



**KENTSEL ATIKSULARIN ARITMAYLA GERİ KAZANIMI  
KAŞ ÖRNEĞİ**

**Hakan AYDOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2021**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hakan AYDOĞAN

04/06/2021

# KENTSEL ATIKSULARIN ARITMAYLA GERİ KAZANIMI KAŞ ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hakan AYDOĞAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

## ÖZET

Kıyısız su alanları şehirleşme, artan nüfus ve çeşitli turizm faaliyetleri sonucunda su kirliliği sorunları yaşamaktadırlar. Deniz kenarlarında bulunan yerleşim yerlerinin evsel atıksuları yoğunlukla arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmektedir. Bu çalışmada arıtma sonrasında atıksuların kıyısız sulara deşarjı yerine tekrar kullanımlarının gerekliliği incelenmiştir. Uygulama alanı olarak Türkiye'nin Batı Akdeniz Havzasında yer alan ve kıyı turizmi açısından önemli bir konuma sahip olan Antalya'nın Kaş İlçesi seçilmiştir. İlçede yer alan atık su arıtma tesisi, turizm açısından çok değerli olan Çukurbağ Yarımadası'nda yer almaktadır. İlçenin turizm potansiyeli düşünüldüğünde, atık su arıtma tesisinde gelecekte yapılması muhtemel kapasite artışları, arazinin dar bir topografyaya sahip olması nedeniyle olumsuz sonuçlanacaktır. Arıtılan Kaş İlçesi evsel atıksuları, bir deniz deşarjı sistemi ile Kaş Körfezi kıyısız sularına bırakılmaktadır. Kaş Körfezi kıyısız sularında taşınım süreçlerinin anlaşılması için rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı iklimi HYDROTAM-3D sayısal modeli kullanılarak incelenmiş ve denize bırakılan kirleticilerin uzak alan dağılımları modellenmiştir. Modelleme çalışmaları kirlilik bulutunun Körfez içinde su kalitesi problemlerine yol açabileceğini göstermiştir. Bölgede yer alan tarım arazilerinin varlığı atıksuyun yeniden kullanımının gerekliliğini artırmaktadır. Modelleme çalışmalarına dayanılarak, atık su arıtma tesisinin Çukurbağ Yarımadası'ndan kaldırılması ve ileri biyolojik arıtma yöntemleri kullanılarak yeniden tasarlanması önerilmektedir. İleri arıtmayla arıtılan atık suların tarımsal sulama ya da kentsel sulama amaçlı olarak yeniden kullanılması sağlanmalıdır. Tüm benzer kıyı kentlerimiz için denize deşarj edilen arıtılmış atıksuların yeniden kullanımları, suyun sürdürülebilir yönetim planlarına dahil edilmelidir.

Bilim Kodu : 90319  
Anahtar Kelimeler : Evsel atık, deniz deşarjı, arıtma, suyun yeniden kullanımı, HYDROTAM-3D, modelleme  
Sayfa Adedi : 97  
Danışman : Prof. Dr. Sinan ALTIN

## REUSE OF TREATED DOMESTIC WASTEWATER: KAŞ CASE STUDY

(M. Sc. Thesis)

Hakan AYDOĞAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

JUNE 2021

## ABSTRACT

Coastal waters face with pollution problems due to urbanization, increasing population and various tourism activities. Domestic wastewaters of settlements located on the seaside are mostly discharged into the sea environment after the treatment. In this study, the necessity of reuse of wastewaters instead of discharging them into the coastal waters after the treatment has been investigated. Kaş District of Antalya located in the Western Mediterranean Basin of Turkey that is valuable location regarding coastal tourism has been chosen as the case study area. The wastewater treatment plant in the district is located in Çukurbağ Peninsula, which is very valuable for tourism activities. Considering the tourism potential of the district, possible future capacity increases in the wastewater treatment plant will not be possible due to the narrow topography of the land. The treated Kaş domestic wastewaters are discharged to the coastal waters of Kaş Bay by a sea outfall system. In order to understand the transport processes in the coastal waters of Kaş Bay, wind climate, wave climate and current climate have been analyzed using the HYDROTAM-3D numerical model and the far-field dilutions of pollutants discharged into the sea have been modeled. Modeling studies have shown that the pollution cloud can lead to water quality problems within the Bay in near future. The existence of agricultural lands in the region increases the importance of the reuse. Based on modeling studies, it is suggested that the waste water treatment plant be removed from Çukurbağ Peninsula and redesigned using advanced biological treatment methods. It should be ensured that wastewater treated with advanced treatment is reused for agricultural irrigation or urban irrigation. For all similar coastal cities in Turkey, reuse of treated wastewaters discharged into the sea should be included in the sustainable water management plans.

Science Code : 90319

Key Words : Domestic wastewater, sea outfall, treatment, reuse of wastewater, HYDROTAM-3D, modeling

Page Number : 97

Supervisor : Prof. Dr. Sinan ALTIN

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında desteğini ve katkısını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Sinan ALTIN'a ve Prof. Dr. Lale BALAS ile her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarında HYDROTAM-3D sayısal yazılımının kullanılmasına izin verdikleri için DLTM Yazılım Teknolojileri San. ve Tic. Ltd.'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                  | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                                       | iv    |
| ABSTRACT.....                                                                    | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                                    | vi    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                        | x     |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                          | xi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                     | xiv   |
| 1. GİRİŞ.....                                                                    | 1     |
| 2. ATIKSU KAVRAMI VE ATIKSU ARITMA TESİSİ BÖLÜMLERİ..                            | 3     |
| 2.1. Dünyada ve Ülkemizde Su Varlığı .....                                       | 3     |
| 2.1.1. Dünyada su varlığı .....                                                  | 3     |
| 2.1.2. Türkiyede su varlığı .....                                                | 4     |
| 2.2. Atık Su Kavramı ve Atık Su Arıtma Tesisi Bölümleri .....                    | 5     |
| 2.2.1. Atık su arıtma tesislerinin tarihsel gelişimi ve ülkemizdeki durumu ..... | 6     |
| 2.2.2. Ülkemizdeki atık su yönetim bölgeleri .....                               | 7     |
| 2.2.3. Atık su arıtma tesisi dizayn hususları .....                              | 7     |
| 2.2.4. Atık su arıtma tesisi bölümleri.....                                      | 10    |
| 3. ATIK SU MEVZUATI VE DEŞARJ YÖNTEMLERİ .....                                   | 17    |
| 3.1. Su ve Atık Su Yönetiminde Kurumsal Yapı.....                                | 17    |
| 3.1.1. Su ve atık su yönetiminde ulusal mevzuat.....                             | 17    |
| 3.1.2. Su ve atık su yönetiminde uluslararası mevzuat.....                       | 19    |
| 3.2. Kentsel Atık Suların Yeniden Kullanım Alanları .....                        | 22    |
| 3.2.1. Kentsel yeniden kullanım .....                                            | 23    |
| 3.2.2. Endüstriyel yeniden kullanım .....                                        | 23    |

|                                                                      | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| 3.2.3. Yeraltı suyu beslemesi .....                                  | 24           |
| 3.2.4. Tarımsal yeniden kullanımı .....                              | 24           |
| 3.2.5. Çevresel yeniden kullanım.....                                | 25           |
| 3.3. Uluslararası Yeniden Kullanım Örnekleri .....                   | 25           |
| 3.3.1. Mısır.....                                                    | 26           |
| 3.3.2. Fransa.....                                                   | 26           |
| 3.3.3. İtalya .....                                                  | 26           |
| 3.3.4. Tunus .....                                                   | 26           |
| 3.3.5. Hindistan.....                                                | 27           |
| 3.3.6. Çin.....                                                      | 27           |
| 3.3.7. Kaliforniya .....                                             | 27           |
| 3.4. Kentsel Atık Suların Denize Deşarj Edilmesi.....                | 28           |
| 3.4.1. Deniz suyu ve özellikleri .....                               | 29           |
| 3.4.2. Deniz deşarj sistemleri.....                                  | 29           |
| 3.4.3. Ülkemizde deniz deşarjı uygulama örnekleri .....              | 31           |
| 3.4.4. Deniz deşarj sistemlerinin denizel ekosistemlere etkisi ..... | 32           |
| 3.4.5. Deniz deşarj sistemleri yasal dayanak .....                   | 33           |
| <b>4. ATIKSULARIN DENİZ ORTAMINDA DAVRANIŞI: KAŞ ÖRNEĞİ</b>          | <b>37</b>    |
| 4.1. Kaş İlçesi Hakkında Genel Bilgiler .....                        | 37           |
| 4.1.1. Nüfus dağılımı .....                                          | 37           |
| 4.1.2. Ekonomik yapısı .....                                         | 38           |
| 4.1.3. Coğrafi konumu .....                                          | 38           |
| 4.2. Kaş İlçesi Fiziki Yapısı.....                                   | 39           |
| 4.2.1. İklim ve bitki örtüsü.....                                    | 39           |
| 4.2.2. Toprak yapısı .....                                           | 40           |
| 4.2.3. Tarım alanları.....                                           | 41           |

|                                                                                                          | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.2.4. Yağış miktarı.....                                                                                | 42           |
| 4.2.5. Sıcaklık .....                                                                                    | 42           |
| 4.3. Çalışma alanının durumu ve atık su arıtma tesisi mevcut yapısı .....                                | 42           |
| 4.3.1. Atık su arıtma tesisi mevcut yapısı .....                                                         | 44           |
| 4.3.2. Bölgenin fiziksel ve mikrobiyolojik durumu .....                                                  | 46           |
| 4.4. Modelleme Çalışması.....                                                                            | 53           |
| 4.4.1. Üç boyutlu hidrodinamik taşınım modeli: HYDROTAM- 3D.....                                         | 53           |
| 4.4.2. Modelleme çalışması ile dalga rüzgar akıntı ve kirletici dağılımının ikliminin belirlenmesi ..... | 56           |
| 5. TARTIŞMA.....                                                                                         | 85           |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                               | 87           |
| KAYNAKLAR .....                                                                                          | 91           |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                           | 97           |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                                                       | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Su kaynaklarının bölgesel dağılımı .....                                                                                                         | 4     |
| Çizelge 2.2. Türkiye’de su tüketimi ve sektörel dağılımı .....                                                                                                | 5     |
| Çizelge 2.3. Çeşitli evsel faaliyetler sonucunda oluşan atık su miktarları.....                                                                               | 6     |
| Çizelge 2.4. Günde kişi başına düşen su ihtiyacı.....                                                                                                         | 8     |
| Çizelge 2.5. Evsel atık suların ülkemiz şartlarında tespit edilen nüfus başına kirlilik yükleri ve atık sudaki önemli kirleticilere ait birim değerleri ..... | 9     |
| Çizelge 3.1. 2006 yılında AB’de arıtılmış atık suların yeniden kullanım miktarı .....                                                                         | 21    |
| Çizelge 4.1. Nüfus gruplarının kaş nüfusu içindeki oranı .....                                                                                                | 38    |
| Çizelge 4.2. Kaş ilçesinin tarım alanlarının kullanış amaçlarına göre dağılım alanları .                                                                      | 42    |
| Çizelge 4.3. Fiziksel/kimyasal su kalitesi parametreleri ölçüm sonuçları .....                                                                                | 48    |
| Çizelge 4.4. Toplam koliform bakteri ölçümleri (CFU/100ml).....                                                                                               | 50    |
| Çizelge 4.5. Fekal koliform bakteri ölçümleri (CFU/100ml) .....                                                                                               | 51    |
| Çizelge 4.6. Escherichia coli bakteri ölçümleri (CFU/100ml) .....                                                                                             | 52    |
| Çizelge 4.7. Pseudomonas aeruginosa bakteri ölçümleri (CFU/100ml).....                                                                                        | 52    |
| Çizelge 4.8. ECMWF Operasyonel Arşiv 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi tüm mevsimlere göre uzun dönem rüzgar istatistikleri .....                     | 60    |
| Çizelge 4.9. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi tüm mevsimlere göre uzun dönem rüzgar istatistikleri .....                                            | 66    |
| Çizelge 4.10. Etkin dalga kabarma mesafeleri (“Feç”) (m).....                                                                                                 | 69    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                                                         | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Aktif çamur prosesi.....                                                                                                                           | 13    |
| Şekil 3.1. Su ve atık su yönetimi ile ilgili Türk mevzuatı.....                                                                                               | 19    |
| Şekil 3.2. Deniz dibinde atık su deşarj huzmesi .....                                                                                                         | 28    |
| Şekil 3.3. Mekanik ön arıtmadan sonra deniz deşarjı .....                                                                                                     | 30    |
| Şekil 3.4. Kimyasal arıtmadan sonra deniz deşarjı .....                                                                                                       | 31    |
| Şekil 3.5. İkinci kademe biyolojik arıtmadan sonra deniz deşarjı .....                                                                                        | 31    |
| Şekil 4.1. Kaş ilçesinin coğrafi konumu .....                                                                                                                 | 39    |
| Şekil 4.2. Çalışma bölgesinin zemin yapısı .....                                                                                                              | 41    |
| Şekil 4.3. Çalışma sahası genel coğrafi konumu .....                                                                                                          | 43    |
| Şekil 4.4. Çalışma sahasının konumu .....                                                                                                                     | 43    |
| Şekil 4.5. Kaş AAT atık su debisi.....                                                                                                                        | 44    |
| Şekil 4.6. Arıtma girişi atık su kirletici parametreleri .....                                                                                                | 45    |
| Şekil 4.7. Proje alanı ve ölçümleme noktaları .....                                                                                                           | 46    |
| Şekil 4.8. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi yıllık rüzgar gülü .....                                                        | 57    |
| Şekil 4.9. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi mevsimlik rüzgar gülleri.....                                                   | 58    |
| Şekil 4.10. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi Batı Kuzey Batı (WNW) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği ..... | 59    |
| Şekil 4.11. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi Doğu (E) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği .....              | 59    |
| Şekil 4.12. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları.....                           | 61    |
| Şekil 4.13. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri .....                                 | 62    |
| Şekil 4.14. Kara üzeri Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi yıllık rüzgar gülü .....                                                                    | 63    |

| Şekil                                                                                                                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.15. Kara üzeri Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi mevsimlik rüzgar gülleri.....                                                                                         | 64    |
| Şekil 4.16. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi Batı Güney Batı (WSW) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği.....                                                    | 65    |
| Şekil 4.17. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi Kuzey Doğu (NE) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği .....                                                         | 65    |
| Şekil 4.18. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları .....                                                                            | 67    |
| Şekil 4.19. Kaş Meteoroloji İstasyonu 1997-2014 dönemi yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri .....                                                                      | 67    |
| Şekil 4.20. Kaş Meteoroloji İstasyonu kara üzeri rüzgar ölçümleri ile ECMWF deniz üzeri 36,1°N-29,5°E koordinatı rüzgar tahminlerinin 2000-2014 ortak dönemi için karşılaştırması ..... | 68    |
| Şekil 4.21. Kaş Körfezi için yönlere göre dalga kabarma mesafeleri (“Feç”).....                                                                                                         | 69    |
| Şekil 4.22. Güney (S) yönü için ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 uzun dönem belirgin dalga istatistiği .....                                                 | 70    |
| Şekil 4.23. Güney Batı (SW) yönü için ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 uzun dönem belirgin dalga istatistiği .....                                           | 70    |
| Şekil 4.24. Batı Güney Batı (WSW) yönü için ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 uzun dönem belirgin dalga istatistiği.....                                      | 71    |
| Şekil 4.25. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi yıllık dalga gülü .....                                                                                  | 72    |
| Şekil 4.26. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi mevsimlik dalga gülleri.....                                                                             | 73    |
| Şekil 4.27. Aylık ortalama ve en yüksek belirgin dalga yükseklikleri.....                                                                                                               | 73    |
| Şekil 4.28. Kaş-Bucak Körfezi su derinlikleri (m) ve deniz deşarjı difüzör bölgesi .....                                                                                                | 74    |
| Şekil 4.29. 2010-2019 dönemi akıntı gülü a) Yüzey tabakası b) Taban tabakası .....                                                                                                      | 75    |
| Şekil 4.30. 2010-2019 dönemi Mevsimsel akıntı gülleri a) Kış yüzey tabakası b) Kış taban tabakası c) İlkbahar yüzey tabakası d) İlkbahar taban tabakası .....                           | 76    |
| Şekil 4.31. Kuzey Doğu (NE) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili.....                                               | 78    |
| Şekil 4.32. Doğu (E) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili .....                                                     | 79    |

| Şekil                                                                                                                                            | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.33. Batı Güney Batı (WSW) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili ..... | 79    |
| Şekil 4.34. Batı Kuzey Batı (WNW) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili ..... | 80    |
| Şekil 4.35. Kuzeydoğulu (NE) rüzgarlar etkisinde 1 saat sonra yüzeyde kirlilik dağılımı .....                                                    | 81    |
| Şekil 4.36. Kuzeydoğulu (NE) rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde kirlilik dağılımı .....                                                | 81    |
| Şekil 4.37. Batıgüneybatılı (WSW) rüzgarlar etkisinde 1 saat sonra yüzeyde kirlilik dağılımı .....                                               | 82    |
| Şekil 4.38. Batıgüneybatılı (WSW) rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde kirlilik dağılımı .....                                           | 82    |
| Şekil 4.39. Batıkuzeybatılı (WNW) rüzgarlar etkisinde 1 saat sonra yüzeyde kirlilik dağılımı .....                                               | 83    |
| Şekil 4.40. Batıkuzeybatılı(WNW) rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde kirlilik dağılımı .....                                            | 83    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>       | <b>Açıklamalar</b>                               |
|-----------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Al</b>             | Aliminyum                                        |
| <b>Ca</b>             | Kalsiyum                                         |
| <b>Cfu</b>            | Toplam Bakteri Sayısı                            |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Karbondionsit                                    |
| <b>Fe</b>             | Demir                                            |
| <b>Ha</b>             | Hektar                                           |
| <b>Ka</b>             | Aritmetik artış sabiti şekline hesaplamalar      |
| <b>Kg</b>             | Kilogram                                         |
| <b>km</b>             | Kilometre                                        |
| <b>m</b>              | Metre                                            |
| <b>m<sup>3</sup></b>  | Metreküp                                         |
| <b>ml</b>             | Mililitre                                        |
| <b>mm</b>             | Milimetre                                        |
| <b>Ng</b>             | Yerleşim yerinin gelecekteki veya sonraki nüfusu |
| <b>NO<sub>2</sub></b> | Nitrit                                           |
| <b>NO<sub>3</sub></b> | Nitrat                                           |
| <b>Ns</b>             | Yerleşim yerinin son nüfusu                      |
| <b>sn</b>             | Saniye                                           |
| <b>tg</b>             | Yerleşim yerinin gelecek nüfusu                  |
| <b>ts</b>             | Nüfusu tahmin edilen sene                        |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklamalar</b>          |
|--------------------|-----------------------------|
| <b>AAT</b>         | Atık su Arıtma Tesisi       |
| <b>AB</b>          | Avrupa Birliği              |
| <b>ABD</b>         | Amerika Birleşik Devletleri |
| <b>AKM</b>         | Askıda Katı Madde           |

**Kısaltmalar****Açıklamalar****BOİ<sub>5</sub>**

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

**CBS**

Coğrafi Bilgi Sistemleri

**CFU**

Koloni Oluşturma Birimi

**DDD**

Derin Deniz Deşarjı

**DO**

Çözünmüş Oksijen

**ECMWF**

Avrupa Orta Menzilli Hava Tahmini Merkezi

**KOİ**

Kimyasal Oksijen İhtiyacı

**TDS**

Çözünmüş Katı Madde

## 1. GİRİŞ

İnsan faaliyetleri sonucu su, hava ve toprakta meydana gelen yapısal bozulmalar ile ekolojik dengenin bozulmasına çevre kirliliği denilmektedir. Çevre kirliliği genel anlamda su, hava ve toprak kirliliği olarak üç'e ayrılmaktadır. Kirlilik sonucunda insan ile diğer canlılar olumsuz yönde etkilenmektedir.

Canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için su vazgeçilmez bir besindir. Dünyada ve özellikle ülkemizde kaynakların oransal olarak az olması nedeniyle su değerli olmaktadır. Bireysel kullanım, tarımsal ve sanayi tüketimi sonucunda su gittikçe tükenmektedir. Su kaynaklarının azalmasının yanında kentlerde, toplu yerleşim alanlarında ve sanayi de oluşan atık su, arıtılmadan su kaynaklarına verildiği takdirde temiz su kaynaklarını kirletmektedir. Su kaynaklarının kirlenilmesinin önüne geçmek amacıyla atık sular arıtılarak deşarj edilmeye başlanmıştır. Gelişmiş ülkeler öncülük etmek üzere birçok ülkede farklı arıtma şekillerinde su arıtmakta ve konuya ilişkin olarak denetim mekanizmaları uygulanmaktadır.

Su kaynaklarının ciddi ölçüde kirlenilmesi ülkeleri önlemler almaya zorlamış olup, birçok ulusal mevzuatın oluşmasına neden olmuştur. Atık su mevzuatı kapsamında belirlenen kirlenici sınır değerleri sağlaması amacıyla arıtmadan geçirilerek alıcı ortama deşarjı gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında gün geçtikçe suyun değerinin anlaşılması sonucunda arıtılan atık suyun bile önemli bir kaynak olduğunun farkına varılmasıyla, arıtılmış su çeşitli amaçlarla yeniden kullanılmaya başlanılmıştır. Kentsel, tarımsal ve endüstriyel yeniden kullanımlar başta olmak üzere arıtılmış atık suların birçok kullanım alanı bulunmaktadır.

Kaş ülkemizin önemli turizm beldelerinden biridir. Kaş Atık Su Arıtma Tesisinden çıkan atık sular, deşarj boru hattı ile denize bırakılmaktadır. Kaş ilçesine ait kıyı alanları, Kaş ve Bucak Körfez'lerinin kıyılarını kapsamaktadır. Bu iki körfezi Çukurbağ Yarımadası birbirinden ayırmaktadır. Kaş Körfezi güneyinde yer alan Meis adasıyla, dalga ilerlemelerine ve denizel akıntılara karşı yarı kapalı bir Körfezdir. Bucak Körfezi ise dar ve kıvrımlı bir yapıya sahip korunaklı bir körfez olmasından dolayı açık deniz akıntılarından çok az etkilenmektedir. Bölgenin turizm potansiyelinin gelecekte artması durumu göz önünde bulundurularak, arıtma tesisine optimum bir konum belirleyerek, gelecekteki ihtiyaçların karşılanması önemli olmaktadır. Bu çalışmada suyun öneminin farkındalığıyla

Ülkemizin önemli turizm beldelerinden olan ve gün geçtikçe gelişmekte olan Kaş (Antalya)'da mevcut olan atık su arıtma tesisi deşarjı incelenerek, arıtma tesisinden deniz ortamına verilen deşarjın modelleme çalışması yapılarak alternatif senaryolar hakkında değerlendirme yapılacaktır. Modelleme çalışmasından önce Dünya'da ve ülkemizde su varlığı, atık su mevzuatı, atık suyun yeniden kullanım alanları ve denize deşarjı ile Kaş İlçesinin fiziki yapısından bahsedilecektir. Modelleme alışması; Kaş Körfezi deniz deşarjı kıyısız alanında rüzgâr, dalga iklimleri, akıntı iklimi ve kirletici dağılım modellemesi, coğrafi bilgi sistemleri destekli HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, taşınım ve su kalitesi sayısal modeli ile incelenecektir. Çalışmanın sonuç kısmında deşarj noktasından verilen atık suyun kirlilik dağılımının modellemesi incelenerek alternatif öneriler hakkında değerlendirmeler yapılacaktır.

## 2. ATIKSU KAVRAMI VE ATIKSU ARITMA TESİSİ BÖLÜMLERİ

Su, canlılar için çok önemli bir yaşam kaynağı olarak kabul edilmektedir. Doğada bulunan diğer maddelerden farklı olarak; alternatifi olmayan bir kaynaktır. Su doğrudan etkisi ile değil, dolaylı olarak da canlı yaşamına etki etmektedir. Canlıların yaşamsal ihtiyaçlarını karşılayan birçok besin kaynağının hammaddesi olup, yaşamsal ihtiyaçların yanı sıra, dolaylı olarak insan yaşamının kolaylaştırılması amacıyla sanayi üretiminde de su kullanılmaktadır. Bu tür kullanım sonucunda kirlenen su, atık su olarak kabul edilmektedir (Hindistan, 2010).

Su kirliliği; su kaynağının fiziksel, biyolojik, kimyasal özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi, insan sağlığında, biyolojik kaynaklarda, su kalitesinde ve balıkçılıkta suyun amacına uygun şekilde kullanılmasını engelleyici bozulmaya neden olan maddelerin boşatılmasıdır. Atık su ise; endüstriyel, evsel, tarımsal ya da diğer kullanımlar nedeniyle özellikleri tamamen veya kısmen değişmiş kirlenmiş sular olarak tanımlanabilmektedir. (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, erişim tarihi: 21.09.2020)

### 2.1. Dünyada ve Ülkemizde Su Varlığı

Günümüzde su; tarımsal, evsel ve endüstriyel kullanım olmak üzere üç farklı alanda kullanılmakta olup, her bir alan birbirinin yerini alamamaktadır. Oksijenin insan yaşamı için önemli olması gibi su da son derece önemli bir yaşam kaynağıdır. Suyun günümüzde kıt bulunan bir kaynak haline gelmesiyle “mavi altın” olarak nitelendirilmektedir. Tarım ve sanayi için bir enerji kaynağıdır. Birleşmiş milletler tarafından 2002 yılında yayınlanan bir rapora göre OECD üye ülkelerinin sanayiye aktardığı temiz su kaynağı 1960 yılında % 12 iken günümüzde % 90 seviyelerindedir. Dünya genelinde bu kullanım oranı incelendiğinde ise en çok su kullanan sektör tarım olarak göze çarpmaktadır (Müftüoğlu, 2011).

#### 2.1.1. Dünyada su varlığı

Dünya su rezervlerinin yalnızca %2-2,5'i tatlı su kaynaklarından meydana gelmektedir. Bu oranın büyük bir kısmı ise buzullardan oluşmaktadır. Artan nüfus ve sanayileşme oranı nedeniyle su kaynaklarında kirlilik ve kuraklık artmakta olup, mevcut temiz su kaynakları sabit kalmaktadır. Bu durum da Dünya'nın bir su kıtlığı eşiğinde olduğunu söylemek daha

doğru olacaktır. Bunun yanında gelişmiş ülkeler vatandaşlarının %99'u temiz suya ulaşırken, bu oran Kuzey Afrika ve Orta Doğu ülkelerinde %77 seviyelerinde, Asya ve Pasifik ülkelerinde %63, Afrika'da ise % %38'dir (Ünver, 2016).

Nüfus yoğunluğu açısından Dünya üzerinde sahip olunan su kaynakları bakımında en fakir kıtalar Afrika, Asya ve Avrupa olup, Kuzey ve Güney Amerika ile Avustralya en zenginleridir (Hindistan, 2010).

Çizelge 2.1. Su kaynaklarının bölgesel dağılımı (Hindistan, 2010)

| Kıtalar              | Nüfus (%) | Su Kaynağı (%) |
|----------------------|-----------|----------------|
| Kuzey Amerika        | 8         | 15             |
| Güney Amerika        | 5         | 25             |
| Avrupa               | 13        | 8              |
| Afrika               | 13        | 11             |
| Asya                 | 60        | 36             |
| Avustralya ve Adalar | 1         | 5              |

Çizelge 2.1'de Asya kıtası en fazla su kaynağına sahip olan kıta olarak ön plana çıksa da nüfus yoğunluğu %60 olması sebebiyle su kıtlığı çekmektedir. Bunun yanında Kuzey ve Güney Amerika yüksek oranda su ve düşük nüfus yoğunluğuna sahip oldukları için yeterli miktarda su kaynakları bulunmaktadır.

### 2.1.2. Türkiyede su varlığı

Türkiye sanılanın aksine Ortadoğu ve Balkanlar arasında geçiş bölgesi olması nedeniyle yarı kurak bir iklime sahip olup, su kaynakları potansiyeli düşük ülke konumundadır. Ortalama yıllık yağış miktarı 643 mm seviyesinde gerçekleşen ülkemizde gelen su miktarı 501 milyar m<sup>3</sup> seviyelerindedir. Su yüzeyleri, toprak ve yeşil bitkilerden buharlaşma yoluyla 271 milyar m<sup>3</sup> su havaya, yüzeyden sızmalar nedeniyle 41 milyar m<sup>3</sup> yeraltı suyuna, 186 milyar m<sup>3</sup> suyun ise çeşitli yüzey akıntıları ile denizlere ve akarsulara karıştığı kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli amaçlara yönelik kullanım için yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından 112 milyar m<sup>3</sup> suya ihtiyacımız olduğu hesaplanmaktadır. 112 milyar m<sup>3</sup> kullanılabilir suyun halen %39'u kullanılmakta olup, tarım sektöründe 32 milyar m<sup>3</sup>, içme ve kullanma suyu olarak 7 milyar m<sup>3</sup> ve sanayide 5 milyar m<sup>3</sup> kullanılmaktadır. Çizelge 2.2'de Türkiye de su tüketimi ve sektörel dağılımı gösterilmektedir (Şenik, 2016).

Çizelge 2.2. Türkiye’de su tüketimi ve sektörel dağılımı (Duman, 2017)

| Yıl  | Toplam Su Tüketimi |     | Sektörler       |    |                 |    |                 |    |
|------|--------------------|-----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|
|      |                    |     | Sulama          |    | Evsel           |    | Sanayi          |    |
|      | km <sup>3</sup>    | %   | km <sup>3</sup> | %  | km <sup>3</sup> | %  | km <sup>3</sup> | %  |
| 1990 | 30,6               | 28  | 22              | 72 | 5,1             | 17 | 3,4             | 11 |
| 2004 | 40,1               | 36  | 29,6            | 74 | 6,2             | 15 | 4,3             | 11 |
| 2008 | 43                 | 38  | 32              | 74 | 6               | 15 | 5               | 11 |
| 2023 | 112                | 100 | 72              | 64 | 18              | 16 | 22              | 20 |

Türkiye sınır aşan sular konusunda komşu olduğu ülkelerle sorunlar yaşaması nedeniyle su zengini bir ülke olarak gösterilmektedir. Aksine Türkiye su kıtlığı yaşamasa bile su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında bulunmaktadır. Bu durumun nedeni yıllık 1100 m<sup>3</sup> civarında kişi başına düşen su miktarına sahip olmasıdır. Bu rakam su zengini olan ülkelerin kişi başına düşen su miktarına oranla son derece düşüktür. TÜİK tarafından yapılan araştırmalara göre Türkiye su açısından pek de parlak olmayan bir geleceğe sahiptir. 2030 yılına gelindiğinde Türkiye nüfusunun 100 milyon kişi olacağı tahmini ile yıllık kişi başına düşen su miktarının 1000 m<sup>3</sup> seviyesi altına düşeceği tahmin edilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında yapılan tahminler hali hazırda su kaynaklarının devamlılığının sağlanması durumunda geçerli olmaktadır. Dolayısıyla gelecek nesillere yeterli ve sağlıklı su kaynağı bırakabilmek için su kaynaklarının akılcı kullanılması gerekmektedir (Hindistan 2010).

## 2.2. Atık Su Kavramı ve Atık Su Arıtma Tesisi Bölümleri

Tarımsal, endüstriyel, evsel vb. diğer faaliyetler sonucunda niteliği değişmiş veya kirlenmiş sular ile kentsel alanlarda cadde ve sokak gibi alanlarda akışa geçen sular genel olarak atık su kabul edilmektedir. Arıtılmadığı takdirde büyük sorunlara neden olabilecek atık sular ilk olarak 1870 yılında ABD’de arıtmaya başlanmış olup, günümüzde gelişmiş ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede çeşitli arıtma derecelerinde arıtım yapılmakta ve konuyla ilgili denetim mekanizmaları uygulanmaktadır. Atık suların arıtılmasında ki asıl hedef; kirlilik derecelerine göre suyun istenilen kaliteye getirilmesidir (Torun, 2011).

Bir bölgede oluşan atık sular o bölgede yaşayan insanların temel ihtiyaçlarından meydana gelmektedir. Evsel atık sular genellikle insan dışkıları, çamaşır yıkama, duş alma, bulaşık yıkama gibi günlük kullanımlar sonucu oluşmaktadır. Bu kapsamda Çizelge 2.3’te çeşitli evsel faaliyetler sonucunda oluşan atık su miktarları gösterilmektedir (Şener, 2016).

Çizelge 2.3. Çeşitli evsel faaliyetler sonucunda oluşan atık su miktarları (Şener, 2016)

| Kullanım Alanı             | Debi               |
|----------------------------|--------------------|
| Lavabo                     | 4-8 l/kullanım     |
| Duş                        | 90-110 l/kullanım  |
| Banyo Küveti               | 60-190 l/kullanım  |
| Tuvalet Sifonu (Tank tipi) | 19-27 l/kullanım   |
| Tuvalet Sifonu (valf tipi) | 9-110 l/kullanım   |
| Bulaşık Makinesi           | 15-30 l/kullanım   |
| Çamaşır Makinesi           | 110-200 l/kullanım |
| Musluk                     | 4-5 l/dak          |
| Çöp Kutularının Yıkınması  | 6000-7500 l/hafta  |
| Muslukların Sızdırdığı     | 10-100 l/gün       |

### 2.2.1. Atık su arıtma tesislerinin tarihsel gelişimi ve ülkemizdeki durumu

Atık suların uzaklaştırılması sorunu insanoğlunun tarihi kadar eski bir konu olup, gelişimin bir göstergesi konumundadır. Eski Yunan toplumu soğuk ve sıcak su tesisatlarını yapmış, Romalılar ise banyo sularını tuvaletlerin yıkanmasında kullanarak atık suyun tekrar kullanımını sağlamışlardır. Atık sular yerleşim yerlerinin dışarısına nakil edilerek göl, akarsu gibi su kaynaklarına atılmıştır. İçme suyu ve atık suyun birbirine karışmaması gerektiği düşüncesi ile Eski Avrupa ve Doğuda ilk atık su toplama sistemleri atık suların yüzeysel sulara boşaltılması şeklindedir. Kulübe şeklindeki tuvaletler ve lağım suları bireysel sistemler olarak binlerce yıl kullanılmıştır. Sanayi devrimiyle birlikte kentleşmenin hızla yaygınlaşması atık su gibi konuların yeniden düzenlenmesini zorunlu hale getirmiştir. Dünyada modern olarak ilk atık su arıtma tesisi Hamburg’da 1942 yılında inşaa edilmiştir. 1855’de ilk kanalizasyon yapımına Chicago’da başlanılmıştır. Arıtma kavramı suyun kendisini arıtma kapasitesinin aşılmasından ve kirliliğin göz ardı edilmeyeceği durumlardan sonra göz önünde bulundurulmuştur. 19. yüzyılın sonlarından 1920’li yıllara kadar birden fazla arıtma prosesleri denenmiş olup, son 30 yıldır orijinal prosesler geliştirilip büyük oranda ilerleme kaydedilmiştir. Evsel atık sulardan içme suyu kalitesinde su elde eden ileri arıtma teknikleri dahi geliştirilmiştir (Ayrak, 2010). Ülkemizde atık su arıtımı son 30 yıldır uygulamaya girmiştir. 2018 yılı verilerine göre ülke genelinde toplam 991 atık su arıtma tesisi hizmet vermektedir. Buna göre tesislerden 527 adeti biyolojik arıtma, 203 adeti gelişmiş arıtma, 206 adeti doğal arıtma, 55 adeti ise fiziksel atık su arıtma tesisidir. 2016 yılı verilerine göre atık su arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusu yaklaşık 56 milyon kişidir (TÜİK, erişim tarihi:30.09.2020).

### 2.2.2. Ülkemizdeki atık su yönetim bölgeleri

Atık su yönetimi bakımında Türkiye beş bölgeye ayrılmaktadır. Birinci bölge Ege ve Akdeniz kıyı kesimleri, ikinci bölge Ege ve Akdeniz iç bölgeleri ile Trakya ve Marmara'nın bir kısmı, üçüncü bölge Karadeniz kıyı kesimleri, dördüncü bölge Güneydoğu ve İç Anadolu bölgeleri, beşinci bölge ise Doğu Anadolu bölgesidir. Ege ve Akdeniz kıyıları turizm bakımında en gelişmiş bölgeler olup, hassas bölge konumundadır. Bu bölgelerde, birincil arıtmadan sonra azot, karbon ve fosfor gideriminin de yapıldığı biyolojik arıtma sistemleri uygulanması gerekmektedir. Arıtılan su, kurak mevsimlerde sulamada kullanılabilir, yağışlı dönemlerde deniz deşarjı yapılabilir. Karadeniz Bölgesi Ege ve Akdeniz kıyı bölgelerinden farklı olarak, havalandırmalı lagünler, aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ile döner biyolojik diskler tercih edilebilmektedir. Güneydoğu ve İç Anadolu Bölgelerinde havalandırmalı lagünler, stabilizasyon havuzları ve yapay sulak alanların uygulanması daha yaygındır. Doğu Anadolu Bölgesi soğuk ve kurak bir iklime sahiptir. Nüfusun 500'ün üstünde olan bölgelerde uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri, oksidasyon hendeği veya havalandırmalı lagünler inşaa edilebilir. Nüfusun 500'ün altında olduğu yerlerde ise septik tanklar kurulabilir. (Ayrak, 2010).

### 2.2.3. Atık su arıtma tesisi dizayn hususları

Atık su arıtma tesislerinin dizaynında; nüfus tahmini, atık suyun debisi ve atık su bileşimi dikkat edilmesi gereken parametrelerin başında gelmektedir.

#### Nüfus tahminleri

Atık su arıtma tesislerinin projelendirilmesinde kullanılan verilerin başında nüfus tahmini gelmektedir. Arıtma tesisinin ortalama olarak 30-40 yıl hizmet vereceği düşünüldüğünde nüfusun doğru tahmin edilmesi, atık su arıtma tesisinin kurulum maliyetleri ve potansiyel nüfus artışları göz önünde bulundurulduğunda çok önemli bir konu haline gelmektedir. Gelecek nüfusu tahmin etmek amacıyla çok farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar; geometrik artış, lojistik eğri metodu, aritmetik artış ve benzer şehirlerle karşılaştırma yöntemleridir. En basit hesaplama yöntemi olan aritmetik artış metodu ile gelecekteki nüfusun hesaplanması eşitlik 2.1'de gösterilmiştir.

$$N_g = N_s + k_a * (t_g - t_s) \quad (2.1)$$

Burada;

$N_g$ : Yerleşim yerinin gelecekteki veya sonraki nüfusu

$N_s$ : Yerleşim yerinin son nüfusu

$t_g$ : Yerleşim yerinin gelecek nüfusu

$t_s$ : Nüfusu tahmin edilen sene

$k_a$ : Aritmetik artış sabiti şekline hesaplamalar yapılmaktadır.

