilmiş olan 40 cm'den 10 cm'ye kadar değişen çaplara sahip silindripler üzerinde maksimum dalgaların oluşturduğu toplam kuvvetlerin sürtünme ve atalet bileşenleri Şekil 38, 39 ve 40'da görülmektedir.



Şekil 38. 10 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)



Şekil 39. 25 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)



Şekil 40. 50 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Morison yöntemi)

3.1.2 Froude-Krylov Metoduna Göre Belirlenmiş Dalga Kuvvetleri

Froude-Krylov metodunda, silindirik yapıda deniz kafes yakasına etkiyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesi yaka üzerinden geçen dalganın silindir üzerinde uygulamış olduğu statik basınç prensibine dayanmaktadır. Bu metodda dalga kuvvetleri yatay ve dikey kuvvet katsayıları birbirine eşit olacak şekilde $C_h=C_v=2$ değeri alınmıştır.

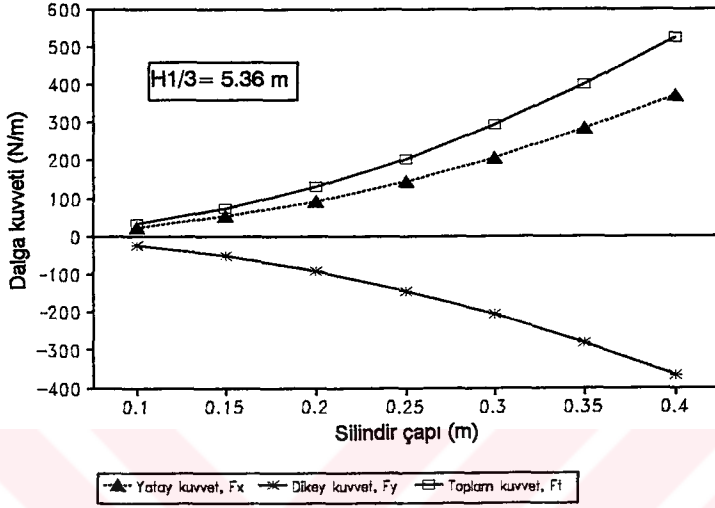
Yapılan hesaplama sonucunda dikey kuvvet bileşeni negatif değerler almıştır. Bunun nedeni dalga ilerleme yönüne bağlı olarak dalga tepesinin silindir üzerinden geçtiği anda dalga içersinde su partikül ivmesi vektörü yönünün ordinatın yönünde olmasından dolayıdır. Dalga çukurunda ise tam tersi durum geçerlidir. Böylece dikey ve yatay Froude-Krylov kuvvet bileşenlerinin bileşkeleri alınarak toplam kuvvet belirlenebilmektedir.

Froude-Krylov metoduna göre (Denklemler 28,29) belirgin dalga yüksekliklerinin (Tablo 8) oluşturacakları kuvvetler Tablo 12'de görülmektedir.

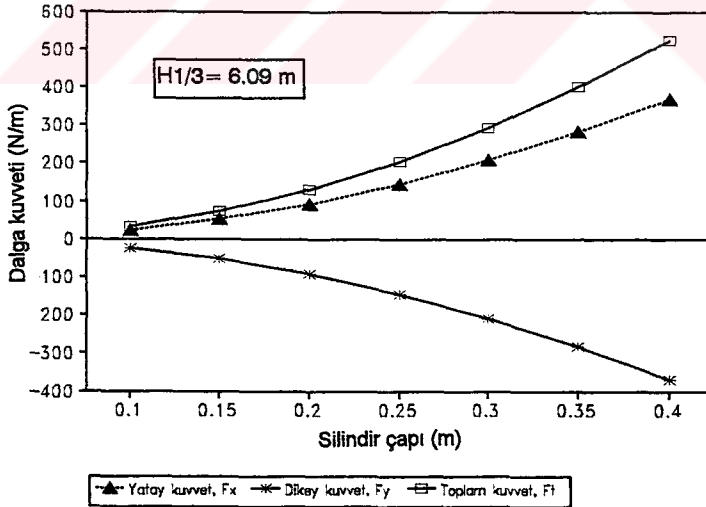
Tablo 12. Froude-Krylov metoduna göre belirgin dalga kuvvetleri

| Silindir Çapı (m) | Dalga Kuvvetleri, Ft (N/m) | | |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|
| | Hs=5.36 m | Hs=6.09 m | Hs=6.63 m |
| 0.40 | 521.619 | 523.804 | 523.076 |
| 0.35 | 399.365 | 401.037 | 400.479 |
| 0.30 | 293.411 | 294.640 | 294.230 |
| 0.25 | 203.757 | 204.611 | 204.326 |
| 0.20 | 130.405 | 130.951 | 130.769 |
| 0.15 | 73.353 | 73.660 | 73.557 |
| 0.10 | 32.601 | 32.738 | 32.692 |

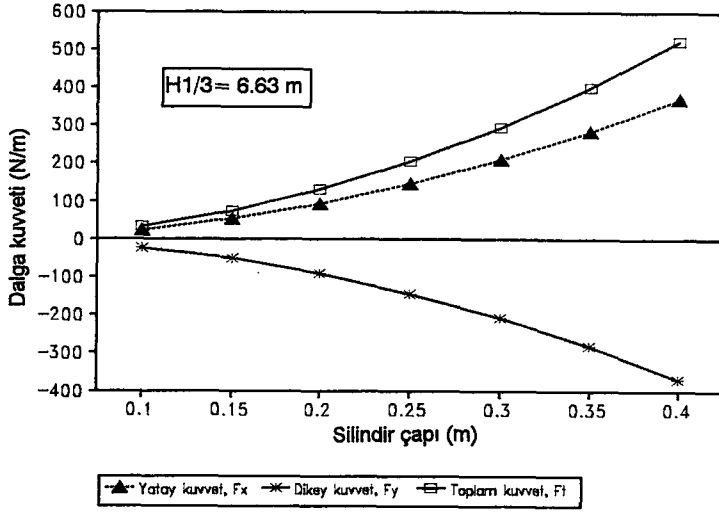
Tablo 12'de verilmiş olan belirgin dalga yüksekliklerine sahip deniz durumunda, Froude-Krylov metoduna göre 5.36 m, 6.09 m ve 6.63 m yüksekliklerine sahip dalgaların oluşturacakları kuvvetler Şekil 41, 42 ve 43'de dikey ve yatay kuvvet bileşenleriyle gösterilmektedir.



Şekil 41. 10 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)



Şekil 42. 25 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)



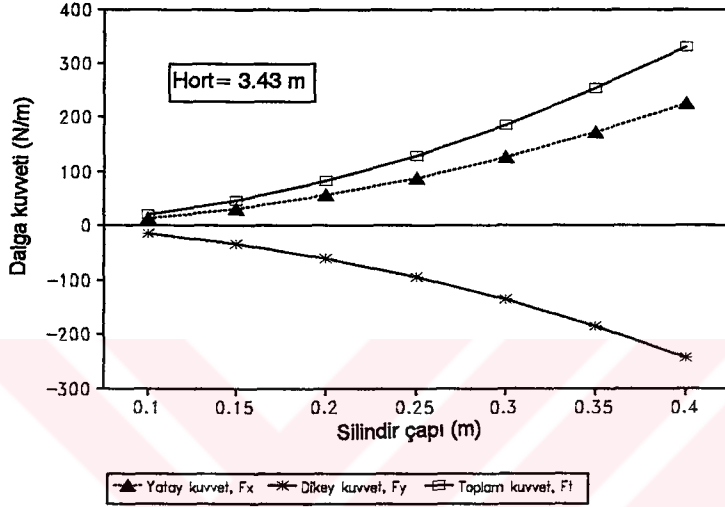
Şekil 43. 50 yılda bir görülebilecek belirgin dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)

Froude-Krylov (Denklem 28, 29) metoduna göre ortalama dalga yükseklikleri (Tablo 7) için hesaplanmış toplam dalga kuvvetleri Tablo 13'de görülmektedir.

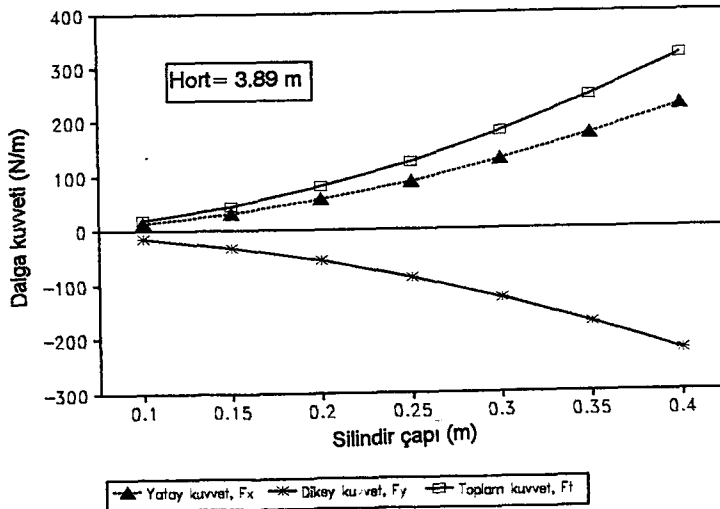
Tablo 13. Froude-Krylov metoduna göre ortalama dalga kuvvetleri

| Silindir Çapı (m) | Dalga Kuvvetleri, Ft (N/m) | | |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|
| | Ho=3.43 m | Ho=3.89 m | Ho=4.24 m |
| 0.40 | 331.025 | 319.526 | 319.344 |
| 0.35 | 253.441 | 244.637 | 244.497 |
| 0.30 | 186.202 | 179.733 | 179.631 |
| 0.25 | 129.307 | 124.815 | 124.744 |
| 0.20 | 82.756 | 79.882 | 79.836 |
| 0.15 | 46.550 | 44.933 | 44.908 |
| 0.10 | 20.689 | 19.970 | 19.959 |

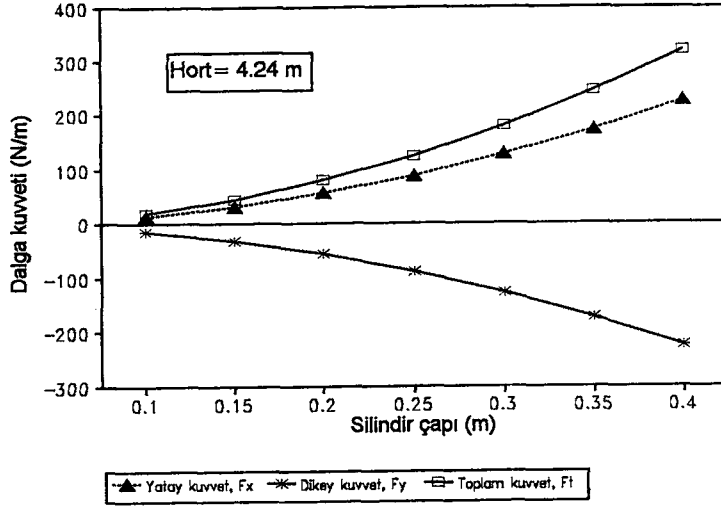
Tablo 13'de verilen ortalama dalga yüksekliklerine ait toplam dalga kuvvetlerinin dikey ve yatay bileşenleri 3.43 m lik dalganın Şekil 44, 3.89 m'lik dalganın Şekil 45 ve 4.24 m ortalama yüksekliğe sahip dalganın Şekil 46'da görülmektedir.



Şekil 44. 10 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)



Şekil 45. 25 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)



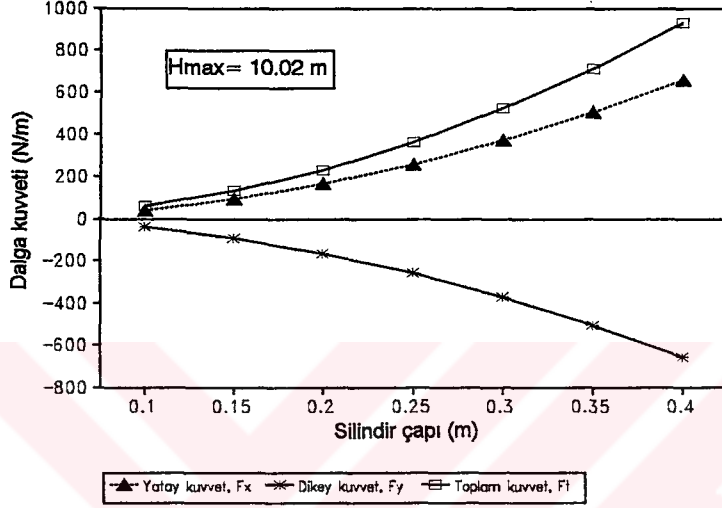
Şekil 46. 50 yılda bir görülebilecek ortalama dalga kuvvetleri

Ayrıca yine Trabzon kıyılarında oluşabilecek maksimum dalga yüksekliğine (Tablo 7) sahip dalgaların deniz kafes yakaları üzerinde oluşturacakları birim kuvvetler Froude-Krylov metoduna göre (Denklem 28, 29) Tablo 14'de verilmiştir.

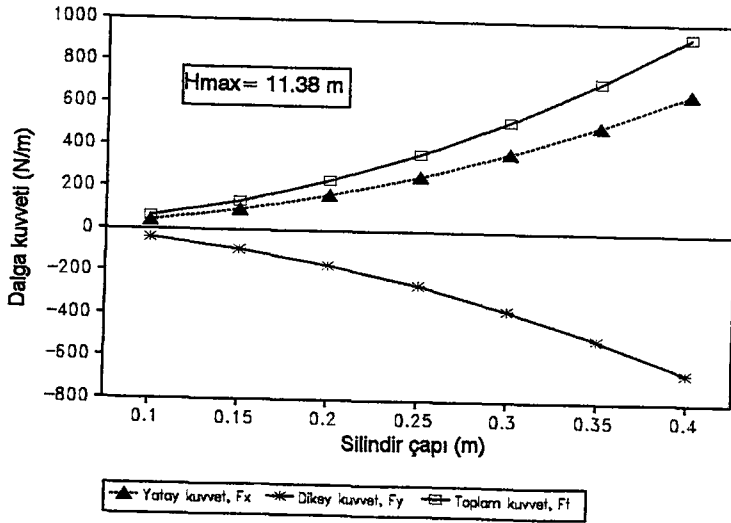
Tablo 14. Froude-Krylov metoduna göre maksimum dalga kuvvetleri

| Silindir Çapı (m) | Dalga Kuvvetleri, Ft (N/m) | | |
|-------------------|----------------------------|------------|------------|
| | Hmx=10.02m | Hmx=11.38m | Hmx=12.39m |
| 0.40 | 930.904 | 934.363 | 933.271 |
| 0.35 | 712.724 | 715.371 | 714.535 |
| 0.30 | 523.634 | 525.579 | 524.965 |
| 0.25 | 363.634 | 364.985 | 364.559 |
| 0.20 | 232.726 | 233.591 | 233.318 |
| 0.15 | 130.908 | 131.395 | 131.241 |
| 0.10 | 58.181 | 58.398 | 58.329 |

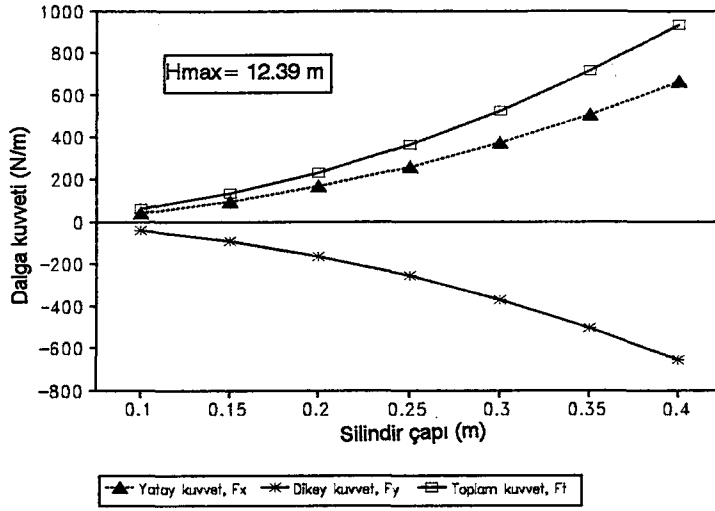
Tablo 14'de verilmiş olan maksimum dalga yüksekliklerine sahip dalgaların Froude-Krylov metoduna göre hesaplanmış yatay ve dikey kuvvet bileşenleri sırasıyla 10.02 m, 11.38 m ve 12.39 m yüksekliklerine tekabül eden dalga kuvvetleri Şekil 46, 47 ve 48'te görülmektedir.



Şekil 46. 10 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)



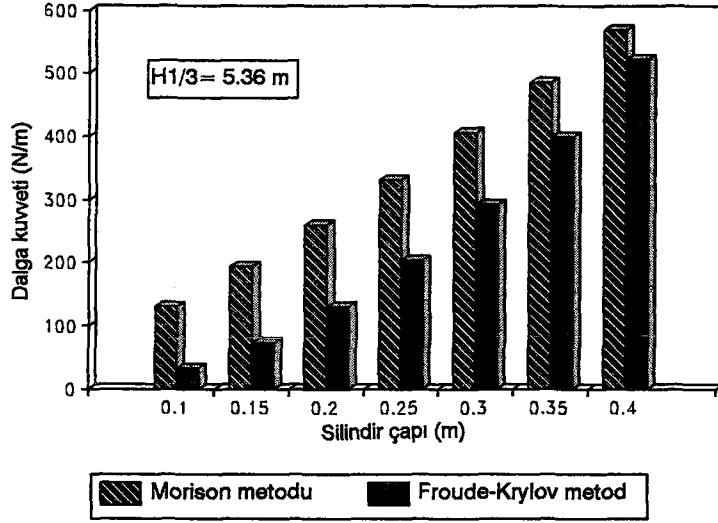
Şekil 47. 25 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)



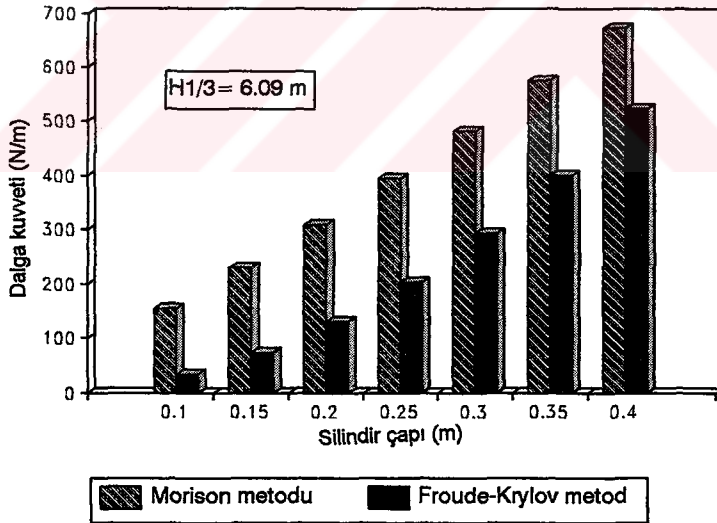
Şekil 48. 50 yılda bir görülebilecek maksimum dalga kuvvetleri (Froude-Krylov yöntemi)