Söz konusu denklemden de görüleceği üzere aritmetik artış sabitini belirlemek son derece önemlidir.

### Debi

Debi atık suyun karakteristiklerini bilmek açısından önemlidir. Bu karakteristikler yerleşim yerinde tüketilen su miktarı ile ticaret ve sanayi faaliyetlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tüketilen su miktarı ile atık su arıtma tesisine gelen debi miktarı arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Su kullanıldıktan sonra atık su halini almaktadır. Yerleşim yerlerinde kişi başına düşen su ihtiyacı Tablo 2. 4’de belirtilmektedir (Bul, 2014).

Çizelge 2.4. Günde kişi başına düşen su ihtiyacı (Bul, 2014)

| Nüfus        | Max Su Sarfıyatı (lt / kişi.gün) |
|--------------|----------------------------------|
| 3000 e kadar | 90                               |
| 3001-5000    | 90-100                           |
| 5001-10000   | 100-120                          |
| 10001-30000  | 120-150                          |
| 300001-50000 | 150-180                          |
| 50001-100000 | 180-250                          |

Tablo da da görüldüğü üzere nüfus ne kadar artarsa su sarfıyatı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun nedeni yerleşim yerinin nüfusu ne kadar artarsa sosyal ihtiyaçların artması ve kişisel su tüketiminin de doğru orantılı artmasıdır. Atık su arıtma tesisi projelendirme çalışmaları sırasında kentin mevcut nüfusu, yaz aylarında ki nüfusu ve atık su

arıtma tesisinin hizmet vereceği süre içerisinde nüfus da meydana gelecek artış miktarı göz önünde bulundurularak debi seçimi yapılması gerekmektedir (Bul, 2014).

#### Atık su karakterizasyonu

Evsel atık suların karakterizasyonu, atık su içerisinde bulunan maddelerin biyolojik, fiziksel ve kimyasal oranlarını belirtmektedir. Evsel atık suların ülkemiz koşullarında tespit edilen atık sudaki önemli kirleticilere ait birim değerleri ve nüfus başına kirlilik yükleri Tablo 2. 5’de belirtilmektedir (Şener, 2016).

Çizelge 2.5. Evsel atık suların ülkemiz şartlarında tespit edilen nüfus başına kirlilik yükleri ve atık sudaki önemli kirleticilere ait birim değerleri (Şener, 2016)

| Parametre                       | Birim Yük (g.kişi/gün) |
|---------------------------------|------------------------|
| BOİ <sub>5</sub>                | 45-100                 |
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) | 70-220                 |
| Askıda Katı Madde (AKM)         | 70-150                 |
| Toplam Katılar                  | 150-300                |
| Yağ-gres                        | 10-40                  |
| Toplam N                        | 6-15                   |
| Toplam P                        | 0,6-4                  |

BOİ<sub>5</sub>; biyokimyasal oksijen ihtiyacı atık suların içinde bulunan mikroorganizmaların ihtiyacı duyduğu oksijen miktarı anlamına gelmektedir. İngiltere’de keşfedilen BOİ kavramı atık sudaki kirlilik derecesini ölçmek için kullanılmaktadır. İlk olarak standart 18 °C ve 5 gün kabul edilmiş olup, şuan ki durumda 20 °C olarak kabul edilmektedir. 5 gün seçilmesinin temel nedeni ise nitrifikasyon bakterilerin organik maddenin büyük kısmını 5 gün sonunda oksitlemesidir (Yılmaz, 2018).

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ); Atık su içerisindeki organik maddelerin kimyasal yöntemlerle oksitlenmesi için kullanılan oksijen miktarına denilmektedir. Bu oksitlenme için asidik ortamda oksitleyici olarak potasyum dikromat kullanılmaktadır. Reaksiyon sonucunda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su (H<sub>2</sub>O) elde edilir. Kimyasal oksitlenme süreci biyolojik oksitlenmeye göre atık su içerisinde daha çok meydana geldiği için KOİ değeri BOİ değerine göre nispeten daha yüksektir (Özen, 2018).

Askıda Katı Madde (AKM); Atık sular da bulunan çözünmüş veya askı halindeki maddeler katı madde olarak adlandırılmaktadır. Toplam katı madde, filtre edilebilen ya da edilemeyen katıların toplamıdır. Filtre edilen katı madde çözünmüş katı madde, filtre edilemeyen katı maddeye ise askıda katı madde denilmektedir.

Yağ-Gres; evsel atık suyun içerisinde su yüzeyinde bulunan ve arıtma verimini etkileyen maddelerdendir. Evsel kullanımlar (deterjan, bulaşık yağları) sonucu atık suda bulunmaktadır. Kentsel atık su arıtma tesisinde yağ-gres giderimi basit bir ön çökeltim havuzunda yüzey sıyrıcılar ile yapılabilmektedir. Bekleme süresi 1-15 dk. olarak kabul edilip, genel prensipte suyun hızın düşürülerek su yüzeyinden sıyrılarak uzaklaştırılması işlemine dayanmaktadır (Yorulmaz, 2016).

Toplam Azot ve Fosfor; atık suda bulunan azot ve fosfor ötrofikasyonu arttırması nedeniyle belirli bir seviyede tutulması gerekmektedir. Bunların yanında besi maddesi olmaları nedeniyle aktif çamur ve benzeri atık su arıtma sistemlerinin verimli çalışması için su içerisindeki karbonlu maddenin %5'inden daha fazla miktarlarda suda bulunmaları gerekmektedir. Evsel atık sular; organik madde, sentetik deterjanlar ve çeşitli fosfatlar sebebiyle azot ve fosfor içermektedir (Turan, 2014).

#### **2.2.4. Atık su arıtma tesisi bölümleri**

Evsel atık sular; arıtılmadığı takdirde alıcı ortamın doğal dengesini bozan, besin zinciri vasıtasıyla canlıların bünyesine ulaşarak hastalık yapan patojen organizmalar, nütrientler ve organik kirleticiler içerebilmektedir. Bu nedenle atık suların; atık su arıtma tesislerinde canlı sağlığına ve doğal dengeye zarar vermeyecek şekilde kirletici parametrelerden arıtılması gerekmektedir. Atık su arıtma tesisleri üniteleri gerçekleştirdikleri arıtmanın çeşidine göre aşağıdaki yapılardan oluşmaktadır:

- Birincil Arıtma (Fiziksel Arıtma)
  - Mekanik Arıtma
  - Ön Çöktürme
- İkincil Arıtma (Organik Karbon Giderimi)
  - Biyolojik Arıtma
  - Kimyasal Arıtma

- Üçüncül Arıtma (Nütrient Giderimi)
  - Biyolojik Nütrient Giderimi
  - Diğer Yöntemler
- Çamur Bertarafı şeklindedir (Çelik, 2005).

### Izgaralar

Atık suyun arıtma tesisine girdiği bölümdür. Bu bölüme kanalizasyon sistemi ile gelen evsel atık suların yanı sıra yoğunlaştırma havuzlarından gelen su ve mekanik susuzlaştırma ünitesinden çıkan sentrat suları da gelmektedir. Tesis giriş bölümünde bulunan kaba ızgaralar, 5 cm'den büyük parçaların tutulmasını sağlayarak ince ızgaralara gelecek atık yüklerini azaltmaktadır. İnce ızgaralar ise atık suda bulunan 6 mm'den büyük katı parçaların tutulmasını sağlamaktadır (Yıldırım, 2016).

### Elekler

Atık su arıtma tesisinin giriş yüklerini azaltmak amacıyla katı maddelerin tutulmasını sağlamaktadır. Gözenek boşlukları 2.3 mm ile 6 mm arasında değişebilmektedir. Sabit elekler evsel atık sulara uygulandığı takdirde BOİ ve AKM konsantrasyonlarında %20 ile %35 arasında giderim sağlamaktadır (Kurt, 2007).

### Kum ve yağ tutucular

Kum ve çakıl gibi anorganik maddeler arıtma tesisindeki pompa ve benzeri cihazların verimini etkilediği için atık sudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle kum tutucular kullanılmaktadır. Endüstriyel nitelikli atık sularda kum tutucular evsel nitelikli atık sulara oranla daha az öneme sahip olup, nispeten daha az kum ve benzeri madde içermektedirler. Kum tutucular Yoğunluğu 2650 kg/m<sup>3</sup> ve tane çapları 0.1-0.2 mm'den daha büyük olan katı maddelerin tutulmasını kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Yağ, solvent, gres gibi maddeler yoğunlukları sudan küçük olup atık su da istenilmediğinden yağ tutucular vasıtasıyla giderilmektedir. Yağ tutucular ön çökeltim havuzunun olmaması ya da bunun gibi maddelerin oranının çok yüksek olması durumunda arıtma verimini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Akın, 2017).

### Dengeleme havuzu

Atık su arıtma tesisinde yer alan dengeleme havuzunun amacı atık su karakteristiğinde meydana gelecek değişiklikleri azaltarak arıtma kademelerinde optimum koşulları sağlayabilmektedir. Dengeleme havuzu atık su debisinde oluşacak farklılıkları, arıtma tesisine gelen yoğun kirlilik içeren atık suları biriktirebilecek kapasitede tasarlanmalıdır. Dengeleme havuzlarında konsantrasyonun dengelenebilmesi ve çökelmenin önüne geçebilmek amacıyla karıştırma uygulanmaktadır. Dengeleme havuzu ön arıtmadan hemen sonra biyolojik arıtmadan hemen önce konumlandırılarak köpük probleminin önüne geçilebilmektedir (Demir, 2015).

### Flotasyon

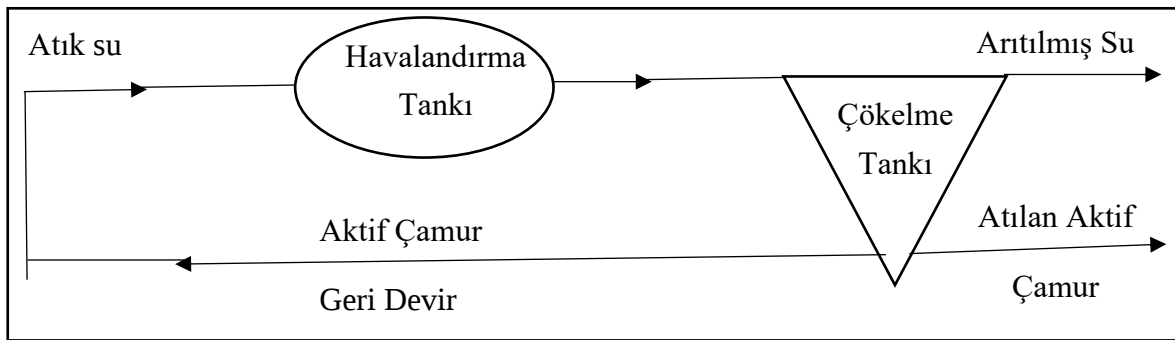
Atık suda yer alan askıda maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Sıvı içerisinde yavaş çöken veya çökmeden askıda duran ve bu sebeple bulanıklığa neden olan maddelerin suya gönderilen hava kabarcıklarına veya daha farklı katkı maddelerine tutunarak bir araya getirilip çöktürülmesi işlemidir. Sudan daha hafif olan ve çökelmeyen yağ damlacıkları da bu yöntemle ayrıştırılabilir. Böylece su yüzeyinde köpükler halinde toplanan katı veya küçük yağ damlacıkları sıyrıcılar vasıtasıyla yüzeyden uzaklaştırılabilmektedir (Taşdemir ve Erdem, 2010).

### Ön çökeltim havuzu

Ön çökeltim havuzu fiziksel arıtma sürecinin son kademesi olup, atık sudan çökebilen ve yüzebilen katıların ayrılmasını sağlamaktadır. Atık sudan çökebilen katıların ayrılması ile bir miktar biyolojik parçalanabilir substrat da giderilmiş olur. Böylece biyolojik arıtma ünitesinde arıtılacak organik yük azalmış olmaktadır. Organik yükün azalması biyolojik arıtma ünitesinde sisteme verilmesi gereken oksijenin azalmasına dolayısıyla aktif çamur miktarının azalmasına neden olmaktadır. Genellikle büyük kapasiteli ( $>3800 \text{ m}^3/\text{gün}$ ) arıtım tesislerinde yer almaktadır. Küçük tesislerde ikinci kademe arıtma ünitesi tüm yükü kaldırabilecekse (yağ, yüzen katılar ve köpük işletme problemi yaratmayacaksa) ön çöktürme ünitesine gerek duyulmamaktadır (Özdiğer, 2009).

### Aktif çamur prosesi

Aktif çamur prosesi; arıtma işlemini gerçekleştiren mikroorganizmaların büyüme özelliklerine sahip olduğu, atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma sistemlerindendir. Bu proses, atık suların içerisinde bulunan organik maddelerin aerobik ortamda biyokimyasal reaksiyonlarla giderilmesi esasına dayanmaktadır. Biyokimyasal reaksiyon sistemde bulunan ve adına aktif çamur denilen mikroorganizmalar topluluğu tarafından gerçekleştirilmektedir. Giderim işlemi sırasında organik maddelerin bir kısmı mikroorganizmaların enerji ihtiyacını karşılarken bir kısmı da yeni hücrelerin oluşumunda kullanılmaktadır. Geri devirli ve geri devirsiz olarak işletilebilmekte olup, ulaşılması gereken arıtma seviyesini sağlayabilmek için geri devirli sistem tercih edilmektedir (Odabaş, 2006).



Şekil 2.1. Aktif çamur prosesi (Odabaş, 2006)

### Havalandırılmalı lagünler

Havalandırılmalı lagünler 2,5-4 m derinliğinde toprağın kazılması ile inşaa edilen ve mekanik yüzey havalandırıcılar ile havalandırma işleminin gerçekleştiği havuzlardır. Stabilizasyon havuzları ile karşılaştırıldığında derinlikleri fazla ancak atık suyun daha kısa sürede beklemesi nedeniyle küçüktürler (Yıldırım, 2006).

### Stabilizasyon havuzları

Stabilizasyon havuzlarında dört temel biyolojik faaliyet meydana gelmektedir. Azotlu maddelerin nitrifikasyonu, karbonlu maddelerin bakteriler ile oksidasyonu, alglerin fotosentezi ve dip çamurlarındaki çamurlu maddelerin parçalanmasıdır. Bu havuzlarda algler

diğer bakteriler ile simbiyotik olarak yaşamaktadırlar. Bu sistemler hem evsel hem de endüstriyel atık suların arıtılmasında kullanılmasının yanında farklı iklim koşulları altında işletilebilmektedir. Stabilizasyon işleminden sistemde bulunan bakteriler sorumlu olup, anaerobik şartlarda organik asitler, aerobik şartlarda ise CO<sub>2</sub> ve su üretmektedirler. Bu nedenle sistem sürekli olarak aerobik tutulmaya çalışılmaktadır. Sistemin aerobik olması alglerle birlikte yüzeysel oksijen transferiyle sağlanmaktadır. Aerobik şartlarda çökelen organik maddeler önce uçucu yağ asitlerine daha sonra da oluşan bu asitler metan bakterileri tarafından metan ve karbondioksit'e dönüştürülmektedir (Yıldırım, 2006).

### Damlatmalı filtreler

Damlatmalı filtreler, iri taneli malzeme yığını ya da kırma taştan meydana gelmektedir. Çalışma prensibi olarak ilk damlatmalı filtrelerde; filtre üst tarafından atık su ile doldurulmakta, 6 saat süre ile malzeme ile temas halinde bırakılmakta ve daha sonra çıkış vanası açılarak sular drenaj yapılmaktaydı. Bu durumda filtre edilen atık su miktarı ve süresi çok kısıtlı olarak çalışmakta ve filtreler çabuk tıkanabilmekteydi. Modern damlatmalı filtreler, üzerlerinde mikroorganizmaların yer aldığı çok geçirimli bir malzemeden yapılmış bir yataktan meydana gelmektedir. Taneler arasında boşluklar tamamen sıvı ile dolu olmayıp, su ve hava sıcaklığına bağlı olarak tanelerin arasındaki boşluklardan aşağıdan yukarıya, yukarıdan aşağıya hava akımı meydana gelmektedir. Bu sırada tanecikleri üzerinde mikroorganizmalardan kaynaklanan biyolojik tabaka meydana gelir. Biyolojik tabakadaki canlılar su içerisindeki organik maddeyi besin maddesi olarak kullanıp, besin maddesi bittiğinde ise kendilerini sindirmeye başlamaktadır. Bu sayede tabaka yapışma özelliğini kaybederek atık su içerisine karışır. Atık su içerisine karışan biyolojik tabaka son çökeltimde giderilerek atık sudan ayrılmaktadır. Bu sayede hem atık su içerisindeki organik maddeler hem de mikroorganizmalar kolay bir şekilde giderilmiş olmaktadır (Şengüler, 1992).

### Koagülasyon ve flokülasyon

Atık su içerisindeki katı maddelerin giderilmesi amacıyla koagülasyon (pıhtılaşma), flokülasyon (yumaklaşma) işlemleri yapılmaktadır. Atık sudaki katı maddeler genellikle negatif yüklüdürler ve koagülasyon işlemi ile suya yüksek değerlikli katyon ilavesi ile giderim sağlanmaktadır. Negatif yüklü katyon ile pozitif yüklü katyon birbirlerini van der

waals kuvvetleri ile çekerek bağlantı gerçekleştirilir. Koagülasyon işleminde Fe, Al ve Ca tuzları katyonik madde olarak kullanılmaktadır. Hızlı karıştırmanın ardından kısmın yavaş karıştırma işlemi uygulanarak pıhtılaşan madde yumaklar haline getirilir ve çöktürülerek atık sudan ayrıştırılmaktadır (Akanser, 2010).

### Nötralizasyon ve pH kontrolü

Nötralizasyon atık suların pH'larının ayarlanması prosesidir. Atık suyun pH'ının ayarlanması çeşitli amaçlarla gerekmektedir. Bunlar arasında atık suyun alıcı ortama verilmeden önce deşarj standartlarını sağlamak amacıyla pH'ının nötr civarına getirilmesi yada kimyasal çöktürme için en uygun pH sağlamak üzere ayar yapılmasıdır. Genellikle endüstriyel atık sular kullanılan prosesin çeşidine göre asidik veya bazik karakterde olabilir. Bu tür atık sular alıcı ortamda suyla birlikte hidrolize olmakta ve zayıf asitler oluşabilmektedir. Bu anlamda pH kontrolü asidik ya da bazik karakterdeki atık suların alıcı ortama verilmeden uygulanması gereken arıtma proseslerindendir (Ateş, 2000).

### Çamur bertarafı

Atık su arıtma tesisinde arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamur stabilizasyon, yoğunlaştırma, susuzlaştırma, kurutma ve yakma metotlarından uygun olan prosesler ile bertaraf edilmektedir. Belirtilen metotlardaki temel amaç atık suyun içerisindeki suyun miktarının azaltılarak çamurun daha az hacimli ve kolay bertaraf edilebilir hale getirmektir (Coşkun, 2017).