3.1.3. Morison ve Froude-Krylov Metodlarının Karşılaştırılması

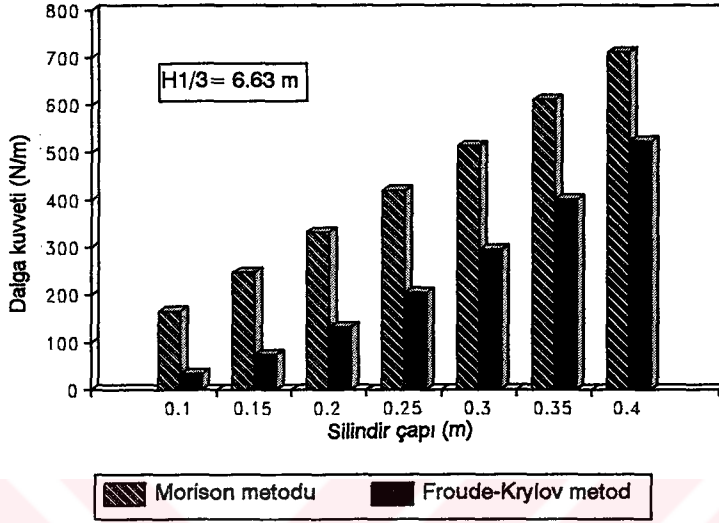
Bu çalışmada Trabzon çevresinde kullanılan deniz kafeslerinin yapımında kullanılan silindirik yapıda ve çapları 40 cm'den 10 cm'ye kadar değişen yüzdürücü yakalara etkiyen dalga kuvvetleri hem Morison hem de Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiştir. Trabzon kıyılarında kafesleri etkileyebilecek dalgalar için belirgin, ortalama ve maksimum dalgalar kullanılarak ortalama, belirgin ve maksimum dalga kuvvetleri belirlenmiştir. Buna göre Şekil 49, 50 ve 51'de sırasıyla 5.36, 6.09 ve 6.63 m'lik dalgaların oluşturacakları kuvvetler Morison ve Froude-Krylov teorilerine göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 49, 50, 51'de görüldüğü gibi Morison'a göre bulunan



Şekil 49. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 10 yılda bir oluşabilecek belirgin dalga kuvvetleri karşılaştırılması



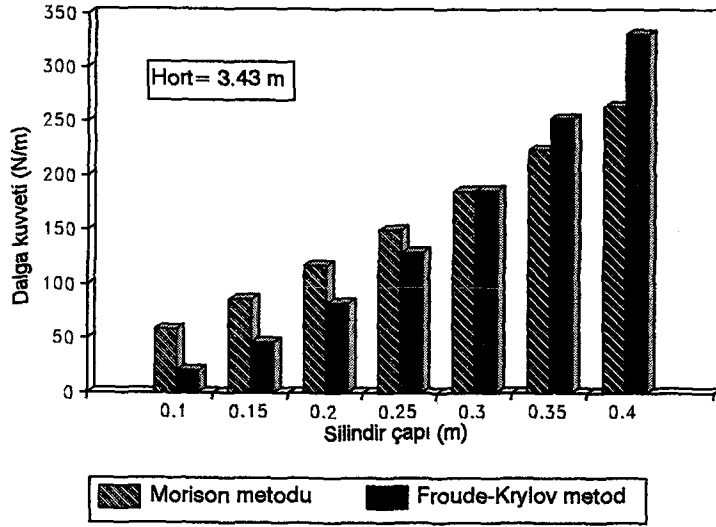
Şekil 50. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 25 yılda bir oluşabilecek belirgin dalga kuvvetleri karşılaştırılması



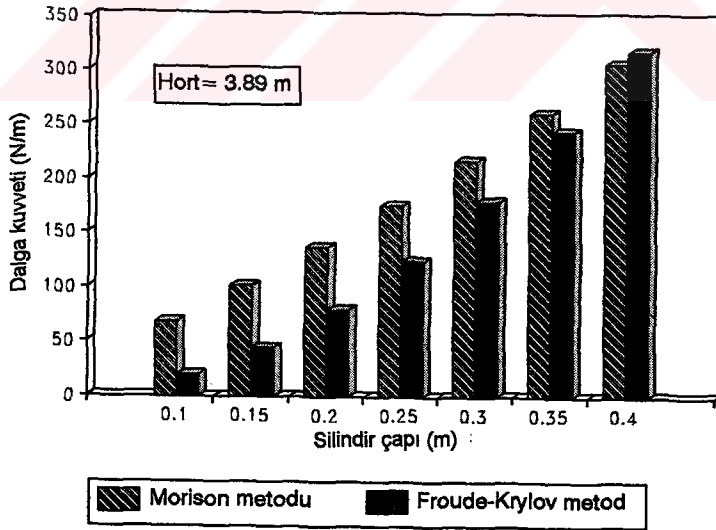
Şekil 51. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 50 yılda bir oluşabilecek belirgin dalga kuvvetleri karşılaştırması

sonuçlar Froude-Krylov'a göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki yöntemin sonuçlarına göre kuvvetler silindir çapları ve dalga yükseklikleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

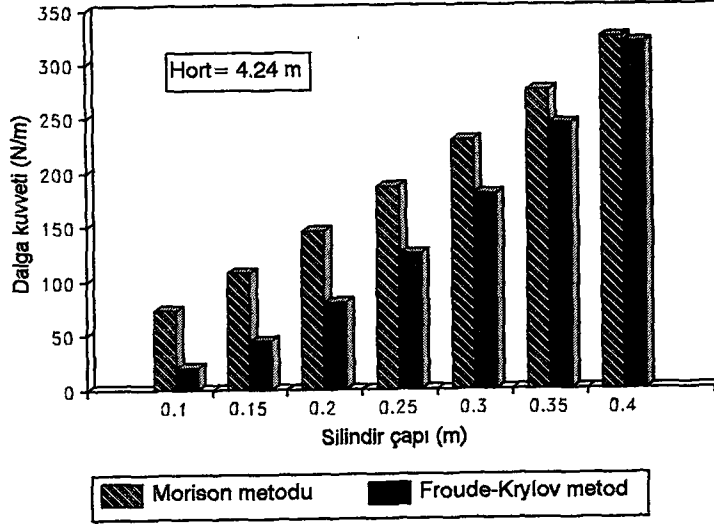
Ortalama dalga yüksekliklerine sahip deniz dalgalarının oluşturacağı kuvvetler ise Şekil 52,53 ve 54'de sırasıyla 3.43 m, 3.89 m ve 4.24 m için tespit edilmiştir. Ortalama dalga yüksekliklerinde Şekil 20'de görüldüğü gibi 40 cm ve 35 cm'lik silindir çaplarında Froude-Krylov kuvveti değeri daha büyük iken sonra azalan silindir çaplarında eşitlenip daha sonra Morison değerlerinin altına düşmektedir.



Şekil 52. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 10 yılda bir oluşabilecek ortalama dalga kuvvetleri karşılaştırılması



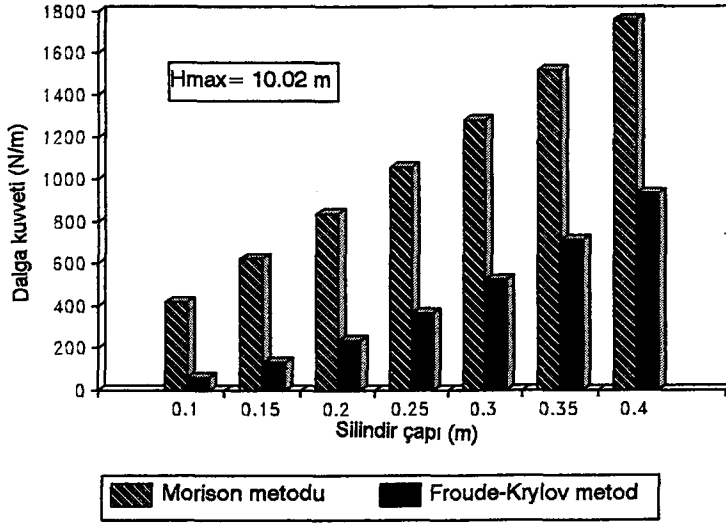
Şekil 53. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 25 yılda bir oluşabilecek ortalama dalga kuvvetleri karşılaştırılması



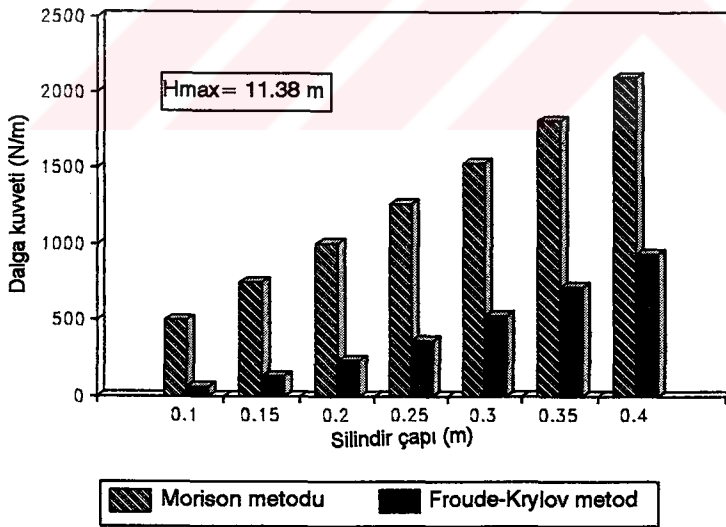
Şekil 54. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 50 yılda bir oluşabilecek ortalama dalga kuvvetleri karşılaştırılması

Şekil 52 ve Şekil 53'te görüldüğü gibi 40 cm çapında Froude-Krylov metoduna göre bulunmuş sonuçlar Morison'dan daha yüksek iken daha sonra azalan silindir çaplarında Morison metoduyla elde edilen değerler öne geçmektedir.

Maksimum dalgalara göre belirlenen dalga kuvvetleri Şekil 55, 56 ve 57'de sırasıyla 10.02 m, 11.38 m ve 12.39 m'lik dalgalara tekabül eden Morison ve Froude-Krylov kuvvet değerleri verilmiştir.