### 3. ATIK SU MEVZUATI VE DEŞARJ YÖNTEMLERİ

İnsan yaşadığı çevreye en fazla zarar veren canlıdır. Nüfusun artması bile insanın günlük yaşamsal faaliyetleri sonucunda çevre kirliliği yaratabilmektedir. Belirli ve daha az bir nüfustan kaynaklanan kirlilik, doğanın kendi özümleme kapasitesi ile giderilirken; nüfusun artması nedeniyle bu kapasite aşılmakta ve çevre kirliliği oluşturmaktadır. Belirli bir bölgede yaşayan nüfus yıl boyunca sabit olduğu kadar, belirli mevsimlerde özellikle yaz mevsimlerinde büyük oranda artış gösterebilir. Turizm ve ikinci konut alanlarında nüfus mevsimsel olarak farklılıklar göstermektedir. Bu tip yerlerde nüfus yaz aylarında birkaç katına çıkabilmektedir. Yaz aylarında nüfusun aşırı bir şekilde artması nedeniyle ihtiyaç duyulan su ve arıtılması gereken atık su miktarı da artmaktadır. Atık su miktarının artması nedeniyle arıtma tesisine gelen yük artmaktadır. Bölgenin altyapısı bu yükü kaldıramıyorsa atık su problemi yaşanılmaktadır (Öğüt, 2011).

#### 3.1. Su ve Atık Su Yönetiminde Kurumsal Yapı

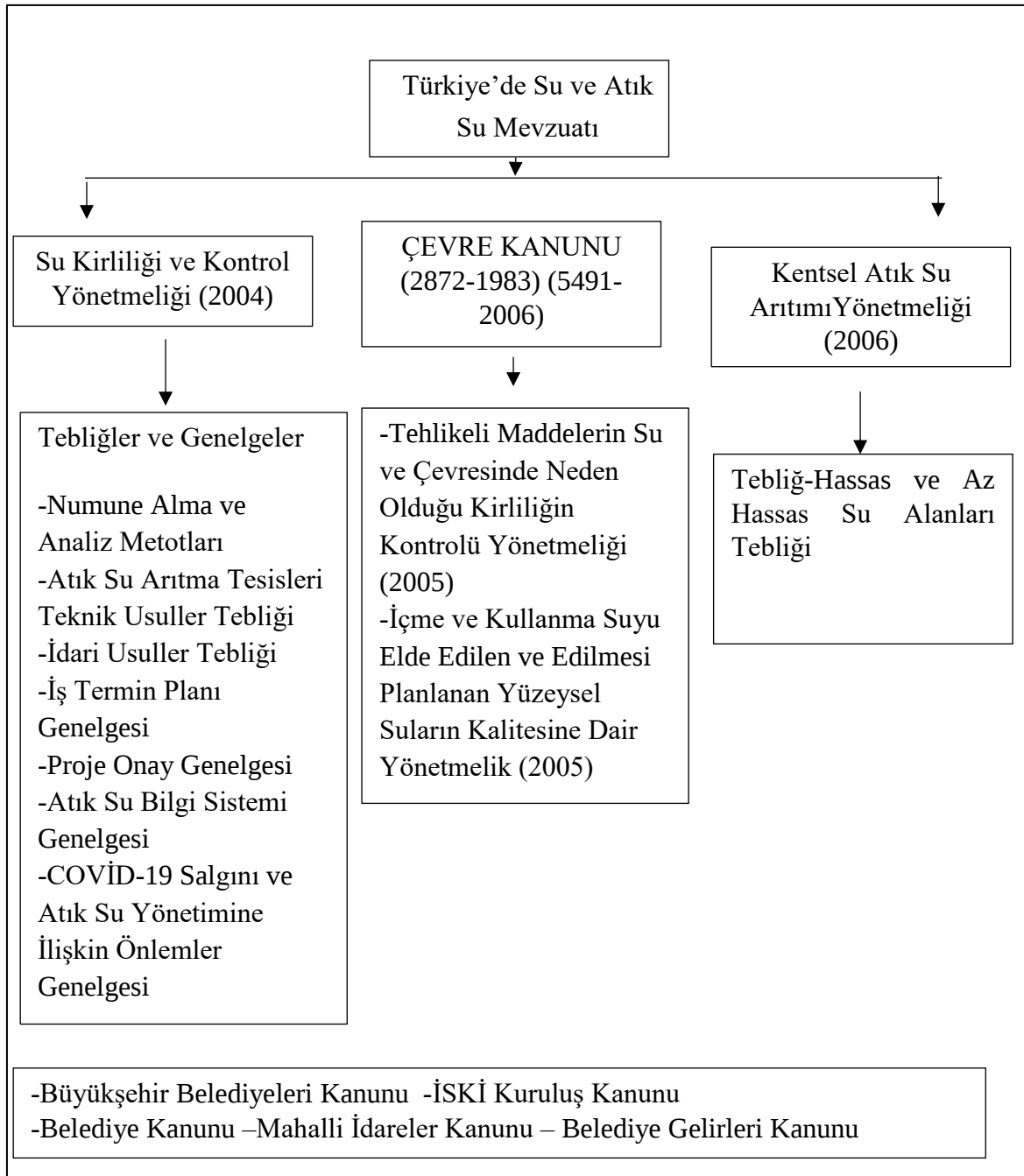
Çevre sorunlarının artmasıyla birlikte su kaynaklarının kirlenmesi sonucunda birçok ülke bu konudaki ulusal mevzuatlarını oluşturmaya başlamıştır. Anayasamızın 56. Maddesinde “çevre kirliliğini önlemek ve çevre sağlığını korumak devletin ve vatandaşların ödevidir” denilmektedir. 1983 yılında Çevre Kanunu’nun çıkarılması ile su ve atık su yönetimi konusu diğer çevre konuları ile birlikte yasal mevzuatta yer almaya başlamıştır.

Ülkemizde Belediyeler ve Bakanlıklar tarafından; atık su arıtma tesislerinin tasarımı, işletimi ve bakımı için kullanılmakta olan kanun ve yönetmelikler mevcuttur. Su ve atık su yönetimi ile ilgili mevzuatın büyük bir bölümü suyun deşarj standartları ile ilgilidir (Alemi, 2016).

##### 3.1.1. Su ve atık su yönetiminde ulusal mevzuat

Ülkemizin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının en iyi şekilde kullanılması amacıyla, su kirliliğinin önlenerek gerekli teknik ve hukuki esasları belirlemek amacıyla Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan “Su kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik ile arıtılmış atık suların sulamada yeniden kullanımına ilişkin olarak Madde 28’de “Sulama suyunun kıt

olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atık suların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir. Bu amaçla uygulanacak ön işlem ve yapılması gereken incelemeler Teknik Usuller Tebliğine göre yapılır.” ifadesi yer almaktadır. Bunun yanında aynı yönetmeliğin derin deniz deşarjına izin verilebilecek atık suların özellikleri ve yeraltı suları ile ilgili kirletme yasakları ve düzenlemeleri mevcuttur. Bu ve benzeri amaçlarla uygulanması planlanan ön işlem ve yapılması gereken incelemeler Atık su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğine göre yapılmaktadır. Teknik Usuller Tebliği’nde atık suların arıtılması ile ilgili olarak arıtma sistemlerinin tasarım kriterleri, teknoloji seçimleri, atık suların dezenfeksiyonu, yeniden kullanımı ve derin deniz deşarjı vb. için kullanılabilecek temel teknik esasları ve uygulamaları düzenlemek amacıyla hazırlanmış olup, tebliğin yedinci bölümünde arıtılmış atık suların yeniden kullanımına ilişkin düzenlemeler yer almaktadır (Duman, 2017). Bu kapsamda su ve atık su yönetimi ile ilgili hükümleri içeren Türk mevzuatı şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Su ve atık su yönetimi ile ilgili Türk mevzuatı

### 3.1.2. Su ve atık su yönetiminde uluslararası mevzuat

Avrupa Birliği (AB) ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde su politikalarına ilişkin olarak birçok mevzuat bulunmaktadır.

### Avrupa Birliği mevzuatı

Su politikalarının gelişim süreci Avrupa Birliği (AB)’nde 1970-1980’li yıllarda habitatın korunması ve içme suyu amaçlı kullanılan sular için çıkarılan standartlarla başlamaktadır. İlerleyen dönemde 1990’lı yılların başında kirliliği azaltılması maksadıyla birtakım yasal düzenlemeler getirilmiş olup bunlardan en önemlisi, kentsel atık suların toplanması, arıtılması, deşarjı olmuştur. Genel olarak Avrupa Birliği mevzuatı içerisinde atık suların yeniden kullanımına ilişkin olarak iki ana mevzuat bulunmaktadır. Bunlar;

- Kentsel Atık suların Arıtımı Yönetmeliği, The Urban Wastewater Treatment Directive (91/271/EEC)
- Su Çerçeve Direktifi, Water Framework Directive (WFD) (2000/60/EC) şeklindedir (Duman, 2017).

Kentsel Atık suların Arıtımı Yönetmeliği’nin birinci maddesinde arıtılmış olan atık suların, çevreyi korumak amacıyla mümkün olan her yerde yeniden kullanılması anlamına gelen “atık su uygun olduğunda yeniden kullanılacaktır” ifadesi kullanılmaktadır. Su Çerçeve Direktifi’nde ise sulamada su verimliliği için “verimlilik ve yeniden kullanım önlemleri, diğerlerinin yanı sıra, endüstride su verimli teknolojilerin teşviki ve sulama için su tasarrufu teknikleri ” ifadesi kullanılmaktadır (Nas ve diğerleri, 2017).

Avrupa Birliği düzeyinde suyun yeninde kullanıma ilişkin olarak birçok yasal düzenleme yer almasına rağmen bir rehber doküman bulunmamaktadır. Su stresi yaşayan AB üye ülkelerinin ulusal mevzuatlarında su geri kazanımı ile ilgili düzenlemeler bulunmaktadır. Yunanistan, İtalya, İspanya ve Portekiz’de suyun yeninde kullanımına ilişkin rehber dökümanlar bulunmaktadır. Bu dökümanlar;

- Analiz parametrelerini,
- İzleme protokollerini,
- Geri kazanılan suların kullanım alanlarını,
- Çevre ve halk sağlığını korumak amacıyla koruma önlemlerini kapsamaktadır. (Sanz ve Gawlik, 2014).

İspanya ve İtalya’da arıtılmış atık suyun yeniden kullanma hacmi Avrupa Birliği toplam hacminin %60’ını oluşturmaktadır. Oranlar kuzey ülkelere gittikçe daha da azalmaktadır. Arıtılmış atık suyun hacmine oranla Malta’da arıtılan atık suyun %60’ı yeniden kullanılmaktadır. Yunanistan, İtalya ve İspanya gibi diğer ülkelerde, atık su arıtma tesislerinden çıkan toplam atık suların %5 ila %12’si yeniden kullanılmaktadır. Avrupa Birliği’nde arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı Çizelge 3.1’de gösterilmektedir (Nas ve diğerleri, 2017).

Çizelge 3.1. 2006 yılında AB’de arıtılmış atık suların yeniden kullanım miktarı (Nas ve diğerleri, 2017)

| Ülke           | Hacim (milyon m <sup>3</sup> /yıl) |
|----------------|------------------------------------|
| Avrupa Birliği | 964                                |
| İspanya        | 347                                |
| İtalya         | 233                                |
| Almanya        | 42                                 |
| Yunanistan     | 23                                 |

#### Amerika Birleşik Devletleri mevzuatı

Suyun yeniden kullanımına ilişkin olarak Amerika Birleşik Devletleri’nde herhangi bir federal yönetmelik bulunmamaktadır. Yönetmelikler eyalet bazında bulunmakta olup, birbirinden farklılıklar göstermektedir. Kaliforniya, Washington, Florida ve Arizona gibi eyaletlerde su kaynaklarının korunması stratejisini temel alarak suyun yeniden kullanımı konusunda teşvik düzenlemeleri bulunmaktadır. Diğer eyaletlerde atık suyun yeniden kullanımından ziyade bertaraf ve ek arıtmayla yerüstü sulara deşarjı ile ilgili alternatif dokümanlar bulunmaktadır (Duman, 2017).

ABD’de arıtılmış atık suların yeniden kullanımında %29 ile tarımsal sulamada kullanım ilk sırada yer almaktadır. Bunu, %18 ile çim ve golf sahası sulaması ve deniz suyu (tuzlu su) girişimini engellemek üzere bariyer olarak kullanım takip etmektedir. Akifer besleme ise %5 oranındadır. Bunun yanında çevresel ve endüstriyel yeniden kullanım yapılmaktadır. Çevresel yeniden kullanım; Sulak alanlar, su habitatları veya akarsu akışları da dahil olmak üzere su kütleleri yaratmak, geliştirmek, sürdürmek veya arttırmak için geri kazanılmış su kullanılmasıdır. Endüstriyel yeniden kullanım ise; geri kazanılmış atık suyun endüstriyel uygulamalarda, tesislerde ve enerji üretimi amacıyla kullanımı şeklindedir. ABD’de

arıtılmış atık suların içme suyu olarak yeniden kullanımı hızlı bir şekilde yaygınlaşmakla birlikte eyaletler bazında farklı yeniden kullanım alanları için çok sayıda araştırma, mevzuat hazırlıkları öncesi çalıştaylar, uzman panelleri, ekonomik ve teknik fizibilite çalışmaları, boşluk analizi, uygun arıtma teknolojilerinin araştırılması, pilot tesis kurulumu, izleme, kontrol ve halkın katılımı çalışmaları yürütülmektedir (Nas ve diğerleri, 2017).

### **3.2. Kentsel Atık Suların Yeniden Kullanım Alanları**

Arıtmayla geri kazanılan su, yeniden kullanım amacıyla uygun olarak kabul edilen işlenmiş bir çeşit atık sudur. Yeniden kullanımdaki genel amaç; var olan su kaynaklarını korumak ve temiz su kaynakları üzerindeki yükün hafifletilmesi şeklindedir. Atık suyun yeniden kullanılması için suyun arıtılarak belli standartlara getirilmesini gerektirmektedir. (Demir ve diğerleri, 2017).

Nüfusun ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerde yeterli oranda suyun olmaması, su ve atık su ücretlerindeki artışlar, su temininde yaşanan zorluklar yeniden kullanım konusunun gündeme gelmesine sebep olmuştur. Atık suların geri kazanımının faydaları aşağıdaki gibidir:

- Sürdürülebilir seçenekli su kaynağı olarak kullanıma olanak sağlar, gerekli kontroller altında güvenilir bir su kaynağıdır.
- Daha az enerji tüketimine neden olur.
- Yeni su kaynaklarının daha az tüketilmesine neden olur.
- Arıtılmış atık suların geri kazanılması, yüzey sularının atık su deşarjlarıyla kalitesinin bozulmasını azaltır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

Bunun yanında geri kazanılmış suyun bir takım yeniden kullanım alanları mevcuttur. Bu kullanım alanları;

- Kentsel Yeniden Kullanım
- Endüstriyel Yeniden Kullanım
- Yeraltı Suyu Beslemesi
- Tarımsal Yeniden Kullanım

- Çevresel Yeniden Kullanım şeklindedir.

### 3.2.1. Kentsel yeniden kullanım

Kentsel amaçlı kullanım içme suyu dışında çeşitli amaçları kapsamaktadır. Bu amaçlar;

- Park ve rekreasyon alanlarının, okul bahçeleri ve spor alanlarının, otoyol kenarlarının, oyun alanları, halka ait bina ve tesis çevrelerindeki yeşil alanların sulanması, ofis, dükkan ve endüstri çevrelerindeki yeşil alanların sulanması,
- Golf sahalarının sulanması,
- Oto yıkama, yangın söndürme ve toz kontrolünde su temini,
- Şelale, çeşme ve havuz gibi dekoratif kullanımlarda su ihtiyacı,
- Endüstriyel ve ticari binaların tuvalet suyunda kullanımını içermektedir.

Bunun dışında arıtılmış atık sular; gölleri besleme, bataklıkların iyileştirilmesi, akarsu akımlarının arttırılması uygulamalarında da kullanılmaktadır. Balıkçılık, yüzme ve golf sahalarında kullanılması planlanan atık sular ilave bir arıtma gereksinimi duymaktadır. Banyo ve yüzme amaçlı kullanılan arıtılmış atık sular dezenfeksiyon gibi çeşitli aşamalardan geçirilmektedir (Demir ve diğerleri, 2017).

### 3.2.2. Endüstriyel yeniden kullanım

Gelişmiş ülkelerde arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı oldukça yaygındır. Arıtılmış atık su, içme suyu kalitesindeki suya ihtiyaç duymayan endüstriler için oldukça uygundur. Atık suyun geri kazanılması, endüstriyel atık suyun tesis içerisinde geri çevrimi veya evsel atık su arıtma tesislerinde arıtılan suyun yeniden kullanılması ile olabilmektedir. Sanayi de suların geri çevrimi, genellikle prosesin bir parçası olarak uygulanabilmektedir. Tekstil, elektronik sanayi, çelik gibi pek çok endüstri mali nedenler, suları korumak ya da istenilen çıkış suyu standartlarını yerine getirmek amacıyla atık sularını arıtarak sistemlerine geri vermektedir. Geri kazanılan su; kazan besleme suyu, proses suyu, yada soğutma suyu olarak kullanılabilir (Fesliyen, 2017).

### 3.2.3. Yeraltı suyu beslemesi

Gelişmiş ülkelerde uygulama alanı olarak toprağın arıtma özelliğinden faydalanılarak arıtılmış atık suyun yeraltı suyunu besleme maksatlı kullanımı mevcuttur. Arıtılmış atık suların yeraltı suyuna verilmesindeki amaç;

- Atık suyun daha iyi arıtılmasını ve yeniden çevrim içerisinde kullanılmasını,
- Akiferlerin su kapasitesinin artırılmasını,
- Arıtılmış atık suyun depolanmasını,
- Yeraltı su seviyesinin korunmasını sağlamaktır.

Akiferlerin beslenmesi son derece avantajlı görünmesine rağmen dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle içme suyu olarak kullanılan akiferlerin kirlenme olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır (Duman, 2017).

### 3.2.4. Tarımsal yeniden kullanımı

Tarih öncesi uygarlıklar Bronz Çağı'ndan başlayarak evsel atık suları sulama amacıyla kullanmışlardır. Tarımsal amaçlı atık suların yeniden kullanımı su kaynakları yönetiminin bir başka unsurunu oluşturmaktadır. Dünyada kullanılan su miktarının %70'inden fazlası tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle çok düşük bir oran karşılmasına rağmen sulamada arıtılmış atık suyun kullanılmasında büyük bir potansiyel bulunmaktadır. Tarımsal sulamada atık suyun kullanımının pek çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar;

- Bitkilerin besin maddesi olan nütrientin atık su içerisinde bulunması nedeniyle üretimde verimin artması,
- Sulama toprak verimliliğini artırabilir,
- BOİ gibi atık su içerisinde bulunan kirleticiler toprak ve bitkiler tarafından kolaylıkla giderilir
- Toprakta ilgili element içeriklerindeki değişiklikler nedeniyle, geri kazanılmış sulama ile topraktaki enzim faaliyetleri de iyileştirir
- Arıtılmış suda birçok besleyici element bulunmasından dolayı gübre kullanımı azalır,
- Üretim maliyetlerini azaltır.