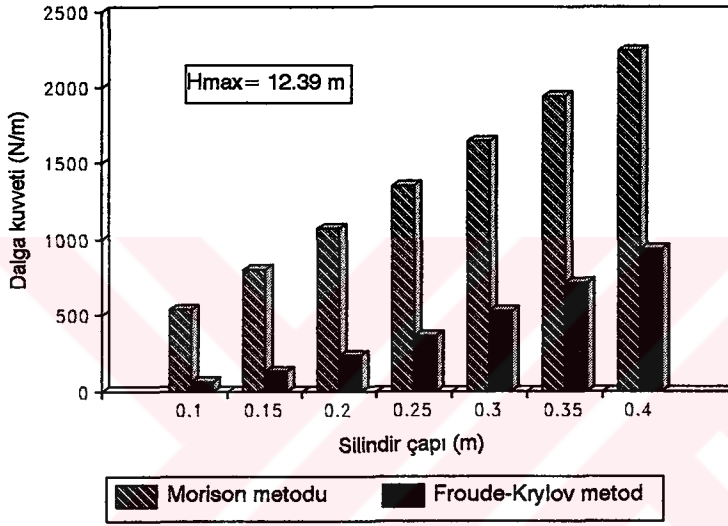


Şekil 55. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 10 yılda bir oluşabilecek maksimum dalga kuvvetleri karşılaştırılması



Şekil 56. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 25 yılda bir oluşabilecek maksimum dalga kuvvetleri karşılaştırılması

Maksimum dalga yüksekliklerine göre belirlenen dalga kuvvetlerinde Morison ve Froude-Krylov kuvvet değerleri arasında oldukça fark vardır. Morison metoduna göre elde edilen değerler diğer metodla bulunan değerlerin oldukça üzerindedir.



Şekil 57. Morison ve Froude-Krylov metoduna göre belirlenmiş 50 yılda bir oluşabilecek maksimum dalga kuvvetleri karşılaştırması

3.2. Trabzon Kıyılarında Rüzgar ve Akıntı Nedeniyle Kafeslere Etki Eden Kuvvetler

Deniz kafesleri doğal olarak her zaman rüzgar ve deniz yüzey akıntıları ile ilişki içersinde bulunduğundan bu çevresel faktörler tarafından etkiye maruz kalırlar. Gerek deniz kafeslerinin tasarımında ve gerekse kafeslerin yerleştirilecekleri yer seçiminde, rüzgar ve akıntı nedeniyle kafese etkiyecek yükün bilinmesi gerekir. Bu amaçla Trabzon kıyılarında görülen en hızlı rüzgarların ve bu rüzgarların yerel yüzey akıntıları nedeniyle deniz ağ kafeslerinin elemanları üzerinde oluşturabilecekleri kuvvetler belirlenmiştir.

3.2.1. Rüzgar Kuvvetleri

Rüzgarlar deniz kafeslerinin su hattı dışında bulunan elemanları üzerinde etki oluştururlar. Özellikle balıkların sıçrayıp kaçmalarını önleyen fribord ağların oluşturduğu ağsı yapı ve diğer korkuluklar, hizmet platformu, yüzdürücü ve yemlik gibi üst yapıyı oluşturan katı ve dolgun yapılar rüzgarın etkisindedir.

Deniz kafeslerinin su hattı üzerindeki üst yapıyı oluşturan katı ve dolgun yapıların oluşturduğu elemanlar üzerindeki rüzgar kuvvetleri Tablo 7'de verilmiş olan Trabzon kıyılarında 1938-1994 yılları arasında görülen en hızlı rüzgarların esme yönleri ve maksimum, ortalama ve minimum değerlerine göre belirlenmiştir. Buna göre Denklem 30 kullanılarak Trabzon kıyılarında kafeslerin ağsı olmayan katı ve dolgun yapıları üzerinde oluşacak rüzgar kuvvetleri Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Trabzon kıyılarında en hızlı rüzgarların kafeslerin dolgun yapıları üzerinde oluşturdukları rüzgar kuvvetleri

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | RÜZGAR KUVVETLERİ (Kg/m ²) | | |
|------------------|--|----------|---------|
| | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 15.76 | 8.93 | 4.34 |
| NNE | 6.54 | 6.54 | 6.54 |
| NE | 17.72 | 5.04 | 0.81 |
| ENE | 12.78 | 6.08 | 3.93 |
| E | 17.72 | 9.27 | 4.48 |
| ESE | 21.37 | 20.35 | 19.32 |
| SE | 10.30 | 5.78 | 0.81 |
| SSE | 13.50 | 9.27 | 6.08 |
| S | 64.88 | 16.94 | 2.89 |
| SSW | 44.11 | 26.72 | 6.70 |
| SW | 46.00 | 18.73 | 3.79 |
| WSW | 45.00 | 28.25 | 11.68 |
| W | 64.00 | 18.73 | 4.62 |
| WNW | 60.00 | 23.03 | 2.05 |
| NW | 41.00 | 10.99 | 1.72 |
| NNW | 30.00 | 12.24 | 3.93 |

Deniz kafeslerinin ağsı yapıları ise balıkların yerleştirildikleri ağ torba, sıçrayıp kaçmalarını önleyen fribord ağ ve üstte balıkların yırtıcı kuşlardan korunduğu ağ örtüdür. Bunlardan rüzgarın etkisinde olanlar fribord ve üst ağlardır. Doğu Karadeniz ve Trabzon kıyılarında kullanılan deniz kafeslerinde fribord ağlar genellikle 1.0-1.5 m yüksekliklerinde olup ağ göz açıklıkları 14 mm den başlayıp tedricen balıklar büyüdükçe artırılmaktadır [4]. Buna göre deniz ağ kafeslerinin su hattı üzerindeki ağsı elemanları üzerindeki rüzgar kuvvetleri yine Tablo 7'de verilmiş olan maksimum, ortalama ve minimum rüzgar hızlarının oluşturdukları kuvvetler, değişen göz açıklıklarındaki ağlar için 29. denkleme göre belirlenmiştir (Tablo 16 ve Tablo 17).

Tablo 16. Trabzon kıyılarında görülen en hızlı rüzgarların göz açıklıkları 14, 20 ve 25 mm olan ağlar üzerinde oluşturacakları kuvvetler

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | RÜZGAR KUVVETLERİ (Kg/m ²) | | | | | | | | |
|------------------------|--|----------|---------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|----------|---------|
| | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 14 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 20 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 25 mm | | |
| | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 0.78 | 0.44 | 0.21 | 0.71 | 0.40 | 0.19 | 0.67 | 0.38 | 0.18 |
| NNE | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| NE | 0.87 | 0.25 | 0.04 | 0.79 | 0.23 | 0.04 | 0.75 | 0.21 | 0.03 |
| ENE | 0.63 | 0.30 | 0.19 | 0.57 | 0.27 | 0.18 | 0.54 | 0.26 | 0.17 |
| E | 0.87 | 0.46 | 0.22 | 0.79 | 0.41 | 0.20 | 0.75 | 0.39 | 0.19 |
| ESE | 1.05 | 1.00 | 0.95 | 0.96 | 0.91 | 0.86 | 0.91 | 0.86 | 0.82 |
| SE | 0.51 | 0.28 | 0.04 | 0.46 | 0.26 | 0.04 | 0.44 | 0.25 | 0.03 |
| SSE | 0.67 | 0.46 | 0.30 | 0.60 | 0.41 | 0.27 | 0.57 | 0.39 | 0.26 |
| S | 3.20 | 0.83 | 0.14 | 2.90 | 0.76 | 0.13 | 2.75 | 0.72 | 0.12 |
| SSW | 2.17 | 1.29 | 0.33 | 1.97 | 1.18 | 0.30 | 1.87 | 1.11 | 0.28 |
| SW | 2.27 | 0.92 | 0.19 | 2.06 | 0.84 | 0.17 | 1.96 | 0.79 | 0.16 |
| WSW | 2.26 | 1.39 | 0.58 | 2.05 | 1.26 | 0.52 | 1.94 | 1.20 | 0.49 |
| W | 3.15 | 0.92 | 0.23 | 2.86 | 0.84 | 0.21 | 2.72 | 0.79 | 0.19 |
| WNW | 2.99 | 1.13 | 0.10 | 2.72 | 1.03 | 0.09 | 2.58 | 0.98 | 0.09 |
| NW | 2.05 | 0.54 | 0.08 | 1.86 | 0.49 | 0.08 | 1.77 | 0.46 | 0.07 |
| NNW | 1.48 | 0.60 | 0.19 | 1.34 | 0.55 | 0.18 | 1.27 | 0.52 | 0.17 |

Tablo 17. Trabzon kıyılarında görülen en hızlı rüzgarların göz açıklıkları 30, 40 ve 50 mm olan ağlar üzerinde oluşturacağı kuvvetler