Atık suların tarımsal amaçlı kullanımına olanak sağlayan sektörlere örnek olarak şeker, süt ürünleri, konserve ve kağıt endüstrisi verilebilmektedir. Arıtılmış atık suların tarımsal sulamada kullanımı; insanı ve çevresel açıdan herhangi bir zararı olmayacak şekilde planlanmaktadır. Arıtılmış atık suların insan ve çevresel açıdan verebileceği zararlar; gıdanın kalitesinin ve güvenilirliğinin düşmesi, tarım işçilerinin sağlıklarının zarar görmesi, toprakta tuzluluk ve ağır metal birikiminin artması şeklinde sıralanabilir. Bu endişeler için mevcut çözümler, tarımsal üretime uygun atık su üretebilen ileri atık su arıtma tekniklerinde mevcuttur. Bununla birlikte, bu tekniklerin varlığı, tarımsal sulamada arıtılmış atığın doğru bir şekilde uygulanmasının garanti altına alınması için yeterli değildir. Bunun için sadece sulama suyu kalite standartlarını tanımlayarak kalmamakla birlikte, spesifik arıtım yöntemlerinin uygulanmasıyla bu standartların karşılanıp karşılanmadığını değerlendirmek de gereklidir (Demir ve diğerleri, 2017).

### **3.2.5. Çevresel yeniden kullanım**

Özellikle yazın kurak bölgeler yeşil alanların, parkların ve golf sahalarının sulanmasında, çevre düzenlenmesi açısından yapay göllerin doldurulmasında kullanılmaktadır. Bunun yanında sulak alanlarının iyileştirilmesi maksadıyla da kullanılabilir. Yeterli seviyede arıtılmış atık sular balıkçılık ve kış turizmi için kar üretiminde de kullanılabilir (Fesliyen, 2017).

### **3.3. Uluslararası Yeniden Kullanım Örnekleri**

Dünya geneline bakıldığında arıtılmış atık sular yeraltı suyu besleme ve arazi sulamada yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Dünya geneline bakıldığında yaklaşık 60 ülkede suyun yeniden kullanımına ilişkin yasal düzenleme mevcuttur. Uluslararası yeniden kullanım oranlarına bakıldığında Avrupa genelinde bu oranın daha fazla olduğu ortadadır. Yıllık toplam hacim bakımından Çin, ABD (Kaliforniya, Florida, Teksas ve Arizona), Meksika büyük miktarda suyu yeniden kullanan ülkelerdir. Yunanistan ve İtalya atık suyun yeniden kullanım kalite kriterlerini belirlerken Kaliforniya'dan; Fransa ise Avustralya'dan yararlanmışlardır. İtalya ve Yunanistan'da sıkı mevzuatlar nedeniyle ülkelerin atık suyu yeniden kullanım istekleri kırılmaktadır (Solak, 2018).

### 3.3.1. Mısır

Nüfusu ile birlikte su ihtiyacı da her geçen gün artan Mısır geliştirmekte olan bir ülkedir. Tarımsal ihtiyacının her geçen gün artması ile birlikte su ihtiyacını karşılamak amacıyla tarımsal sulama amaçlı drenaj suyu yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Atık suyun yeniden kullanımına yönelik bir rehber dokümanı olmamasıyla birlikte 1984 yılı sıkıyönetim yönetmeliğine göre atık suların sulama için kullanılması yasaklanmıştır. Ancak günümüzde resmi olmayan kayıtlara göre tarımsal sulama amaçlı arıtılmış atık su kullanımı neredeyse drenaj suyu kullanımı kadar yaygındır (Barcelo ve diğerleri, 2011).

### 3.3.2. Fransa

Fransa yaklaşık 100 yıldır özellikle Paris çevresinde tarımsal su ihtiyacı için arıtılmış suyu yeniden kullanmaktadır. Bunun yanında farklı bölgelerde arıtılmış kentsel atık suları tuvalet yıkama ve fabrikalarda endüstriyel işlemler amacıyla kullanmaktadır. Ayrıca peyzaj sulama için arıtılmış atık suların kullanımı temel ihtiyaç haline gelmiştir (Kellis ve diğerleri, 2013).

### 3.3.3. İtalya

İtalya'da yaklaşık 10.000 adet atık su arıtma tesisi hali hazırda çalışmakta olup, arıtma sonrasında önemli oranda su akarsulara deşarj edilmektedir. Akarsu vb. tatlı su kaynaklarından, tarımsal amaçlı su çekilmektedir. Bunun yanında peyzaj sulama ve yangından korunma amaçlı uygulamalar için atık su yeniden kullanılmaktadır (Kellis ve diğerleri, 2013).

### 3.3.4. Tunus

Tunus'ta su kaynaklarını korumaya yönelik olarak her geçen gün gelişen bir ilgi bulunmaktadır. Ülkede geleneksel olmayan su kullanım türleri deniz suyu arıtımı ve arıtılmış atık suyun yeniden kullanımınıdır. Tarımsal sulama amaçlı arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı onlarca yıldır uygulanan bir uygulamadır. Özellikle yem bitkileri bu yöntem ile sulanmaktadır. Bunun yanında çiftçiler arıtılmış atık suyun kullanımı için ayrı olarak ücret ödemektedirler (Barcelo ve diğerleri, 2011).

### 3.3.5. Hindistan

Hindistan'ın büyük şehirlerinde Yeni Delhi, Mumbai, Bangalore, Kolkata, Hyderabad ve Ahmedabad'da arıtılmamış ya da arıtılmış atık suların tarımsal sulamada kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Mekala' nın 2006 daki çalışmasında Hyderabad'da Musi nehri boyunca 2.100 ha alanda pirinç, 10.000 ha'lık alanda ise çim yetiştirildiği belirtilmektedir. Başka bir çalışmada ise 118 çiftçinin yasemin tarlasını atık su ile suladığında 8-9 aylık çalışmada ha başına daha çok kazandığı ayrıca gül ve kadife çiçeği yetiştirildiğini göstermektedir. Hyderabad'da ikinci derecede arıtılmış atık sular ise park ve ağaçlı yolları sulamak içinde kullanılmaktadır. Yeni Delhi'de yaklaşık 12.000 çiftçi Keshopur ve Okhla arıtma tesisleri yakınlarında 1.700 ha'lık alanda yaz aylarında; su kabağı, patlıcan, bamya ve kışniş kışın ise ıspanak, hardal, karnabahar, lahana yetiştirmektedir. Doğu Kalkuta kanalizasyon balıkçılığı dünyanın en büyük atık su kullanan su kültür sistemidir. Kolkata sulak alan ekosisteminde yaklaşık 70.000 kişi doğrudan istihdam sağlamaktadır. Bu alanlarda 12.800 ton pirinç, 6.900 ton balık ve 0.73 ton da sebze üretilmektedir (Solak, 2018).

### 3.3.6. Çin

Çin'de geçtiğimiz son on yılda kentsel atık su arıtımı konusu önemli ölçüde dikkate alınmıştır. Atık su sektörü yatırımları ciddi ölçüde artış göstermiştir. Suyu erişimin kısıtlı olduğu Taiyuba şehrinde tarımsal amaçlı zeminin teraslanması ve doğal zeminin zarar görmesi kum fırtınalarına neden olup, toprağın su tutma kapasitesini büyük ölçüde düşürmüştür. Evsel tüketim amaçlı kullanılan suyun büyük çoğunlukla yeraltı suyu ile karşılanması ve tarımsal amaçlı zemin düzenlemeleri yeraltı suyunun azalmasına neden olmuştur. Bu nedenle suyun sürdürülebilir kullanımı için su master planı hazırlanarak uygulamaya alınmış ve bu kapsamda arıtılmış suyun yeniden kullanımı yaygınlaştırılmaya başlanmıştır. Örneğin endüstrilerde proses amaçlı kullanılan su, arıtıldıktan sonra yeniden proses içerisinde kullanılmıştır (Epa, 2004: 260).

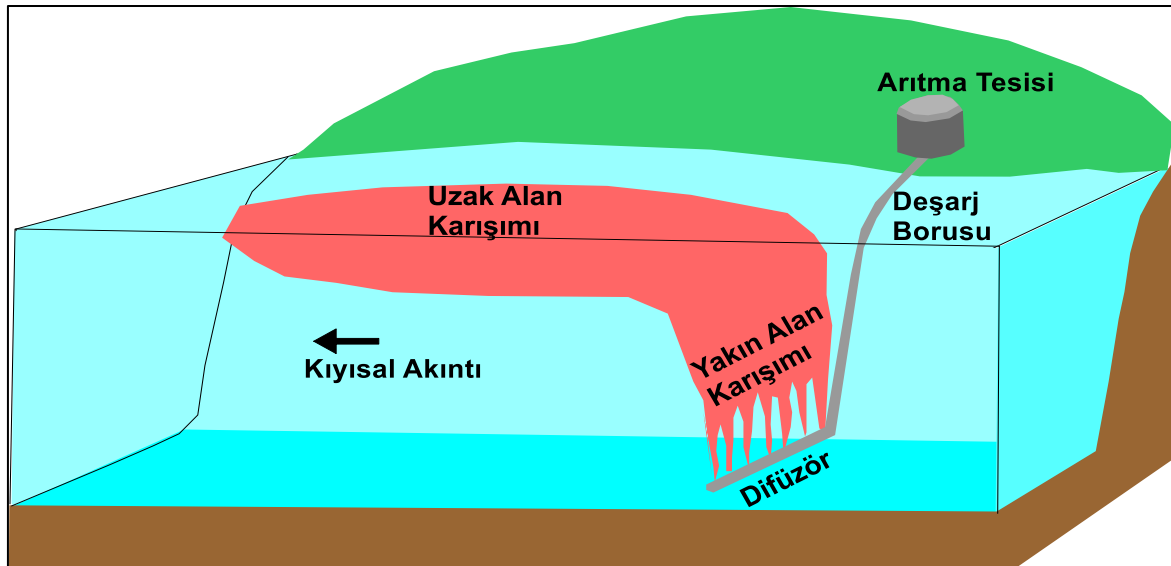
### 3.3.7. Kaliforniya

Orange Country yeraltı suyu yenileme sistemi dünyanın en büyük (dolaylı içilebilir) yeniden kullanım atık su arıtma sistemidir. Mikrofiltrasyon + ters ozmos ve ileri oksidasyon

proseslerinden geçtikten sonra Pasifik Okyanusuna deşarj edilen arıtılmış atık suları almaktadır. Ocak 2008'den beri işletilmekte olan sistem; her gün yaklaşık 265.000 m<sup>3</sup> yüksek kalitede su üretebilmektedir. Bu su Kaliforniya'nın kuzeyindeki ve Orange Country'deki 600.000 kişinin ihtiyacını karşılamaktadır. Yine Kaliforniya'ya bağlı olan Orta Kontra Kosta sıhhi bölgesinde, 460.000 kişiye hizmet veren atık su arıtma tesisinden çıkan atık su, kentsel sulama için kullanılmaktadır. Geri kazanılmış su, içme suyu dağıtım hattından farklı bir boru hattı ile dağıtılarak golf sahaları, parklar, kampüslerde ve endüstriyel sulamada kullanılmaktadır. Bu bölge için uzun vadede ise yılda 2 mm<sup>3</sup> atık suyun dönüşümünün sağlanması planlanmaktadır (Solak, 2018).

### 3.4. Kentsel Atık Suların Denize Deşarj Edilmesi

Denizlerin kirlenmesi %90 oranında kara kökenlidir. Evsel nitelikli atık suların yeterince arıtılmadan deniz ortamına deşarj edilmesi, sanayi tesislerinin üretim kaynaklı atıklarını arıtma işlemine tutmadan denize vermeleri deniz kirliliğine neden olmaktadır. Şekil 3.2'de deniz ortamına verilen deşarjın nasıl seyrettiği gösterilmektedir. Deniz kirliliğini önlemek amacıyla, atık suların denize verilmeden önce arıtılması büyük önem taşımaktadır (Kocamış, 2006).



Şekil 3.2. Deniz dibinde atık su deşarj huzmesi (Wood ve diğerleri, 1993)

### 3.4.1. Deniz suyu ve özellikleri

Deniz kimyasal ve fiziksel özelliklerine, içerisinde bulunan canlıların durumuna göre primer ve sekonder bölge olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Bentik bölge, denizin dip kısmındaki ortamı içerisine almaktadır. Pelajik bölge ise bütün su kütlesinin içine alır. Sucul ortamda, birçok sistem birbiriyle etkileşim halindedir. Su ile sediment ve atmosfer arasında çözünmüş maddelerin değişimi söz konusudur. Organizmalar, su ve birbirleri ile sürekli olarak etkileşim halindedirler. Etkileşim durumları deniz suyunun özellikleri ile de yakında ilgilidir. Deniz suyunun özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Deniz suyu acı ve tuzludur.
- Yoğunluğu tatlı sudan fazladır.
- Donma noktası tatlı suya oranla daha düşüktür ve çeşitli gazlar çözünmüş halde bulunur.
- Isıyı ve ışığı geçirmektedir (Kuş, 2001).

Ekolojik sistemin bozulmaması ve denizlerin kirletilmemesi gerekliliğine dayanılarak, denizin arıtılmış sulara alıcı ortam olarak kullanılması yada belirli bir ön arıtmadan sonra yeterli ilk seyrelmeyi sağlayacak bir ortam olarak kullanılmasına karar verilmesi durumu, denizin hidrografik ve oşinografik özelliklerine bağlıdır. Atık suyu deniz ortamına seyrelme durumu denizin oşinografik (kimyasal, biyolojik ve fiziksel) ve hidrografik (akıntılar, dalgalar vb.) özellikleri belirlemektedir. Denizin bu özellikleri, deniz suyu kalitesini ve akıntı ikliminin iyi ya da kötü yönde değişmesinde önemli bir etkisi vardır (Çelik, 2005).

### 3.4.2. Deniz deşarj sistemleri

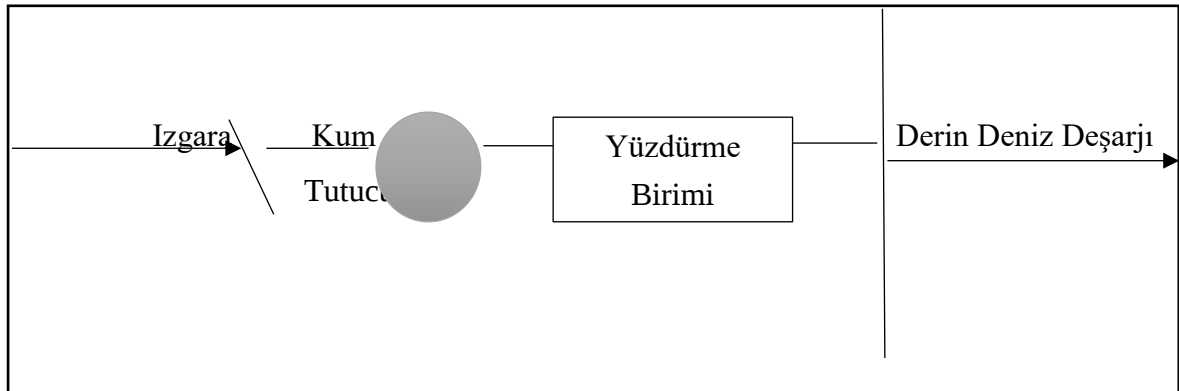
Deniz deşarj sistemlerinde temel yapı, arıtılmış ya da yeteri kadar arıtılmamış atık suların kıyı şeridinden yeteri kadar uzaklıkta deşarj edilmesidir. Atık suların deşarj edilecek noktaya aktarılması ise ön gerilmeli beton, çelik, plastik veya pik borular vasıtasıyla yerine getirilir ve difüzörlerden denize deşarj edilir. Denizde yapılan inşaatlar oldukça pahalı ve zordur. Bu sebeple deşarj noktasının doğru seçilmesi ve en uygun güzergahın belirlenmesi maliyet açısından önemlidir. Tasarım ve planlama aşamasından önce deniz ortamının çevresel değerleri detaylı olarak incelenmelidir. Bu değerlere tesis çalışmaya başladıktan sonra tekrar

bakıldığında, tesisin amacına uygun çalışıp/çalışmadığının kontrolünün göstergesi olacaktır (İldeş, 2010).

Atık suların denize deşarjında, denizin ekolojik ve oşinografik özelliklerine bakılarak deşarj öncesi arıtmanın derecesi belirlenir. Bunun yanında yerleşim alanının gelecekteki nüfusu, ihtiyaçları ile atık suyun özellikleri deşarj edilecek yeri ve arıtmanın derecesini belirlemektedir.

#### Mekanik ön arıtmadan sonra deşarj

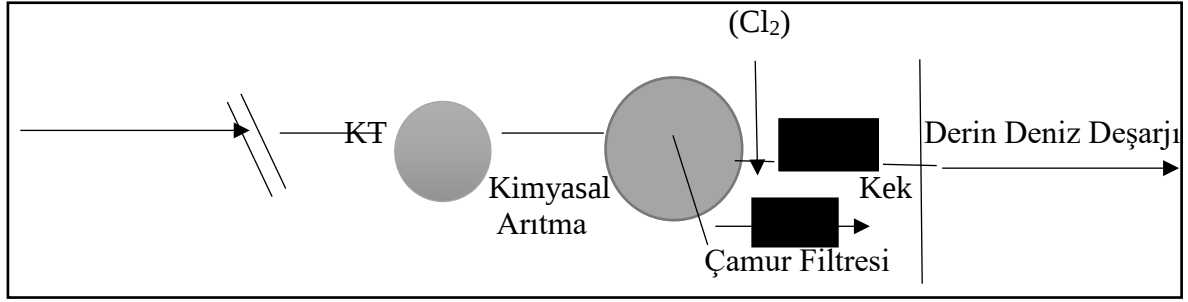
Ağır metaller ve pestisitlerin su ortamına karışması, bu kirletici maddelerin kaynağında yapılacak tedbirlerle önlenerek, kum tutucu, flotasyon ve ızgara birimlerinden ibaret bir ön tasfiye sisteminden geçirilmektedir. Şekil 3.3'te mekanik ön arıtmadan sonra deniz deşarjı gösterilmektedir. Mekanik ön arıtmadan geçirilen su uygun değerlerde is yeterli uzunluktaki deniz deşarjı hattı ile denize verilebilir.



Şekil 3.3. Mekanik ön arıtmadan sonra deniz deşarjı (Çelik, 2005)

#### Kimyasal ön arıtmadan sonra deşarj

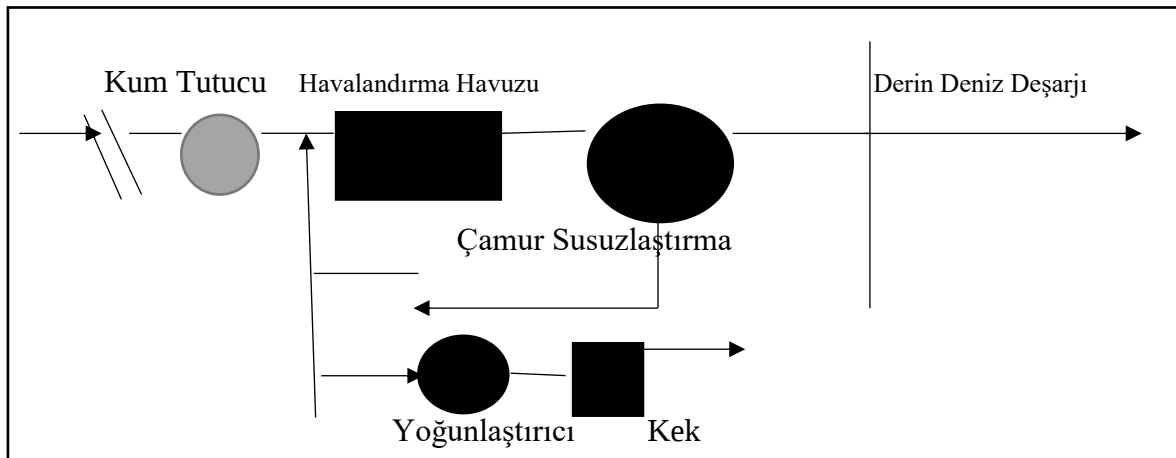
Akıntının nispeten daha zayıf olduğu dolayısıyla seyrelmenin yeterli olabilmesi için arıtmanın ve deşarj hattı alternatiflerinin daha pahalı olacağı deşarj yöntemidir. Şekil 3.4'te kimyasal arıtmadan sonra deniz deşarjı gösterilmektedir. Kimyasal arıtmada kirletici yüklerinin azaltılması amacıyla pıhtılaştırıcı kimyasal madde ilave edilerek çöktürme işlemi sağlanmaktadır (Çelik, 2005).