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | RÜZGAR KUVVETLERİ (Kg/m ²) | | | | | | | | |
|------------------------|--|----------|---------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|----------|---------|
| | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 30 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 40 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 50 mm | | |
| | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 0.64 | 0.36 | 0.18 | 0.61 | 0.35 | 0.17 | 0.59 | 0.33 | 0.16 |
| NNE | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| NE | 0.72 | 0.21 | 0.03 | 0.69 | 0.20 | 0.03 | 0.66 | 0.19 | 0.03 |
| ENE | 0.52 | 0.25 | 0.16 | 0.49 | 0.24 | 0.15 | 0.48 | 0.23 | 0.15 |
| E | 0.72 | 0.38 | 0.18 | 0.69 | 0.36 | 0.17 | 0.66 | 0.35 | 0.17 |
| ESE | 0.87 | 0.83 | 0.79 | 0.83 | 0.79 | 0.75 | 0.80 | 0.76 | 0.72 |
| SE | 0.42 | 0.24 | 0.03 | 0.40 | 0.22 | 0.03 | 0.38 | 0.22 | 0.03 |
| SSE | 0.55 | 0.38 | 0.25 | 0.52 | 0.36 | 0.24 | 0.50 | 0.35 | 0.23 |
| S | 2.65 | 0.69 | 0.12 | 2.51 | 0.66 | 0.11 | 2.42 | 0.63 | 0.11 |
| SSW | 1.80 | 1.07 | 0.27 | 1.71 | 1.02 | 0.26 | 1.65 | 0.98 | 0.25 |
| SW | 1.88 | 0.76 | 0.15 | 1.78 | 0.72 | 0.15 | 1.72 | 0.70 | 0.14 |
| WSW | 1.87 | 1.15 | 0.48 | 1.77 | 1.09 | 0.45 | 1.71 | 1.06 | 0.44 |
| W | 2.61 | 0.76 | 0.19 | 2.48 | 0.72 | 0.18 | 2.39 | 0.70 | 0.17 |
| WNW | 2.48 | 0.94 | 0.08 | 2.35 | 0.89 | 0.08 | 2.27 | 0.86 | 0.08 |
| NW | 1.70 | 0.45 | 0.07 | 1.61 | 0.42 | 0.07 | 1.55 | 0.41 | 0.06 |
| NNW | 1.23 | 0.50 | 0.16 | 1.16 | 0.47 | 0.15 | 1.12 | 0.46 | 0.15 |

3.2.2. Akıntı Kuvvetleri

Deniz yüzey akıntıları deniz kafeslerinde ağ torba içersinde oluşan atıkların uzaklaştırılması ve suyun oksijen kalitesi açısından kafeslerde yapılan balık yetiştiriciliğinde oldukça önemlidir. Bu nedenle kafeslerin yerleştirileceği yerin seçiminde o bölgede görülen yerel yüzey akıntılarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla o bölgede uzun süreli akıntı ölçümleri yapılmış olmalıdır. Ancak

Türkiye kıyılarında bu tür ölçümler gerek bugün ve gerekse geçmişte yapılamamış olmasından dolayı yerel yüzey akıntılarının tahmini yoluna gidilmiştir. Herhangi bir denizel ortamda rüzgar orjinli yüzey akıntıları, ani esen en hızlı rüzgar hızının % 2'si olarak balık yetiştiricilik planlanmasında alınabilmektedir [30]. Buna göre Trabzon kıyılarında uzun yıllar en hızlı rüzgar verilerine dayanarak (Tablo 7) görülebilecek rüzgar nedenli yüzey akıntıları 5.8-51.8 cm/sn arasında değişmek üzere Tablo 18'de görülmektedir.

Tablo 18. Trabzon kıyılarında oluşabilecek rüzgar nedenli deniz yüzey akıntıları

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | AKINTI HIZI (cm/sn) | | |
|------------------|---------------------|----------|---------|
| | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 25.56 | 19.24 | 13.42 |
| NNE | 16.46 | 16.46 | 16.46 |
| NE | 27.10 | 14.46 | 5.80 |
| ENE | 23.02 | 15.88 | 12.76 |
| E | 27.10 | 19.60 | 13.62 |
| ESE | 29.76 | 29.04 | 28.30 |
| SE | 20.66 | 15.48 | 5.80 |
| SSE | 23.66 | 19.60 | 15.88 |
| S | 51.86 | 26.50 | 10.94 |
| SSW | 42.76 | 33.00 | 16.66 |
| SW | 43.72 | 27.86 | 12.54 |
| WSW | 43.60 | 34.22 | 22.00 |
| W | 51.52 | 27.86 | 13.84 |
| WNW | 50.18 | 30.90 | 9.22 |
| NW | 41.54 | 21.34 | 8.44 |
| NNW | 35.30 | 22.52 | 12.76 |

Tablo 18 'de verilmiş olan Trabzon kıyılarında görülebilecek yerel yüzey akıntılarının deniz kafesleri üzerindeki etkisi özellikle ağ torba üzerinde gerçekleşir.

Bu nedenle ağ torba üzerindeki akıntı kuvvetleri belirlenmiştir.

Deniz kafesleri ağ torbalarının imalinde kullanılan ağların, göz açıklıkları yetiştiriciliğin başında 14 mm olup zamanla artırılmaktadır. Ayrıca ağlar naylon ve düğümlü olarak kabul edilmiş olup ağ iplik çapı 2.3 mm alınmıştır [4]. Ağ göz açıklığı, ağın naylon ve düğümlü olması, iplik çapı sürtünme katsayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle 14 mm'den başlayarak 20, 25, 30, 40, 50 mm göz açıklıklarındaki ağların oluşturduğu ağ torbaların 1m² alanı üzerindeki akıntı kuvvetleri belirlenmiş olup Tablo 19 ve Tablo 20'de verilmektedir.

Tablo 19. Trabzon kıyılarında yüzey akıntıları nedeniyle ağ göz açıklıkları 14, 20 ve 25 mm olan ağlar üzerinde oluşabilecek kuvvetler

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | AKINTI KUVVETLERİ (Kg/m ²) | | | | | | | | |
|------------------------|--|----------|---------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|----------|---------|
| | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 14 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 20 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 25 mm | | |
| | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 108.83 | 61.66 | 30.00 | 79.11 | 44.83 | 21.81 | 67.33 | 38.15 | 18.56 |
| NNE | 45.13 | 45.13 | 45.13 | 32.81 | 32.81 | 32.81 | 27.92 | 27.92 | 27.92 |
| NE | 122.34 | 34.83 | 5.60 | 88.93 | 25.92 | 4.07 | 75.69 | 21.55 | 3.47 |
| ENE | 88.27 | 42.00 | 27.12 | 64.17 | 30.54 | 19.72 | 54.61 | 25.99 | 16.78 |
| E | 122.34 | 63.99 | 30.90 | 88.93 | 46.52 | 22.46 | 75.69 | 39.59 | 19.12 |
| ESE | 147.53 | 140.48 | 133.41 | 107.25 | 102.12 | 96.98 | 91.27 | 86.91 | 82.54 |
| SE | 71.10 | 39.92 | 5.60 | 51.69 | 29.02 | 4.07 | 43.99 | 24.70 | 3.47 |
| SSE | 93.25 | 63.99 | 42.00 | 67.79 | 46.52 | 30.54 | 57.69 | 39.59 | 25.99 |
| S | 448.00 | 116.98 | 19.94 | 325.67 | 85.04 | 14.49 | 277.17 | 72.37 | 12.33 |
| SSW | 304.57 | 181.40 | 46.23 | 221.41 | 131.87 | 33.61 | 188.44 | 112.23 | 28.60 |
| SW | 318.40 | 129.29 | 26.19 | 231.46 | 93.99 | 19.04 | 196.99 | 79.99 | 16.21 |
| WSW | 316.66 | 195.06 | 80.62 | 230.19 | 141.80 | 58.61 | 195.91 | 120.68 | 49.88 |
| W | 442.15 | 129.29 | 31.91 | 321.42 | 93.99 | 23.19 | 273.55 | 79.99 | 19.74 |
| WNW | 419.45 | 159.05 | 14.16 | 304.91 | 115.62 | 10.29 | 259.51 | 98.40 | 8.76 |
| NW | 287.44 | 75.86 | 11.86 | 208.95 | 55.14 | 8.63 | 177.84 | 46.93 | 7.34 |
| NNW | 207.57 | 84.48 | 27.12 | 150.89 | 61.41 | 19.72 | 128.42 | 52.27 | 16.78 |

Tablo 19'da görüldüğü gibi ağ göz açıklığı küçüldükçe akıntı kuvveti artmakta, büyüdüğü ise azalmaktadır. Bunun yanında ağ göz açıklıkları 30 mm, 40 mm ve 60 mm için ağların birim m² alanı üzerinde oluşacak akıntı kuvveti Tablo 20'de görülmektedir.

Tablo 20. Trabzon kıyılarında yüzey akıntıları nedeniyle ağ göz açıklıkları 30, 40 ve 50 mm olan ağlar üzerinde oluşabilecek kuvvetler

| RÜZGAR ESME YÖNÜ | AKINTI KUVVETLERİ (Kg/m ²) | | | | | | | | |
|------------------------|--|----------|---------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|----------|---------|
| | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 30 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 40 mm | | | AĞ GÖZ AÇIKLIĞI 50 mm | | |
| | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum | Maksimum | Ortalama | Minimum |
| N | 60.21 | 34.12 | 16.60 | 52.15 | 29.55 | 14.37 | 47.75 | 27.06 | 13.16 |
| NNE | 24.97 | 24.97 | 24.97 | 21.63 | 21.63 | 21.63 | 19.80 | 19.80 | 19.80 |
| NE | 67.69 | 19.27 | 3.10 | 58.62 | 16.69 | 2.68 | 53.68 | 15.28 | 2.46 |
| ENE | 48.84 | 23.24 | 15.00 | 42.30 | 20.13 | 12.99 | 38.73 | 18.43 | 11.90 |
| E | 67.69 | 35.41 | 17.09 | 58.62 | 30.66 | 14.81 | 53.68 | 28.08 | 13.56 |
| ESE | 81.63 | 77.73 | 73.82 | 70.69 | 67.31 | 63.93 | 64.73 | 61.64 | 58.54 |
| SE | 39.34 | 22.08 | 3.10 | 34.07 | 19.13 | 2.68 | 31.20 | 17.51 | 2.46 |
| SSE | 51.59 | 35.41 | 23.24 | 44.68 | 30.66 | 20.13 | 40.92 | 28.08 | 18.43 |
| S | 247.88 | 64.72 | 11.03 | 214.67 | 56.05 | 9.55 | 196.57 | 51.33 | 8.75 |
| SSW | 168.52 | 100.37 | 25.58 | 145.94 | 86.92 | 22.15 | 133.64 | 79.59 | 20.29 |
| SW | 176.17 | 71.54 | 14.49 | 152.57 | 61.95 | 12.55 | 139.71 | 56.73 | 11.49 |
| WSW | 175.20 | 107.93 | 44.60 | 151.74 | 93.47 | 38.63 | 138.94 | 85.59 | 35.37 |
| W | 244.64 | 71.54 | 17.65 | 211.87 | 61.95 | 15.29 | 194.00 | 56.73 | 14.00 |
| WNW | 232.08 | 88.00 | 7.83 | 200.99 | 76.21 | 6.78 | 184.04 | 69.79 | 6.21 |
| NW | 159.04 | 41.97 | 6.56 | 137.74 | 36.35 | 5.69 | 126.12 | 33.28 | 5.21 |
| NNW | 114.85 | 46.74 | 15.00 | 99.46 | 40.48 | 12.99 | 91.07 | 37.07 | 11.90 |

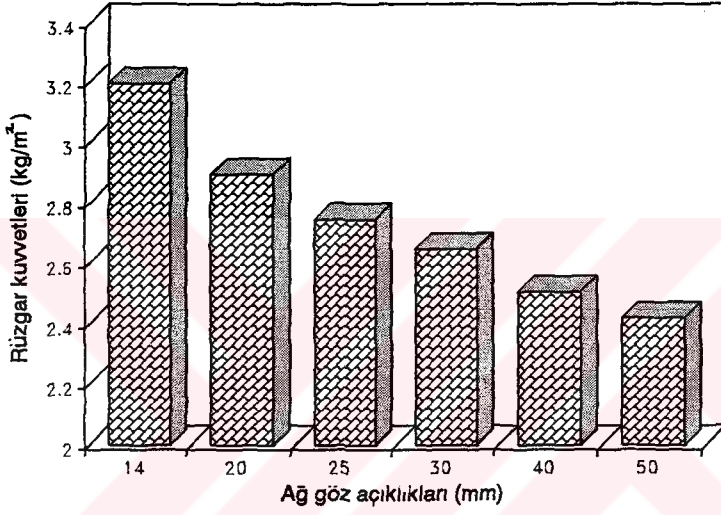
4. IRDELEME VE DEĞERLENDİRME

Trabzon kıyılarında balık yetiştiriciliğinde kullanılan deniz kafeslerini etkileyen rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel kuvvetler çeşitli teori ve deneysel formülasyonlar kullanılarak ortaya koyulmuştur. Çevresel kuvvetlerden rüzgar ve akıntılarının deniz kafeslerinin ağ panelleri ve dalgaların ise kafeslerin yüzdürücü yakaları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deniz kafeslerini etkileyen rüzgar ve akıntı kuvvetlerinin belirlenmesinde ani esen en hızlı rüzgarlar kullanılmıştır. Buna göre Trabzon Meteoroloji İstasyonundan alınan verilere dayanılarak Trabzon kıyılarında 1938-1994 yılları arasında ani esen en hızlı rüzgarlar açısından hakim rüzgar yönünün WNW olduğu ve deniz kafesleri için dizayn rüzgar hızlarının 25.09-25.92 m/sn olduğu belirlenmiştir. En hızlı rüzgarların 1938-1994 yılları arasında mevsimler ve genel olarak tüm yıl içerisindeki esme yüzde frekansları dağılımlarına bakıldığında (Şekil 25,26,27,28 ve 29) hakim rüzgar yönünün WNW olduğu ve bunu W ve NW izlemek üzere Trabzon kıyıları için en hızlı rüzgarların yada zarar verici rüzgarların kuzeybatı yönlerinden geldiği tesbit edilmiştir. Bunların yanında rüzgar şiddetleri göz önüne alınmadan Trabzon kıyılarında 1949-1990 yılları arasında kaydedilen rüzgarların % esme frekanslarına (Şekil 31) bakıldığında ESE, SE ve SSE olmak üzere güney ve güneydoğu yönlü rüzgarların en çok esmiş olduğu görülmüştür.

Trabzon kıyılarında 1938-1994 yılları arasında görülen en hızlı rüzgarların deniz kafeslerinin su seviyesi üzerindeki sıçrama ağ panelinde oluşturduğu kuvvetler farklı göz açıklıklarındaki (14, 20, 25, 30, 40 ve 50 mm) ağlar için ve ağsı olmayan katı ve dolgun yapılar (korkuluklar ve

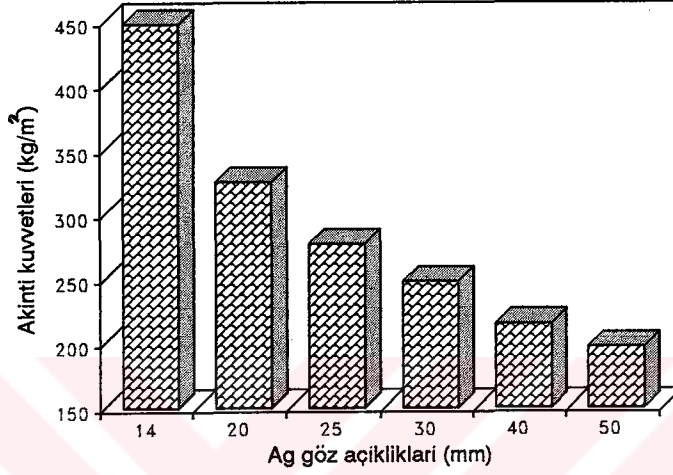
yüzdürücü) üzerindeki kuvvetler bulunmuştur. Buna göre kafeslerin katı yapıları üzerinde oluşacak maksimum kuvvet 64.00-64.88 kg/m², ağlar üzerindeki maksimum kuvvet ise 14 mm göz açıklığındaki ağlar için 3.20 kg/m², 20 mm göz açıklığındaki ağlar için 2.90 kg/m², 25 mm göz açıklığındaki ağlar için 2.75 kg/m², 30 mm göz açıklığındaki ağlar için 2.65 kg/m², 40 mm göz açıklığındaki ağlar için 2.51 kg/m² ve 50 mm göz açıklığındaki ağlar için ise 2.42 kg/m² olduğu bulunmuştur (Şekil 58).



Şekil 58. Değişen ağ göz açıklıklarına göre rüzgar kuvvetleri

Deniz kafeslerine akıntıların etkileri incelenirken kafeslerin ağ torbaları gözönüne alınmıştır. Buna göre Trabzon kıyıları için en hızlı rüzgarlardan tahmin edilmiş olan deniz yüzey akıntıları maksimum 51.86 cm/sn, ortalama 26.50 cm/sn ve minimum 10.94 cm/sn olarak tesbit edilmiştir. Bu akıntıların kafeslerin ağ torbası üzerinde oluşturduğu kuvvetler yine 14, 20, 25, 30, 40 ve 50 mm gibi farklı göz açıklıklarındaki ağlar için hesaplanmıştır. Buna göre Trabzon kıyılarında deniz kafeslerinde ağ torbalar üzerinde oluşabilecek maksimum akıntı kuvvetleri göz açıklıkları 14 mm olan ağlar için 448 kg/m², 20 mm için 325 kg/m², 25 mm

için 277 kg/m², 30 mm olan ağlar için 247.88 kg/m², 40 mm için 214.67 kg/m² ve 50 mm gözaçıklığındaki ağlar için 196.57 kg/m² olarak tesbit edilmiştir. Bu verilere göre ağ göz açıklıkları ile akıntı kuvvetleri arasında bir ters orantı olduğu görülebilir (Şekil 59). Yani ağ panellerini



Şekil 59. Değişen ağ göz açıklıklarına göre akıntı kuvvetleri

oluşturan ağ göz açıklıkları küçüldükçe akıntı kuvvetleri artmaktadır.

Trabzon kıyılarında görülen dalgaların deniz kafeslerine etkileri, yüzdürücü yakaları üzerindeki dalga kuvvetlerinin hesaplanmasıyla tesbit edilmiştir. Dalga kuvvetleri Trabzon kıyılarında 10, 25 ve 50 yıllık tekerrür periyotlarına sahip belirgin, ortalama ve maksimum yükseklikteki dalgalara göre hesaplanmıştır. Dalga kuvvetlerinin hesabında Morison ve Froude-Krylov metodları kullanılmıştır. Ayrıca kafeslerin yüzdürücü yakaları üzerindeki kuvvetler hesaplanırken silindirlerin çapları 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm ve 40 cm'lik silindirler olarak kabul edilmiştir. Trabzon kıyılarında kullanılan deniz kafeslerinde yüzdürücü yakaları oluşturan fiberglas silindirik boruların çapları genellikle 25-30 cm arasında

olmaktadır [4]. Buna göre Trabzon kıyılarında kullanılan deniz kafeslerine etkiyen maksimum, ortalama ve belirgin dalga kuvvetleri tesbit edilebilir (Tablo 9,10,11,12,13,14).

Morison metoduna göre deniz kafeslerinde kullanılan 30 cm'lik silindirlere etkiyen maksimum, ortalama ve belirgin dalga kuvvetleri Tablo 21 de gösterilmektedir.

Tablo 21. Deniz kafeslerine etkiyen dalga kuvvetleri
(Morison metodu)

| Görülme sıklığı (yıl) | Max. | Ort. (N /m) | Belirgin |
|--------------------------|------|----------------|----------|
| 10 | 1284 | 186 | 407 |
| 25 | 1536 | 217 | 483 |
| 50 | 1644 | 230 | 513 |

Morison metoduna göre elde edilen sonuçlarda belirgin, ortalama ve maksimum dalga yüksekliklerine sahip dalgaların yükseklikleri arttıkça dalga kuvvetleri artmaktadır. Ayrıca yine dalga kuvvetleri kullanılan yakaların çaplarının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Froude-Krylov metoduna göre yine 30 cm çapında silindir yakalardan imal edilen yakalara etkiyen dalga kuvvetleri Tablo 22'de verilmektedir.