Şekil 3.4. Kimyasal arıtmadan sonra deniz deşarjı

#### İkinci kademe biyolojik arıtma ve/veya dezenfeksiyondan sonra deşarj

Bu tür arıtma arazinin kıymetli ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu metropol şehirlerde oluşan çamurların nihai bertarafları pahalı ve zor olacağından tercih edilmektedir. Şekil 3.5'te ikinci kademe biyolojik arıtmadan sonra deniz deşarjı gösterilmektedir. Kimyasal arıtmadan daha az çamur oluşturan biyolojik arıtmada oluşan metan gazı da enerjiye çevrilmesi nedeniyle işletme masraflarının azalmasına olanak vermektedir.



Şekil 3.5. İkinci kademe biyolojik arıtmadan sonra deniz deşarjı

#### **3.4.3. Ülkemizde deniz deşarjı uygulama örnekleri**

Kıyı yerleşim bölgelerinden oluşan atık suların denize deşarj yöntemleri ile giderilmesi uluslararası oranda yaygın olan bir yöntemdir. İlk olarak denize direkt olarak verilen atık suların, zamanla o bölgedeki nüfusun artması, turizm ve balıkçılık faaliyetleri nedeniyle denize borular ile kıydan uzak deniz ortamına verilmesi yöntemine dönüşmüş, arıtma tekniklerinin gelişmesiyle de arıtma yapılarak deniz ortamına deşarj edilmeye başlanılmıştır.

Ülkemiz de de kıyı kesimlerinden denize deşarj yöntemi yaygın olarak uygulanmaktadır (İldeş, 2010).

Ülkemizde yapılan deniz deşarj yapılarını inceleyecek olursak; nüfusun yoğun olduğu yerleşim yerlerinde (İzmit, Balıkesir, İzmir ve Samsun gibi) deşarj uzunluğu nispeten daha uzun olup, büyük olasılıkla seyrelmenin daha iyi sağlanabilmesi amaçlanmaktadır. Nüfus yoğunluğunun fazla olmasına rağmen deşarj uzunluğunun kısa olduğu yerlerde topoğrafyanın elverişli olmaması göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun yanında yerleşik nüfusun az olduğu ancak turizm nedeniyle yaz aylarında yoğun bir nüfusa sahip olan yazlık yerleşim yerlerinde, deşarj uzunluğunun diğerlerine göre nispeten kısa olduğu görülmektedir. Deşarj uzunluğunun kısa olduğu bu yerlerde dalga, rüzgar hareketleri ile kıyı bölgelerinde kirlilik oluşabilmektedir. Kirliliğin üç boyutlu hyrodinamik taşınım modeli ile modellenmesi, kıyı kesimlerinin korunması açısından önemlidir.

#### **3.4.4. Deniz deşarj sistemlerinin denizel ekosistemlere etkisi**

Doğal şartlar altında deniz ortamına karasal kökenli organik kirleticiler, akarsular vasıtasıyla ya da yağışla taşınabilmektedir. Doğal şartlar altında olan bu kirlilik, insan kaynaklı kirliliğin etkisinden çok daha az bir etkiye sahiptir. İnsan kaynaklı deşarjların doğal olmaması nedeniyle ekosistemi olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmaz bir gerçektir. Bu gerçeğe birlikte, deşarjları kontrol altında ve iyi şartlarda gerçekleştirerek, olumsuz etkileri ekosisteme en az zarar verecek şekilde azaltmak gerekmektedir. Deniz ortamına taşınan insan kaynaklı kirliliğin yükü ve sıcak-yoğun-tuzlu suların ortama etkisi ve deniz ekosisteminin özelliklerine bağlı olarak farklı sonuçlar yaratabilmektedir. Soğuk iklim bölgelerinde bu etki nispeten daha kolay tolere edilebilirken, Karadeniz gibi subtropik kuşakta bulunan sularda ve özellikle ötrofikasyon eğilimi yüksek bölgelerde daha kötü sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle risk faktörleri hesaplanarak ekosisteme mümkün olan en az zararı verileceği akılcı yöntemler izlenmelidir. Risk faktörü yerleşim bölgesinin büyüklüğüne, deşarjın evsel veya endüstriyel kaynaklı oluşuna ve çevrede tarım arazilerinin yoğunluğuna bağlı olarak ve hatta tüm bu faktörlerin hepsinin bir arada bulunabilirliğine bağlı olarak yükselebilmektedir (Köksal, 2016).

Deniz ortamına verilen atık etkisiyle mikroorganizma yapısı ve deniz suyu konsantrasyonu değişeceğinden, denizin denge noktası saparak bölge ekosistem akışı değişmiş olacaktır.

Deşarj edilen atık suyun toksik etki göstermemesi halinde bölgede mikroorganizma artışı yaşanacaktır. Mikroorganizmaların solunumu nedeniyle suda oksijen içeriği azalarak zincirleme reaksiyon görülecektir. Su canlıları bu gibi durumlarda farklı tepkiler verebilir. Bu tepkiler;

- Kaçma - hareket edebilen canlılar yüzerek bölgeden kaçabilirler,
- Teması Azaltma – bazı balıklar mukus tabakası salgılayarak, kabuklular ise bünyelerine gıda alımını azaltarak yaşanan değişimlerden sakınabilirler,
- Ayarlama- birçok canlı türü bünyelerindeki kimyasal maddeler nedeniyle, sıvı alımlarını ya da basınçlarını ayarlayabilirler,
- Alışma- ekosistemde kirlilik yükünün süreklilik göstermesi durumunda canlılar zamanla bu duruma adapte olabilmektedirler.

Genel olarak, bazı türlerin deşarj bölgesinden kaçması, başka türlerin bölgeye gelmesine neden olabilir. Atık su içerisinde besin maddesinin yanında biyo-akümülayasyona neden olan kimyasal maddelerde bulunacağından besin zincirine etkisi geniş çapta olacaktır. Örneğin; ABD’de bir nehre verilen bir pestisit, deşarj noktasından yüzlerce kilometre uzakta balıkların vücudunda birikime neden olduğu görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı bir deşarj sisteminde atık su ve kirlilik unsurları deşarj ortamında seyreltilerek halk sağlığı ve estetik açıdan gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir (Kocamış, 2006).

### 3.4.5. Deniz deşarj sistemleri yasal dayanak

Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanan Hassas Su Kütleleri ile bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik (23.12.2016 tarih ve 29927 sayılı Resmi Gazete) kapsamında Ülkemizde hassas kıyı alanları belirlenmiştir. Buna göre;

- Hassas alanlarda ileri arıtma,
- Az hassas alanlarda ikincil arıtma

uygulanması gerekmektedir. Buna bağlı olarak tüm kıyılarımızda bulunan yerleşim yerleri için asgari ikincil arıtma uygulanması gerekli görülmektedir. Ancak, Su Kirliliği Kontrol

Yönetmeliği Atık su Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliğine göre (madde 12/b) söz konusu alanın gri alan olmasına bakılmaksızın arazinin az ve pahalı olduğu Karadeniz ve Boğazlar gibi yerlerde, ön arıtma sonrasında derin denize deşarjın çevreyi olumsuz yönde etkilemediğine ilişkin ayrıntılı bilimsel araştırmalar yapılması şartıyla derin deniz deşarjı yapılabileceği belirtilmektedir. Bu bağlamda, evsel atık suların DDD uygulamalarında uyulacak kriterler Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 22 ve 23'te düzenlenmiştir. DDD uygulamalarında ilk seyrelme S1 değeri 40 ın altında bulunmamalı, tercihen S1= 100 olmalıdır. Bu seyrelmelerin tespiti Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğine göre yapılmaktadır.

#### Deniz deşarjlarının izlenmesi ve özellikleri

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)'nin 'İzleme' başlıklı 54. Maddesi uyarınca atık su arıtma tesisi işletmecileri, arıtma tesislerinin verimli olarak çalıştığının izlenmesinden, kayıtlarının tutulmasından ve raporlanmasından sorumludurlar. Evsel atık suların Deniz Deşarjı uygulamasında;

- DDD yapılan deniz ortamında yüzme suyu alanı bulunmakta ise, kıyı koruma bandı mesafesi (Ege ve Akdeniz kıyılarında 500 metre, Marmara ve Karadeniz kıyılarında 300 metre) sınırında deniz suyu yüzeyinden numune alınarak Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliğine göre bakteriyolojik analizler yapılır,
- Difüzörlerin bulunduğu deşarj noktası referans kabul edilerek deniz yüzeyinde 150 metre çaplı alan (ilk seyrelme bölgesi sınırı olarak kabul edilerek) sınırında akıntı yönü dikkate alınarak SKKY Tablo 23'de belirtilen sınır değerlerin sağlanması gerekmektedir.

Deniz Deşarjı uygulamalarında deşarj derinliği en az 20 metre olmalı, eğer 20 metre derinliğe inmek ekonomik olarak mümkün değilse, difüzör hariç deşarj boru boyu ortalama kıyı çizgisinden itibaren Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 24'te belirtilen değerlerden az olmamalıdır. Deniz Deşarjı tesisleri kara ve deniz bölümlerinden oluşmakta olup, çevre izni aşamasında İl Müdürlüklerince hazırlanan uygunluk yazılarında dikkate alınması gereken fiziksel şartlar aşağıda belirtilmektedir.

- Kara bölümü: SKKY Atık su Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliğinde belirtilen nitelikte ön arıtma tesisinin inşa edilmesi önem arz etmektedir. Ön arıtma tesisleri; giriş yapısı

(giriş bacası, vana odası), kaba ızgara, mekanik ince ızgara, döner elek, havalandırmalı kum ve yağ tutucular, blower ve jeneratör binaları, terfi merkezi, denge bacası, bay-pass hattından oluşmalıdır.

- Deniz bölümü: Denize gömülerek giden deşarj borusu ve difüzörün batırılması ile stabilitesini sağlayan batırma blokları ve tespit kütleleri, çapa, difüzör kısımları ile deşarj hattının denizdeki güzergahını belirleyen işaret şamandıralarından oluşmalıdır.



## 4. ATIKSULARIN DENİZ ORTAMINDA DAVRANIŞI: KAŞ ÖRNEĞİ

Bu bölümde Antalya İli Kaş İlçesi için ilçenin fiziki yapısı göz önünde bulundurularak atık su arıtma tesisinin mevcut konumundan denize yapılan deşarjı sonrası atık suyun davranışı modelleme çalışmasıyla incelenmektedir.

### 4.1. Kaş İlçesi Hakkında Genel Bilgiler

Kaş vadi içerisinde dar bir topoğrafyaya sıkışmış doğal bir liman yerleşimidir. Bucak ve Kaş kıyılarını içerisine almakta olup, bu iki kıyuyu Çukurbağ Yarımadası ayırmaktadır. Kaş'ın güney kısmında Meis adası ve birçok kayalığın bulunması nedeniyle akıntılardan ve açık deniz dalgalarından korunmaktadır. Bölgenin dik yamaçlarla çevrili olması nedeniyle yeterli seviyede tarıma elverişli arazisi bulunmamaktadır. Yakın tarihe kadar balıkçı kasabası özelliğinde olan Kaş, yıldızlı otelleri ve restoranların yanında yat ve kültür turizmi için önemli bir merkez haline gelmiştir. Tarım yapılabilen arazilerin ve sanayinin yoğun olmaması nedeniyle azot ve fosfat tuzları içermekte olan atık sular deniz suyu için ana kirlenici maddelerdir. Bakteri ve alg popülasyonunda olan artış besin tuzlarının artması sebebi ile gerçekleşmektedir. Kaş'ta tespit edilen deniz kirliliği kaynakları; Kaş limanı, arıtma tesisi, arıtmaya bağlı olmayan yerleşimler ve tesisler ile tur tekneleri olarak belirlenmiştir (Cebe ve Balas, 2016; Cebe 2016).

#### 4.1.1. Nüfus dağılımı

Kaş İlçesi nüfusu 2013 yılı TÜİK verilerine göre 55.061 kişi olup, Antalya İli nüfusunun %2,5' ini barındırmaktadır. Nüfus dağılımı içerisinde erkeklerin oranı %52,1 olup, kadın oranı ise %48,7 civarındadır. Yaz aylarında turizmin etkisi ile ilçe nüfusu 20 bin civarına çıkmaktadır (Kaş Belediye Başkanlığı, 2015). Çizelge 4.1'de nüfus gruplarının kaş nüfusu içindeki oranı gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Nüfus gruplarının kaş nüfusu içindeki oranı (Kaş Belediye Başkanlığı, 2015)

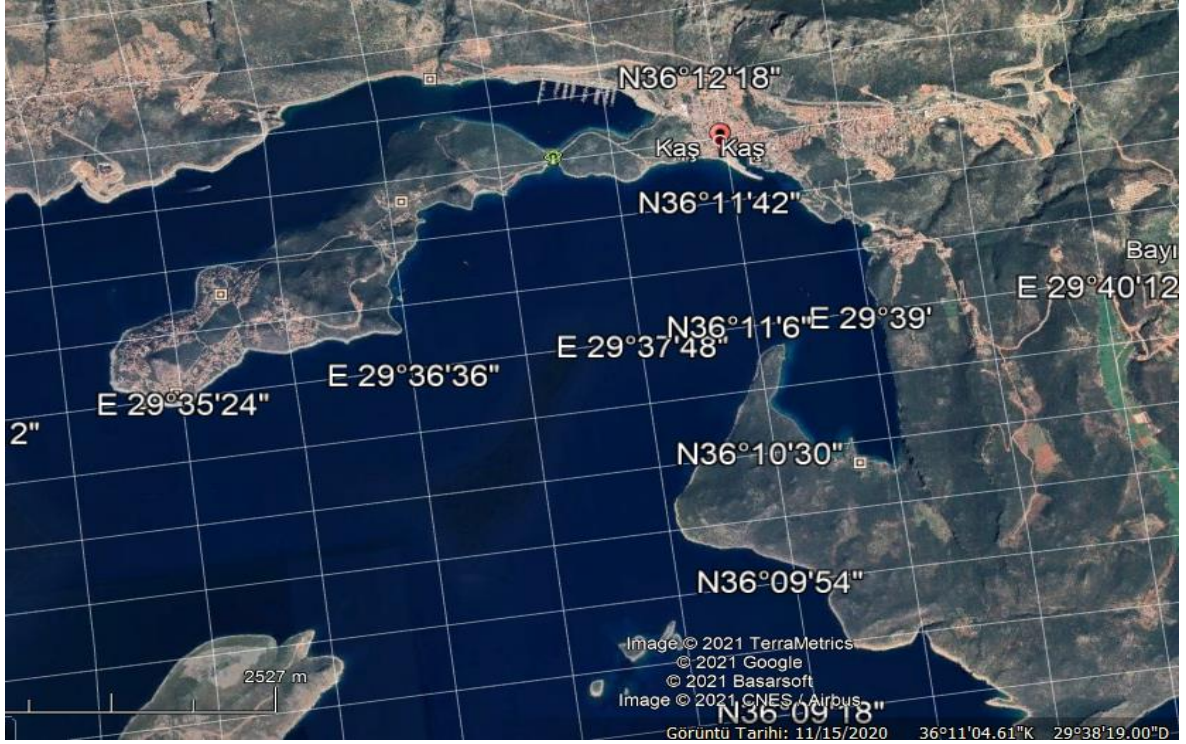
| Nüfus Grubu             | Nüfus Miktarı | Kaş İlçesindeki Oranı % | Antalya İli Oranları % | Türkiye Değerleri % |
|-------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| Genç Nüfus (0-14 Yaş)   | 11.898        | 21.6                    | 22.8                   | 24.5                |
| Aktif Nüfus (15-64 Yaş) | 37.033        | 67.2                    | 70.1                   | 67.7                |
| Yaşlı Nüfus (65+)       | 6.130         | 11.1                    | 7                      | 7.6                 |

#### 4.1.2. Ekonomik yapısı

Kaş İlçesinin 1980’li yıllara kadar ekonomisi tarım, zeytincilik ve balıkçılığa dayalı iken günümüzde gelişen turizm sektörü ile farklı bir alanda atılım sağlamıştır. Geçimini yaz aylarında turizm amaçlı otel, pansiyon ve motel işletmeciliği yaparak sağlayan yerli halkın çoğunun yayla köylerinde toprak arazileri mevcuttur. Hali hazırda ekonomisinin büyük bir bölümünün turizme dayalı olan Kaş’ta, son verilere göre toplamda 7500 yatak kapasitesine sahip 60 otel ve 43 pansiyon bulunmaktadır. Bu tesisler yazın yoğun talep karşısında yetersiz kalmakta ve sürekli yeni işletmeler açılmaktadır. Eski tarihlerden günümüze geçim kaynağının önemli kısmını denizden sağlayan Kaş halkı 1980’li yılların başında tekne ve dalış gezileri ile turizm faaliyetlerine başlamıştır. Kaş İlçesinin kıyı kesimindeki turizm faaliyetlerinde görülen artış nedeniyle yapılaşmanın artması, özellikle deniz ekosistemini olumsuz yönde etkilemektedir. Turizm faaliyetlerinin yanında tarımsal üretim bakımından da gelişen Kaş, özel sektör girişimleri ile ihracat edilen tarım ürünleri üretmektedir. Özellikle kış aylarında ilçenin batısında yer alan Yeşilköy, Ova ve Kınık beldelerindeki seracılık faaliyetleri ilçenin ekonomik yaşamına önemli bir katkı sağlamaktadır (Kaş Kaymakamlığı, erişim tarihi: 30.09.2020).

#### 4.1.3. Coğrafi konumu

Kaş, Akdeniz Bölgesi’nde Antalya İline bağlı bir ilçe konumundadır. Geçmişte Likya olarak adlandırılan bölge, günümüzde Teke Yarımadası olarak kabul edilmektedir. Kaş İlçesinin coğrafi konumu Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kaş ilçesinin coğrafi konumu (Google Earth, erişim tarihi 14.04.2021)

Kaş İlçesinin kuzey-batısında Fethiye, doğusunda Finike ve kuzeyinde ise Elmalı ilçesi yer almakta olup, sahil şeridinin uzunluğu yaklaşık 90 km'dir.