Tablo 22. Deniz kafeslerine etkiyen dalga kuvvetleri
(Froude-Krylov metodu)

| Görülme sıklığı (yıl) | Max. | Ort. (N /m) | Belirgin |
|--------------------------|------|----------------|----------|
| 10 | 524 | 186 | 293 |
| 25 | 526 | 180 | 295 |
| 50 | 525 | 180 | 294 |

Dalga kuvvetleri açısından bir değerlendirme yapıldığında Morison yöntemine bulunan sonuçlar Froude-Krylov yöntemi sonuçlarına göre daha yüksek ve daha güvenilir olmaktadır. Deniz kafes yapılarının dizaynında emniyet açısından daha büyük değerlerin dikkate alınması gerekir. Deniz dalgaları ile deniz yapılarının girişiminde yapıların üzerinde oluşacak kuvvetlerin belirlenmesinde metodların seçimi yapılar üzerindeki sürtünme ve atalet kuvveti etkileri önemli bir faktördür [20]. Sürtünme etkisinin atalet kuvveti etkisine nazaran daha etkin veya daha büyük olduğu durumlarda Morison metodu tersi durumda ise Froude-Krylov metodu geçerlidir [20]. Bu çalışmada Trabzon kıyılarında görülebilecek maksimum, ortalama ve belirgin dalgalarının deniz kafesleri ile olan ilişkilerinde sürtünme etkisinin daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40).

Trabzon kıyılarında kullanılan dairesel ve iç içe birbirine paralel iki silindir borunun birleştirilmesiyle oluşturulan deniz kafes yakalarına etkiyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı Morison metodu daha uygun bulunmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonucunda, amaçlanmış olan deniz kafeslerini etkileyen çevresel kuvvetler Trabzon kıyılarını etkileyen meteorolojik koşullar gözönüne alınarak tespit edilmiştir. Deniz kafeslerinin gerek yapısal ve gerekse fonksiyonel olarak barındırdıkları balıklar üzerinde etkili olan çevresel kuvvetlerden akıntı, rüzgar ve deniz dalgaları gözönüne alınmıştır.

Trabzon kıyılarında deniz kafesleri açısından genel çevresel koşullar Tablo 23'de verilmektedir. Ortamda görülen rüzgarlar açısından Trabzon kıyılarında, 1938-1994 yılları arasında yapılan analizler sonucunda dizayn rüzgar hızının 25.09-25.92 m/sn arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en hızlı rüzgarların en çok WNW yönünden (Şekil 29) esmiş olduğu ve hakim rüzgarların (W,NW,WNW) kuzeybatılı rüzgarlar olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 23. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerini etkileyen genel çevresel parametreler.

| Çevresel Kuvvet | * Belirgin | Maksimum | Ortalama | Minimum |
|-----------------|------------|----------|----------|---------|
| Rüzgar, m/s | - | 25.92 | 17.11 | 2.90 |
| Akıntı, m/s | - | 0.52 | 0.34 | 0.06 |
| Dalga Yük, m | 10 | 5.36* | 10.02 | - |
| | 25 | 6.09* | 11.38 | - |
| | 50 | 6.63* | 12.39 | - |

* (Bilgin [39] tarafından tespit edilmiştir.)

Deniz kafeslerini etkileyen deniz yüzey akıntıları, Trabzon kıyılarında rüzgar nedeniyle oluşan akıntılar olarak kabul edilmiş olup en etkili akıntıların 0.52 m/sn hıza sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca diğer bir etkili faktör olan deniz dalgaları, Trabzon kıyıları için 10, 25 ve 50 yıllık tekerrür periyotlarına sahip dalgalar olarak ele alınmış olup en büyük, ortalama ve belirgin dalga yüksekliği parametreleri kullanılmıştır. Trabzon kıyılarında gerçek dalga ölçümleri yapılamadığından Bilgin [39] tarafından tahmin edilmiş 10,25 ve 50 yılda bir görülebilecek dalga yükseklikleri kullanılarak Rayleigh olasılık dağılımı tablosundan [18] en yüksek ve ortalama dalga yükseklikleri belirlenmiş ve bunların kafeslere etkileri incelenmiştir (Tablo 23). Buna göre Trabzon kıyılarında görülebilecek en yüksek dalgalar 10.02 m, 11.38 m ve 12.39 m yüksekliğindeki dalgalar olup sırasıyla 10,25 ve 50 yıllık tekerrür periyotlarına sahiptirler.

Deniz kafeslerini etkileyen bu çevresel kuvvetlerin (Tablo 23) kafeslerin muhtelif elemanları üzerindeki etkileri her bir faktör için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Buna göre rüzgar nedeniyle deniz kafeslerinin katı, dolgun yapıları ve ağısı yapıları üzerinde oluşacak birim kuvvetler Tablo 24' de görülmektedir.

Tablo 24. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerinde fribord ağ üzerinde oluşacak birim rüzgar kuvvetleri.

| Rüzgar kuvvet (kg/m ²) | Katı ve Dolgun Yapılar | Ağ Göz Açıklıklarına Göre Ağ Panelleri Üzerinde Oluşan Kuvvetler | | | | | |
|------------------------------------|------------------------|--|------|------|------|------|------|
| | | 14mm | 20mm | 25mm | 30mm | 40mm | 50mm |
| Max | 64.88 | 3.20 | 2.90 | 2.75 | 2.65 | 2.51 | 2.42 |
| Ort | 28.25 | 1.39 | 1.26 | 1.20 | 1.15 | 1.09 | 1.06 |
| Min | 0.81 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |

Tablo 24'de görülmekte olan kuvvetler rüzgar yönüne dik olarak bulunan katı yada dolgun yapı ve ağ panellerinin birim yüzey alanı üzerine etkiyen rüzgar kuvvetleridir. Buna göre Doğu Karadeniz'de yaygın bir şekilde kullanılan 10 m çaplı 1.0-1.5 m yüksekliğinde fribord ağa sahip deniz kafeslerinin fribord ağları üzerinde oluşacak en etkili rüzgar kuvvetleri en küçük göz açıklığına sahip 14 mm'lik ağlar üzerinde 3.20 kg kg/m²'ye ulaşan değerlerle gerçekleşmektedir. Ağ göz açıklıkları arttıkça rüzgar kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde deniz kafeslerine ait katı ve dolgun yapılar üzerinde oluşan rüzgar kuvvetlerinin ağlar üzerinde oluşan rüzgar kuvvetlerine nazaran oldukça yüksek olduğu ve maksimum rüzgar kuvvetinin 64.88 kg'a ulaştığı belirlenmiştir.

Benzer şekilde Trabzon kıyılarında görülebilecek yüzey akıntıları nedeniyle deniz kafeslerinin ağ torbası üzerinde oluşabilecek maksimum, ortalama ve minimum kuvvetler Tablo 25'de gösterilmektedir.

Tablo 25. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerinde ağ torba üzerinde oluşacak birim akıntı kuvvetleri.

| Akıntı Kuvveti (kg/m ²) | Ağ Göz Açıklıklarına Göre Ağ Panelleri Üzerinde Oluşan Kuvvetler | | | | | |
|-------------------------------------|--|------|------|------|------|------|
| | 14mm | 20mm | 25mm | 30mm | 40mm | 50mm |
| Maksimum | 448 | 326 | 277 | 248 | 215 | 194 |
| Ortalama | 195 | 142 | 121 | 108 | 93 | 86 |
| Minimum | 6 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 |

Deniz kafeslerinde ağ torbaları oluşturan panellere dikey olarak etkidiği kabul edilen deniz yüzey akıntıları nedeniyle birim ağ alanı üzerindeki kuvvetler Tablo 25'de verilmiştir. Buna göre Trabzon kıyılarında çoğunlukla kullanılan 10 m çapındaki ve 7 m ağ torba derinliğine sahip kafesler üzerinde oluşacak akıntı kuvvetleri yine en küçük

ağ göz açıklığına 14 mm'lik ağ panelleri üzerinde 448 kg/m²'ye ulaşan değerlerle en yüksek akıntı kuvvetlerini oluşturmaktadır. Rüzgar kuvvetlerinde olduğu gibi deniz kafeslerini oluşturan ağ torbaların ağ göz açıklıkları arttıkça akıntı kuvvetleri azalmaktadır. Bu sonuçlara göre, akıntı kuvvetlerinin deniz kafesleri etkileyen yükler açısından rüzgar kuvvetlerine nazaran çok daha etkili ve önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Deniz kafesleri üzerinde en etkili çevresel faktör olan dalgalar, kafeslerle geniş ölçüde ilişki içerisinde olduğundan kafeslerde istenmeyen hareketlerin yanında yapısal sağlamlığı etkileyebilecek kuvvetler ortaya

Tablo 26. Trabzon kıyılarında deniz kafeslerine etkileyen dalga kuvvetleri

| Tekrar Per. (yıl) | Dalga Kuvvetleri (N/m) | | |
|-------------------|------------------------|----------|----------|
| | Maksimum | Belirgin | Ortalama |
| 10 | 1284 | 407 | 186 |
| 25 | 1536 | 483 | 217 |
| 50 | 1644 | 513 | 230 |

çıkarmaktadırlar. Bu amaçla Trabzon kıyılarında dalgalar nedeniyle kafeslerin silindirik yakaları üzerinde oluşacak belirgin, ortalama ve maksimum dalga kuvvetleri belirlenmiştir. Dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde Morison ve Froude-Krylov metodları kullanılmıştır. Ancak Morison metoduyla elde edilen sonuçların kafeslerin tasarım aşamalarında emniyet ve güvenilirlik açısından kafeslere etkileyebilecek kuvvetleri temsil edebileceği ortaya çıkmıştır. Trabzon kıyılarında 10, 25 ve 50 yılda bir oluşma olasılıklarına sahip belirgin, ortalama ve maksimum yüksekliğe sahip dalgaların 30 cm çapında silindirik yakalara sahip deniz kafesleri üzerinde oluşturacakları kuvvetler Tablo 26'de verilmiştir.