#### 4.2. Kaş İlçesi Fiziki Yapısı

Kaş, Akdeniz Bölgesinin önemli turizm alanlarında biri olup, Antalya'dan Fethiye'ye uzanan sahil şeridinde gelişmekte olan bir ilçedir. İlçenin batısında Toros Dağlarının dik yamaçlarının deniz ile kesiştiği noktayla adacıklar ve Meis Adası ile etrafı sarılmıştır. Bölgede yükseltiler kuzeye doğru uzanmaktadır. Kıyıdan itibaren eğimli araziler dik bir şekilde yükselerek yükseltileri, dar düzlüklerden sonra dik yamaçlarda aniden yükselerek 550 m'yi aşan tepeleri oluşturmaktadır. Kıyıları girintili çıkıntılı koylardan meydana gelmektedir. Kara ulaşımının elverişsiz olduğu bölge kıyılarına denizden teknelerle ulaşım sağlanmaktadır (Demir, 2011).

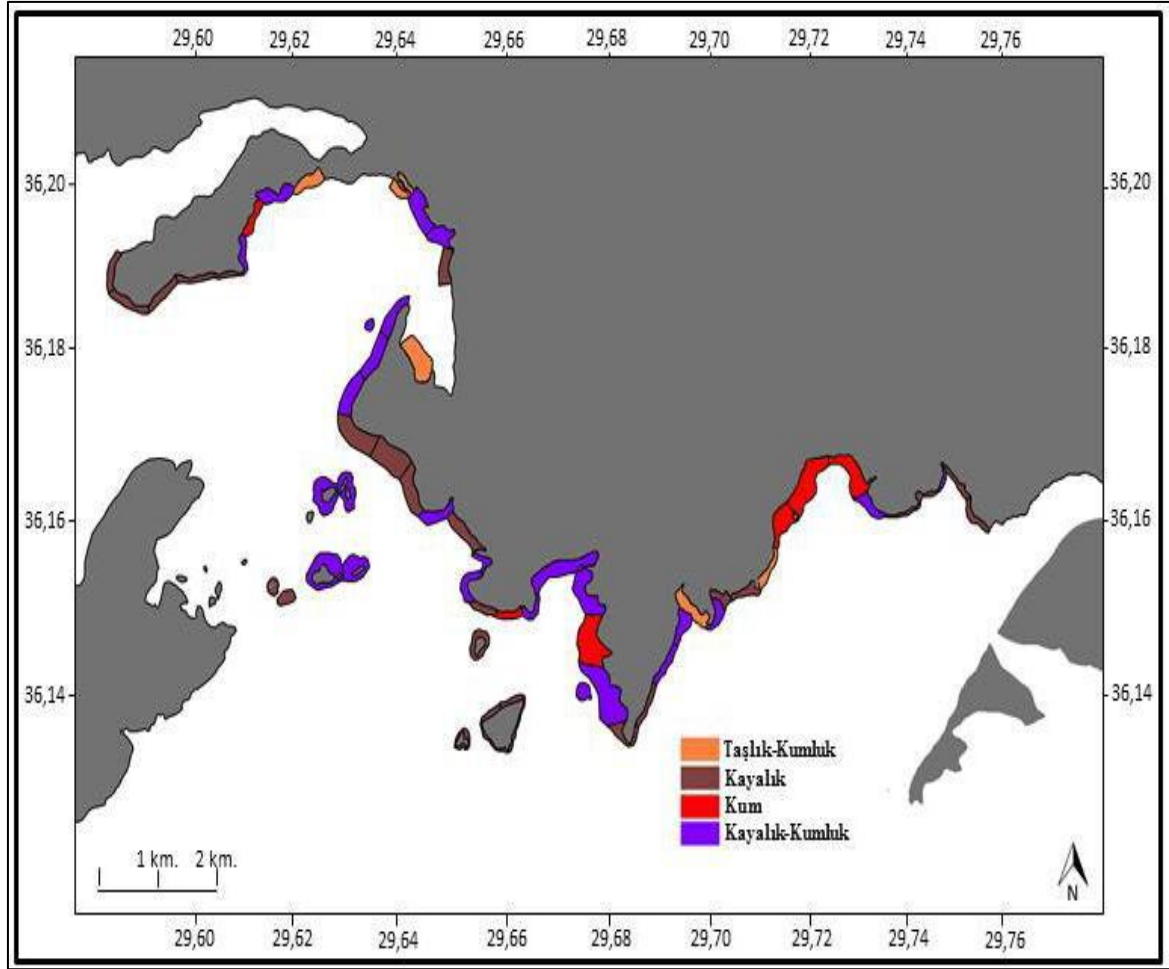
##### 4.2.1. İklim ve bitki örtüsü

Akdeniz ikliminin hakim olduğu Kaş kıyı şeridi, yaz aylarında yağış almamaktadır. Yağışlar genellikle Ocak ve Şubat aylarında yağmaktadır. Ortalama yıllık sıcaklık 18,9 C<sup>0</sup> gibi yüksek

bir ortalamaya sahiptir. Ortalama sıcaklık yılın hiçbir ayında 10 C°'nin altına düşmemektedir. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos ayları olup, en soğuk ay ise Ocak ayıdır. Bölgede yetişen bitkileri önemli bir kısmı kurakçıl bitkilerdir. Özellikle “garig” adı verilen maki türleri ağırlıktadır. Bu maki türleri Toros Dağları etekleri ve kıyıdan itibaren 300 m yükseklikten itibaren yetişmektedirler. İlçenin kuzeyi ve kuzeybatı kesiminde meşe, palamut, çam ve ardıç ormanları yer almaktadır. Kıyı şeridi bölümünde sandal, akçaçeşme, yabani menekşeler ve harnup bulunmaktadır. Vadi ve kıyı düzlüklerinde bitki örtüsü narenciyedir. Yılda 3-4 kez turfanda sebzeçilikten ürün elde edilmektedir. Kaş çevresi ve köyleri yabani zeytinliklerle kaplı olup, araziler parsellenmek suretiyle halka dağıtılmış ve zeytinlikleri büyük bir bölümü aşı ile ıslah edilmiştir. Bölgede bir milyona yakın zeytin ağacı bulunmaktadır (Akman, 2007).

#### 4.2.2. Toprak yapısı

Meis'e bakan Çukurbağ Yarımadası'nın kıyı kesiminin büyük çoğunluğu blok kayalıklardan oluşup, kayalıklar dik şekilde aşağıya inerek, dipte bulunan kayalık alan ile birleşmektedir. Kıyı kısımları genellikle kayalık 2-3 m'den başlayarak ta Cymodocea nodosa kaplı kum zemin yapısı kayalığın yerini almaktadır. Yarımadanın iç kıyısındaki tek ada olan Güvercin Ada kıyıları kayalık olup, 18m derinlikteki kum zemine doğru az bir eğimle inmektedir. Güvercin Adanın yaklaşık 200 m güney tarafında bulunan Çondur Burnu'na doğru kayalık zemin derinleşmekte ve burundan 50 m açıktaki tekrar yükselerek Neptün Reef adı verilen topuğu oluşturmaktadır. İnce Burun ile Gata Burnu arası deniz seviyesinden başlayan ve 20-25 m derinliğe kadar yaklaşık 45 derecelik bir açı ile devam eden kayalık yapı daha sonra kumluk yapıya dönüşmektedir. Gata Burnu - Kuş Tüneği arasında kalan bölgede deniz seviyesinde birçok tatlı su çıkışı bulunmaktadır. Kuş Tüneği'ne doğru kayalık kıyıdaki kayalık yapının yerini kayalık-kumluk ve kumluk-taşlık yapı almaktadır. Kuş Tüneği yapı itibari ile uç kısımdan su altında devam eden 20 m lik dik bir blok kayadan sonra 20-30 m lik bir platform ile devam etmektedir. Genel olarak çalışma bölgesinin zemin yapısı Şekil 4.2'de belirtilmektedir (Demir, 2011).



Şekil 4.2. Çalışma bölgesinin zemin yapısı (Demir, 2011)

#### 4.2.3. Tarım alanları

Turizmin yanında tarımsal faaliyetler de Kaş İlçesinin önemli ekonomi kaynağıdır. Ticaret ve sanayinin ilçe ekonomisine katkısı yok denilecek kadar azdır. Kaş İlçesinde tarımsal gelirin büyük bir bölümü örtü altı sebze üretiminden sağlanmaktadır. 22.000 dekar örtü altı sera varlığı mevcut olup, örtü altında yetiştirilen en önemli ürünler ise biber ve domatestir. Meyve üretiminde ise zeytin (30.000 dekar) ve Gömbe bölgesinde ise elmacılık(12.000 dekar) gelişmiştir. Tarımsal üretim değeri içinde tarla bitkilerinin ise önemli bir payı bulunmamaktadır (Kaş Belediye Başkanlığı, 2015).

Çizelge 4.2. Kaş ilçesinin tarım alanlarının kullanım amaçlarına göre dağılım alanları (Kaş Belediye Başkanlığı, 2015)

|     | Bağlar<br>(ha) | Meyvelikler<br>(ha) | Sebzelikler<br>(ha) | Tarla Alanı (ha) |               | Zeytinlikler<br>(ha) | Toplam<br>Alan<br>(ha) |
|-----|----------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------------|
|     |                |                     |                     | Ekilen<br>(ha)   | Nadas<br>(ha) |                      |                        |
| KAŞ | 49,2           | 163,2               | 221,9               | 1188,9           | 276,9         | 271,0                | 2171,1                 |

Çizelge 4.2’de görüleceği gibi Kaş ilçesinde tarım alanları oransal olarak fazla bulunmasına rağmen tarımsal faaliyetler ilçe genelinde Kınık ve Gelemiş gibi ilçe merkezine 20-30 km uzaklıkta civar mahallelerde yürütülmekte olup, ilçe merkezi’nde genellikle zeytincilik yapılmaktadır.

#### 4.2.4. Yağış miktarı

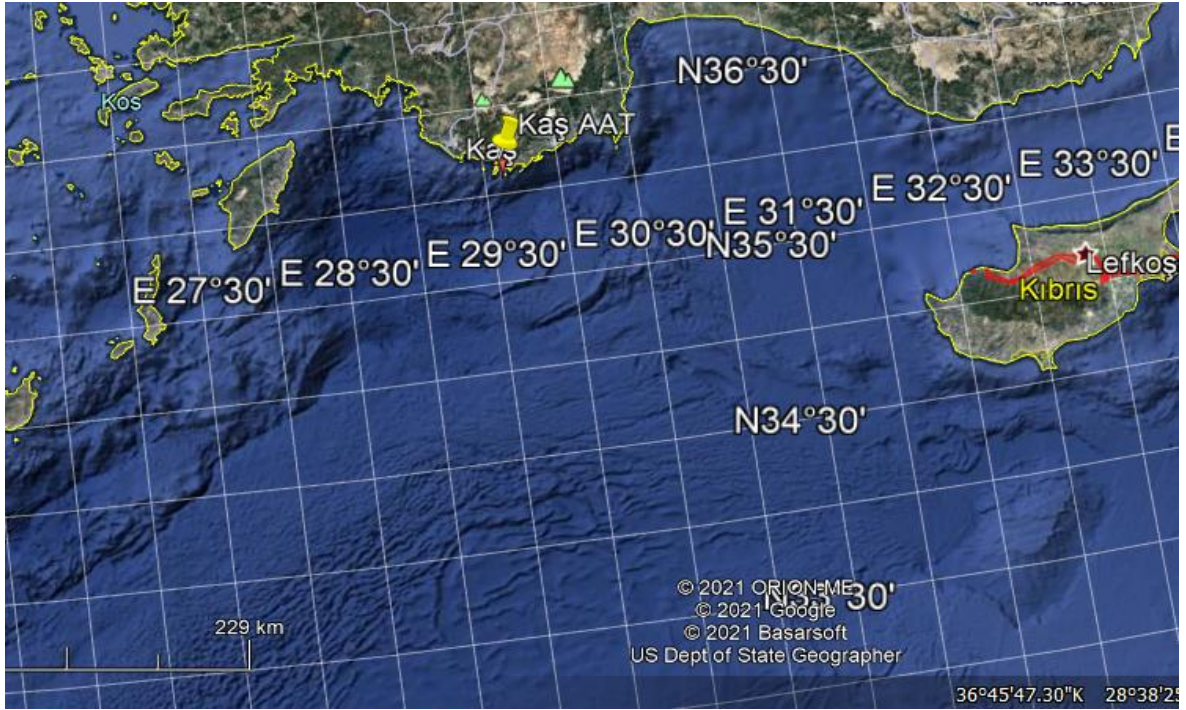
Yağış miktarının 0,1 mm ve daha çok olduğu günlere yağışlı gün denilmektedir. Kaş İlçesinin ortalama yağış miktarı 782,9 mm olarak ölçülmektedir. Bu miktar Türkiye ortalamasının çok üstünde bir değerdir. 21 yıllık ortalama yağışlı gün sayısı, 1 yılda 66 gün şeklindedir. Bu değer yılın 5’te 1’ine denk gelmektedir. En yüksek günlük yağış miktarı 140,5 mm ile Aralık ayında kaydedilmiştir. Ocak ve Aralık ayları yağışlı gün sayısının en fazla olduğu günlerdir. En az olduğu günler ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır (Özelkan, 2008).

#### 4.2.5. Sıcaklık

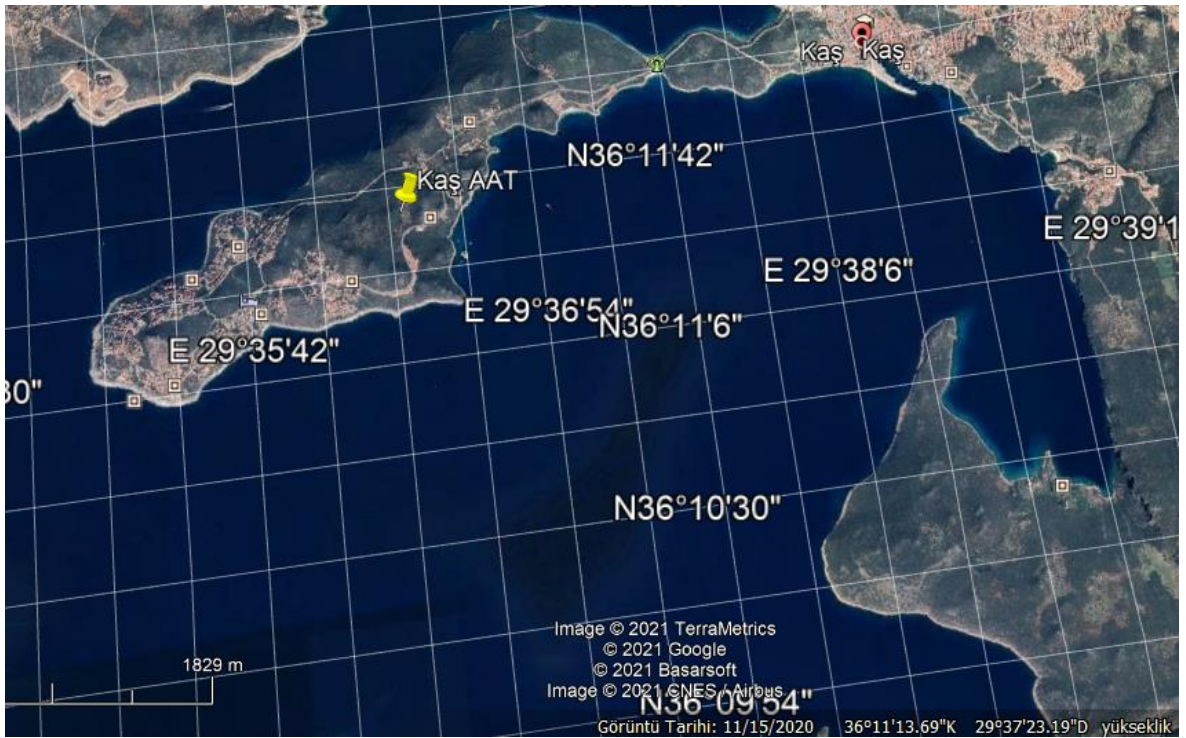
Kaş İlçesinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 19,6 C<sup>0</sup> olarak meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüştür. Sıcaklığın – 0,1 C<sup>0</sup> ve daha düşük olduğu günlere kış günleri denilmekte olup, 14 Şubat 2004 tarihinde – 1 C<sup>0</sup> olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın 25 C<sup>0</sup> ve daha fazla olduğu günlere yaz günü denilmekte olup, 13 Temmuz 2009 tarihinde 43 C<sup>0</sup> ile en sıcak maksimum sıcaklık ölçülmüştür. Yılın yaklaşık olarak yarısını Kaş İlçesi yaz günü olarak geçirmektedir (Özelkan, 2008).

### 4.3. Çalışma alanının durumu ve atık su arıtma tesisi mevcut yapısı

Çalışma sahası Şekil 4.3 ve 4.4’te gösterildiği üzere konum bakımında Antalya’nın Kaş İlçesinin deniz alanı olup, Bucak ve Kaş Körfezlerini kapsamaktadır.



Şekil 4.3. Çalışma sahası genel coğrafi konumu (Google Earth, erişim tarihi 14.04.2021)



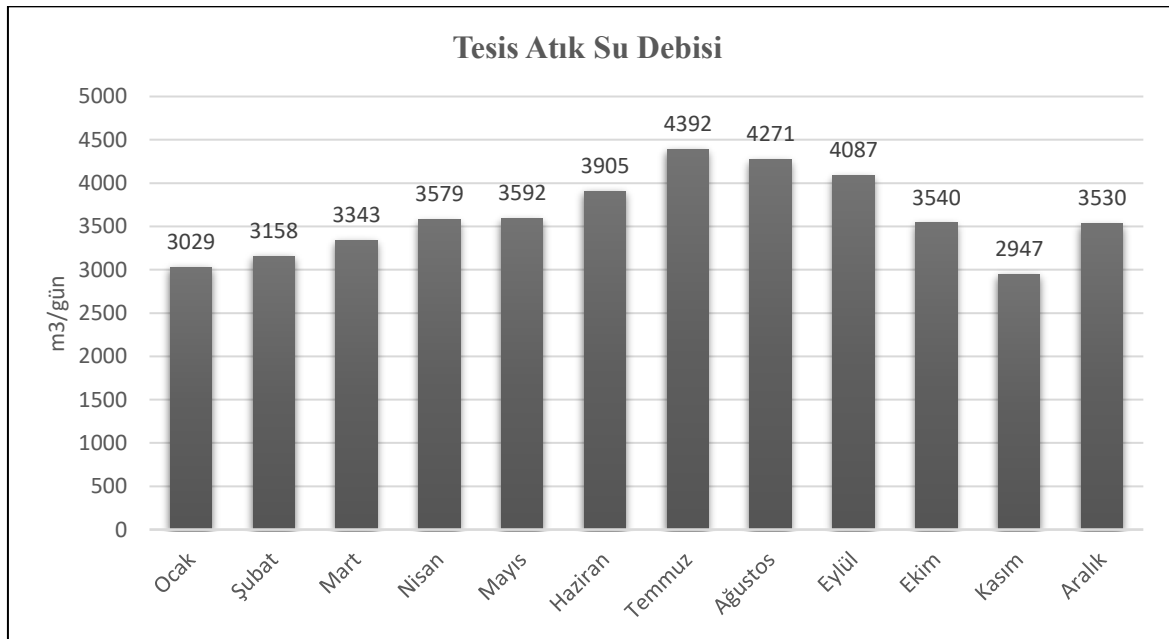
Şekil 4.4. Çalışma sahasının konumu (Google Earth, erişim tarihi 14.04.2021)

Kaş ilçesi nispeten dar bir alan üzerinde olması nedeniyle atık su arıtma tesisi Kaş ve Bucak Körfezlerinin arasında kalan Çukurbağ Yarımadasında yer almakta olup, deşarjını Kaş

Körfezine gerçekleştirmektedir. Çukurbağ yarımadası arazinin az ve değerli olduğu bir alandır. Gelecekte olabilecek nüfus artışı nedeniyle atık su arıtma tesisinin sıkışık bir alanda kapasite arttırması zor olacaktır.