6. ÖNERİLER

Sanayileşme ve çevre kirliliği nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde balık yetiştirmeye uygun deniz alanları kıyılardan daha açıklara doğru kaymaktadır. Böylece temiz ve oksijence zengin bir su ortamına sahip olunmaktadır. Ancak bu pozitif kazançların yanında deniz kafeslerini etkileyen çevresel kuvvetlerde artmaktadır. Deniz kafeslerinde yetiştiricilik çalışmalarını oldukça pahalı bir yatırım gerektirdiği gözönünde tutulursa kafesleri etkileyebilecek rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel kuvvetlerin belirlenmesi ülkelerin ekonomisi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Trabzon kıyılarında mevcut uzun yıllar meteorolojik koşulları gözönüne alınarak deniz kafeslerini etkileyebilecek çevresel yükler belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen çevresel yükler rüzgar, akıntı ve dalgalardır. Bu çevresel koşullardan rüzgarlar kıyı meteoroloji istasyonlarında ölçülen veriler olarak alınmıştır. Ancak kafesler deniz ortamında açıkdenizde yerleştirildiklerinden kıyı istasyonlarında ölçülen rüzgarlardan daha sert çevresel koşullara maruz kalırlar. Ayrıca dalga ve akıntı koşulları rüzgar verileri kullanılarak tahmin edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu nedenle belli bir ortamda deniz kafeslerinde balık yetiştiriciliği tasarlanıyorsa o ortamda öncelikle çevresel koşullar direkt olarak rüzgar, akıntı ve dalga ölçüm aletleriyle gerçek değerleri uzun yıllar boyunca değişimlerini içerecek şekilde ortaya koyulmalıdır. Ayrıca bu çalışmayla belirlenen çevresel kuvvetlerin kontrolü yapılabilmesi için daha ileri çalışmalarda model testleri yapılması faydalı olabilir. Böylece deniz kafeslerine belli koşullarda gelebilecek etkiler nümerik bağıntılarla

belirlenmiş olur. Bu tür çalışmaların, üretici tarafından yapılamayacağı açık olduğundan, konuyla ilgili üniversite ve araştırma enstitüleri gibi kuruluşlar tarafından balık yetiştiriciliği potansiyeli yüksek olan alanlar için çevresel etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.



7. KAYNAKLAR

1. D.t.E., 1992 Su Ürünleri İstatistikleri, Ankara, 1993.
2. Svealv, T., Strategies ve Technologies in Offshore Fish Farming, Fisheries Research, 10 (1991) 329-349.
3. Beveridge, M.C.M., Cage aquaculture, Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, 1987.
4. Anonim, Deniz Kafes Üniteleri İnceleme Raporları, KTÜ Sürmene Deniz Bil. Fak., Çamburnu, Trabzon, 1993.
5. Alpbaz, A.G., Deniz Balıkları Yetistirciliği, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Yüksek Okulu Yayınları, İzmir, 1990
6. Çelikkale, M.S., İç Su Balıkları Yetistirciliği, KTÜ Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksek Okulu Yayınları, Trabzon, 1988.
7. Braaten, B. ve Dahle, L.A., Large Scale Offshore Farming, 4th Aquaculture International Conference, 14th-15th October 1988, Verona, Norwegian Institute for Water Research, 1-32.
8. Oltedal, G., Lien, E. ve Aarsnes, J.V., Simulation of Fish Cage Response to Waves and Currents, Proc. I Chem E111, 2 (1988) 123-132.

9. Balchen, J.G., The State of the Art in Offshore Fish Farming, Engineering for Offshore Fish Farming, Proceedings of the Conference Organised by the Institution of Civil Engineers, and held in Glasgow, October 1990, London, Thomas Telford Pub. Ltd., 211-219.

10. Aarsnes, J.V., Loland, G. ve Rudi, H., Current Forces on Cage, Net Deflection, Engineering for Fish Farming, Proceedings of the Conference organised by the Institution of Civil Engineers, and held in Glasgow on 17-18 October 1990, London, Thomas Telford Pub. Ltd., 137-152.

11. Loland, G., Current Forces on, and Water Flow Through and around, floating fish farms, Aquaculture International, 1 (1993) 72-89.

12. Rudi, H., Aarsnes, J.V. ve Dahle, L.A., Environmental Forces on a Floating Cage System, Mooring Considerations, Conf. Univ. of Stirling, June 1988, Trondheim, Marintek A/S, 1-20.

13. Linfoot, B.T., Cairns, J. ve Poxton, M.G., Hydrodynamics and biological factors in the design of sea-cages for fish culture, Engineering for Offshore Fish Farming, Proceedings of the conference organised by the Institution of Civil Engineers, and held in Glasgow on 17-18 October 1990, London, Thomas Telford Pub. Ltd., 197-210.

14. Cairns, J. ve Linfoot, B.T., Some Considerations in the Structural Engineering of Sea-Cages for aquaculture, Engineering for Offshore Fish Farming, Proceedings of the Conference Organised by the Institution of Civil Engineers, and held in Glasgow on 17-18 October 1990, London, Thomas Telford Pub. Ltd., 63-78.

15. Open University Course Team, Waves, Tides and Shallow Water Processes, Edited by Gerry Bearman, Second edition (with corrections), Pergamon Press, 1991.

16. Thurman H.V., Essentials of Oceanography, Edited by Robert A. McConnin, Macmillan Publishing Company, Fourth Edition, Newyork, 1993.

17. Kocataş, A., Oseanoloji, Ege Üniversitesi Basımevi, Kitaplar Serisi No.114, izmir, 1986.

18. Gaythwaite, J.W., The Marine Environment and Structural Design, Boston Soc. of Civil Engineers Section, Van Nostrand Reinhold Company, ASCE, Vol 65, No 3, 1978.

19. CERC (U.S. Army Coastal Engineering Center), Shore Protection Manual, Corps of Engineers, Vol I-II, Washington, 1984.

20. Chakrabarti, S.K., Hydrodynamics of Offshore Structures, Computational Mechanics Publications, Southampton, 1987.

21. Sabuncu, T., Gemi Hareketleri, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1248, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1983.

22. Pond, S. ve Picard, G.L., Introductory Dynamic Oceanography, Pergamon Press, First Edition, Oxford, 1978.

23. Sükan, L.M., Açıkdeniz Yapılarının Hidrodinamiği, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak., Ofset baskı Atölyesi, İstanbul, 1985.

24. Artüz, İ., Oseanografi Ders Notları, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, 1990.

25. Unsal, İ., Oseanografi, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, 1990.

26. Bilgin, R., Limanlar ve Barınaklar Ders Notları, KTÜ. Sürmene Deniz Bilimleri Fak., Trabzon, 1994.

27. Küçükbayındır, Y., Genel Meteoroloji, Askeri Bilimler Bölüm Bşk. Yayınları, İstanbul, 1981.

28. Erol, O., Genel Klimatoloji, 4. Baskı, Gazi Büro Kitabevi, Ankara, 1993.

29. Ahrens, C.D., Meteorology Today, Third Edition, West Publishing Company, USA, 1988.

30. Moe, G., Morison Type Wave Loading, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Water Wave Kinematics, Series E:Applied Sciences, Vol.178, Edited by A.Torum ve O.T. Gudmestad, Molde, Norway, 1990, Kluwer Academic Publishers, 651-678.

31. Holmes, P. ve Chaplin, J.R., Wave Loads on Horizontal Cylinders, Journal of Coastal Engineers, 2 (1978) 2449-2460

32. Teng, C. ve Nath, J.H., Forces on Horizontal Cylinder Towed in Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 111, 6 (1985) 1022-1040.

33. Guo, Y., Dynamic Analysis of Marine Riser, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of British Columbia, Canada, 1992.

34. Anonim., Romanya Sosyalist Cumhuriyeti Bakanlar Kurulu Devlet Su İşleri Komitesi, Bükreş, 1966, Romanya Kıyıları Boyunca Karadeniz'in Kıyı ve Tabanının Fiziksel Karakteristikleri, Çeviren; Dalmaz, M., İstanbul, 1976.

35. Neuman, G. ve Pierson, W.J., Principles of Oceanography, Printicel-Hall Inc., Engewood Cliffs, USA, 1966.

36. Muir, J.F., Aquaculture Systems and Design, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, 1993.

37. Milne, P.H., Fish and Shellfish Farming in Coastal Waters, Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, 1972.

38. Beveridge, M.C.M., Cage and Pen Fish Farming, Carrying Capacity models and Environmental Impact, FAO Fisheries Technical Paper, No.255, Rome, 1984.

39. Bilgin, R. ve Çam, T., On the Calculation of Extreme Waves and Design Waves for Designing Coastal Structures, Computer Modelling of Seas and Coastal Regions, Editor:P.W. Partridge, Wessex Institute of Technology, Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston, 1992.

40. Bilgin, R. ve Ertaş, B., Doğu Karadeniz Sahil Tahkimat Projesi, Kıyı Karayolunun Dalga Etkilerinden Korunması için Tas Dolgu Koruyucu Yapılarının Projelendirilmesi, Şubat, 1987, Trabzon, Ara Rapor 1-2.

8. ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Akçaabat'da doğdu. İlk Okulu Trabzon Ülkü İlk Okulu'nda orta öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 1988 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksek Okulunda yüksek öğrenimine başladı. Bu okuldan 1992 yılında Balıkçılık Teknolojisi Mühendisi olarak mezun oldu.

Aynı yıl K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Haziran 1993 tarihinde Fen Bilimleri Enstitüsüne araştırma görevlisi olarak atandı. Halen Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesinde aynı göreve devam etmektedir.