#### 4.3.1. Atık su arıtma tesisi mevcut yapısı

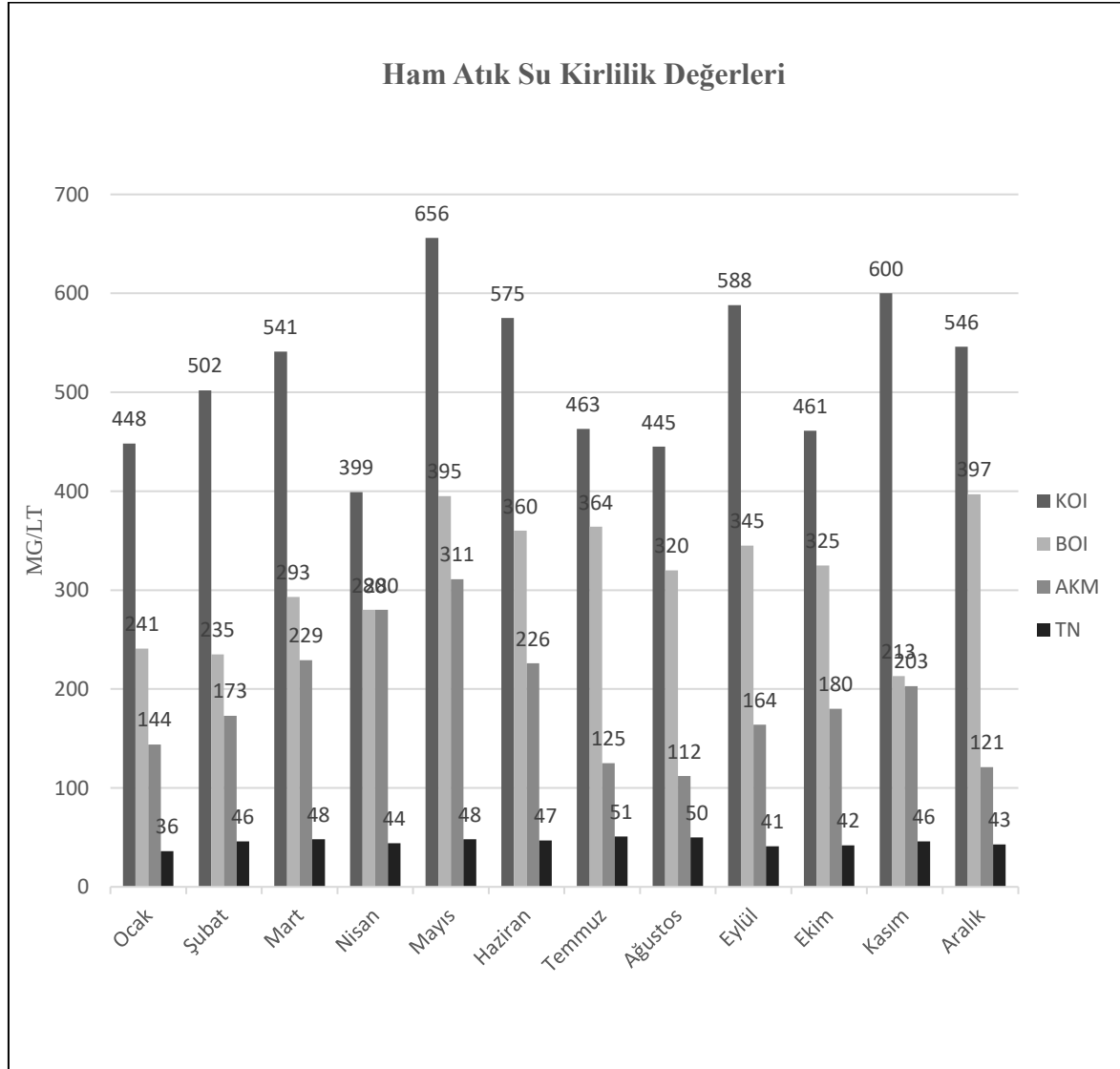
Atık su Arıtma Tesisi 25,000 kişiye hizmet edebilecek ve 5400 m<sup>3</sup>/gün kentsel atık suyu biyolojik olarak arıtabilecek düzeydedir. Tesiste; atık su girişi, havalandırılmalı kum tutucu, havalandırma havuzu, çökeltim havuzu, klor temas bölümü, aktif çamur sistemi, biyolojik filtre ve deniz deşarjı gibi bölümlerden oluşmaktadır. Tesise gelen atık su debisi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Grafikte de görüleceği üzere yaz aylarında yaşanan turizmden dolayı giriş atık su debisinde artış gerçekleşmiş sonrasında stabil bir şekilde gitmiştir. Mayıs ayında ortalama 3592 m<sup>3</sup>/gün debi yükselmeye başlamış temmuz ayı 4392 ile pik yapan atık su debisi kasım ayında 2947m<sup>3</sup>/gün debi ile yıl içindeki en düşük seviyesine inmektedir (Kuşaksız, 2019).



Şekil 4.5. Kaş AAT atık su debisi (Kuşaksız, 2019)

Yıl içinde aylara göre tesise alınan atık suyun kirletici değerleri Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Grafikte de görüleceği üzere giriş debilerinin turizmden dolayı arttığı aylarda giriş kirletici parametrelerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Ocak şubat ayları ile

birlikte KOI ve BOI de gözle görülür artış başlamış olup KOI değeri mayıs ve eylül ve kasım aylarında en yüksek seviyelerine çıkmıştır (Kuşaksız, 2019).



Şekil 4.6. Arıtma girişi atık su kirletici parametreleri (Kuşaksız, 2019)

Tesis genelinde yapılan incelemeler ve tespitler sonucunda tesise kış aylarında gelen deniz suyu ve yağmur suyu arıtma tesisi üzerinde birçok olumsuz etkisinin olduğu belirtilmektedir. Havalandırma havuzunda oksijen değerlerinin ani bir şekilde düşmesine ve pH da yaptığı değişiklikler çıkış suyu KOI sinde yükselmelere sebebiyet verdiği gözlemlenmektedir (Kuşaksız, 2019).

#### 4.3.2. Bölgenin fiziksel ve mikrobiyolojik durumu

İlçede yer alan Kaş ve Bucak Körfezlerinin su kalitesinin incelenmesi amacıyla, Kaş Deniz ve Kıyı Alanları Koruma, Geliştirme ve Yönetim Projesi kapsamında yapılan ölçümleme çalışmaları ile belirlenen 10 noktada ölçüm gerçekleştirilmiştir.

##### Fiziksel/kimyasal su kalitesi parametrelerinin ölçümü

Proje kapsamında ölçüm noktalarında çeşitli deniz suyu parametreleri hem yerinde ölçülerek, hem de laboratuvar analizleri yapılarak ölçülmüştür (Balas ve diğerleri, 2014).



Şekil 4.7. Proje alanı ve ölçümleme noktaları (Balas ve diğerleri, 2014)

Bölgedeki su kalitesinin belirlenmesi amacıyla 10 adet ölçüm noktasında; çözülmüş oksijen, tuzluluk, pH, su sıcaklığı, nitrit ( $\text{NO}_2$ ) konsantrasyonu, nitrat ( $\text{NO}_3$ ) konsantrasyonu, alkalinite, çözülmüş katı madde (TDS), bulanıklık parametrelerine ait değerler su yüzeyinden aşağıya doğru -0,5m ve -10m olmak üzere ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.3'te verilmektedir. Yapılan ölçümlere göre Kaş ve Bucak körfezi deniz suyu tuzluluk değerleri 38,78 ppt ila 39,41 ppt arasında değerler almıştır. Kaş ve Bucak körfezi deniz suyu sıcaklıkları 17°C ila 28,5°C arasında değerler almıştır. Sıcaklık ortalamaları Doğu Akdeniz

deniz suyu sıcaklıklarının mevsimsel dağılımına uygundur. Bölgenin iklim şartlarına bakıldığında yaz ve sonbahar aylarında hava sıcaklığı ile deniz suyu sıcaklığı arasında fark olduğu görülmektedir. Ancak bu fark, kış aylarında azalması sebebiyle hava sıcaklığı ile deniz suyu sıcaklıklarının birbirine yakın değerler aldığı bilinmektedir (Balas ve diğerleri, 2014).

Çizelge 4.3. Fiziksel/kimyasal su kalitesi parametreleri ölçüm sonuçları (Balas ve diğerleri, 2014)

| Parametre/<br>Ölçüm<br>Noktası           | K1   | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | K9    | K10   |
|------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alkalinite<br>(mg/l)                     | 2.55 | 2.875 | 3.51  | 3.39  | 3.010 | 2.810 | 2.950 | 3.510 | 2.400 | 2.800 |
| Nitrit<br>(mg/l)                         | 0.03 | 0.02  | 0.02  | 0.022 | 0.019 | 0.030 | 0.015 | 0.021 | 0.013 | 0.012 |
| Nitrat<br>(mg/l)                         | 0.23 | 0.099 | 0.41  | 0.718 | 0.419 | 0.442 | 0.117 | 0.310 | 0.290 | 0.188 |
| Ph (yüzey)                               | 7.93 | 7.98  | 7.98  | 7.94  | 8.01  | 8.02  | 7.92  | 7.99  | 7.96  | 7.98  |
| Ph (-10m)                                | 7.97 | 8.01  | 8.00  | 7.99  | 8.02  | 8.03  | 8.01  | 8.02  | 8.01  | 8.01  |
| İletkenlik<br>(ms/cm)<br>(yüzey)         | 55.1 | 55.20 | 55.1  | 55.78 | 54.75 | 55.02 | 54.86 | 54.84 | 54.06 | 54.10 |
| İletkenlik<br>(ms/cm)<br>(-10 m)         | 55.1 | 55.21 | 55.2  | 55.24 | 55.18 | 55.19 | 55.12 | 55.40 | 55.34 | 55.30 |
| Sıcaklık<br>(C <sup>0</sup> )<br>(yüzey) | 17.2 | 17.3  | 17.0  | 17.13 | 17.30 | 17.20 | 17.10 | 17.30 | 17.30 | 17.00 |
| Sıcaklık<br>(C <sup>0</sup> )<br>(-10 m) | 17.1 | 17.10 | 17.0  | 17.00 | 17.05 | 17.03 | 17.02 | 17.04 | 17.00 | 17.00 |
| Tuzluluk<br>(ppt)<br>(yüzey)             | 38.7 | 38.82 | 38.8  | 38.82 | 38.79 | 38.81 | 38.79 | 38.83 | 38.78 | 38.72 |
| Tuzluluk<br>(ppt)<br>(-10 m)             | 38.8 | 38.84 | 38.8  | 38.82 | 38.79 | 38.83 | 38.82 | 38.83 | 38.80 | 38.81 |
| TDS (g/L)<br>(yüzey)                     | 42.0 | 42.05 | 42.06 | 40.82 | 41.73 | 41.99 | 41.93 | 41.41 | 41.21 | 41.47 |
| TDS (g/L)<br>(-10 m)                     | 42.1 | 42.12 | 42.12 | 42.12 | 42.06 | 42.12 | 42.12 | 42.12 | 42.12 | 42.12 |
| DO<br>(mg/L)<br>(yüzey)                  | 7.10 | 7.24  | 7.37  | 7.50  | 7.39  | 7.28  | 7.65  | 7.00  | 7.23  | 7.62  |
| DO<br>(mg/L)<br>(-10 m)                  | 7.32 | 7.14  | 7.13  | 7.21  | 7.16  | 7.18  | 7.33  | 6.56  | 7.32  | 7.37  |
| Bulanıklık<br>(ntu)                      | 1.80 | 2.31  | 2.48  | 3.11  | 2.68  | 2. 51 | 1.84  | 2.29  | 1.91  | 1.76  |
| Askıda<br>Katı<br>Madde<br>(mg/L)        | 8.2  | 13.5  | 15.2  | 18.2  | 16.2  | 15.6  | 8.4   | 13.4  | 9.8   | 7.8   |

Yapılan ölçümlere göre Kaş ve Bucak Körfezleri deniz suyu pH parametresi 7,8 ila 8,2 arasında değerler almıştır. Deniz suyu pH değerleri genel olarak 7,5 ile 8,4 değerleri arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Belirlenen noktalara ait çizelgeler incelendiğinde de görülebilmektedir; hemen hemen tüm ölçümlerde yüzeyde okunan pH değerleri 10m derinlikte okunan değerlerden daha düşüktür. Bu durum özellikle Liman girişinde bulunan K4 ile Bucak körfezinde bulunan K8, K9 ve K10 noktalarında belirgindir. Bu durum Liman girişinde ve Bucak körfezinde farklı bir kaynaktan denize su girişi olduğu düşüncesini oluşturmaktadır (Balas ve diğerleri, 2014).

Nitrit konsantrasyonuna bakıldığında Bucak Körfezinin uç kısmında yer alan K8 noktasında, atık su arıtma tesisinin bulunduğu K6 noktasında ve Limanın bulunduğu K4 noktasında, belirlenen diğer noktalara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri olmakla beraber, bu değerler sınır değerlerin oldukça altındadır. Bucak körfezinin açık deniz akıntılarına kısmen kapalı olması ve marinanın deniz trafiği yoğunluğu nedeniyle besin maddelerinin yüksek olması beklenen bir durumdur. Suda yer alan nitratin nedeni, bitki ve hayvan atıklarının parçalanması, gübreler ve atık sularıdır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre nitrat konsantrasyonu da nitrit konsantrasyonuna benzer şekilde Körfez ve marina bölgelerinde daha yüksek konsantrasyona sahiptir. Askıda katı madde konsantrasyonuna bakıldığında Kaş ve Bucak Körfezleri ile atık su deşarj noktasında diğer noktalara göre daha yüksek oranda askıda katı madde tespit edilmiştir. Her ne kadar atık su tesisinde filtreleme ve dinlendirme işlemleri yapılsa bile deşarj edilen atık su bölgenin deniz suyunda bulunan miktardan daha yüksek seviyelerde askıda katı madde içermektedir. Tespit edilen askıda katı madde seviyeleri deniz suyunun kalitesine etki edecek seviyelere ulaşmamaktadır (Balas ve diğerleri, 2014).

#### Mikrobiyolojik ölçümler

Belirlenen ölçüm noktalarında deniz suyu kalitesini ifade eden mikrobiyolojik ölçümler suyu yüzeyinden -0,5 m derinlikten alınan numunelerle laboratuvar ortamında yapılan analizlerle belirlenmiştir. Söz konusu numunelerde 4 farklı mikroorganizma varlığına bakılmıştır. Bunlar;

- Fekal Koliform
- Toplam Koliform

- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Escherichia coli* mikroorganizmalarıdır.

Koliform mikroorganizmalar suyun sıhhi durumunu belirleyen mikroorganizmalardır. Toprak ve bitki atıkları ile sıcakkanlı hayvan dışkılarında bulunmaktadır. Bu tür mikroorganizmalar hızlı çoğalabilen ve su ortamında bulunmaları dışkı kaynaklı zararlı patojenlerin varlığını göstermektedir. Kaş ve Bucak Körfezlerinde belirlenen ölçüm noktalarında yapılan ölçüm sonuçları sırasıyla aşağıda gösterilmektedir (Balas ve diğerleri, 2014).

Yapılan aylık ölçümlere dayanarak sonbahar aylarında suda çok az miktarda koloni ürerken Ocak ve Şubat aylarında tüm noktalarda koliform bakteri üremesi görülmektedir. Ölçülen koliform bakteri değerleri, genel olarak Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği'nin [2006] eki olan Rekreatyon Amacıyla Kullanılan Kıyı ve Geçiş Sularının Sağlaması Gereken Standart Değerler tablosundaki kılavuz değeri (1000CFU/100ml) sağlamaktadır. K4, K8, K9 ve K10 noktalarında Şubat 2014 ölçümlerinde bulunan değerler kılavuz değerinin üstünde olmakla beraber, zorunlu değerden (10.000CFU/100ml) düşüktür (Balas ve diğerleri, 2014). Toplam koliform bakteri ölçümleri Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Toplam koliform bakteri ölçümleri (CFU/100ml) (Balas ve diğerleri, 2014)

| Ölçüm Noktası/<br>Tarih | Eylül.2013 | Ekim.2013 | Kasım.2013 | Aralık. 2013 | Ocak.2014 | Şubat.2014 |
|-------------------------|------------|-----------|------------|--------------|-----------|------------|
| K1                      | 12         | 2         | 10         | 121          | 75        | 242        |
| K2                      | 9          | 4         | 7          | 211          | 383       | 213        |
| K3                      | -          | -         | 3          | 138          | 43        | 144        |
| K4                      | 5          | 1         | 4          | 699          | 161       | 708        |
| K5                      | 37         | 10        | 29         | 500          | 262       | 495        |
| K6                      | 13         | 1         | 10         | 165          | 149       | 170        |
| K7                      | -          | -         | 29         | 136          | 97        | 136        |
| K8                      | -          | -         | 29         | 785          | 48        | 820        |
| K9                      | -          | -         | 30         | 478          | 320       | 591        |
| K10                     | 13         | -         | 11         | 988          | 42        | 1188       |

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi, Kaş Körfezinde toplam koliform bakteri yoğunluğu düşük olarak görülmekte olup, yağışlı aylarda Bucak Körfezinde koliform kirliliği olduğu görülmektedir. Ancak bu kirlilik zorunlu kirlilikten düşük bir seviyededir.

Fekal koliform ölçümlerinde sonbahar aylarında az miktarda üreme olurken Ocak ve Şubat aylarında hemen hemen tüm noktalardaki numunelerde fekal koliform üremesi görülmüştür. Ölçülen fekal koliform bakteri değerleri, sonbahar aylarında Rekreatyon Amacıyla Kullanılan Kıyı ve Geçiş Sularının Sağlaması Gereken Standart Değerler tablosundaki kılavuz değeri (200CFU/100ml) sağlamaktadır. Ancak Ocak ve Şubat ayındaki ölçümlerde hemen hemen kıyıya yakın tüm noktalarda fekal koliform üremesi görülmüştür. Kıyıda bulunan, su alışverişinin daha kuvvetli olduğu, K1 ve K10 noktalarında ölçülen fekal koliform değerleri beklendiği gibi diğerlerinden düşüktür. Fekal koliform bakteri ölçümleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Fekal koliform bakteri ölçümleri (CFU/100ml) (Balas ve diğerleri, 2014)

| Ölçüm Noktası/<br>Tarih | Eylül.2013 |  | Ekim.2013 | Kasım.2013 | Aralık.<br>2013 | Ocak.2014 | Şubat.2014 |
|-------------------------|------------|--|-----------|------------|-----------------|-----------|------------|
| K1                      | 3          |  | -         | 1          | 100             | 26        | 179        |
| K2                      | 2          |  | -         | 2          | 150             | 286       | 154        |
| K3                      | -          |  | -         | 2          | 88              | 16        | 100        |
| K4                      | -          |  | -         | -          | 684             | 142       | 612        |
| K5                      | 19         |  | 10        | 20         | 380             | 140       | 379        |
| K6                      | 2          |  | -         | 2          | 145             | 72        | 147        |
| K7                      | -          |  | -         | 2          | 92              | 62        | 132        |
| K8                      | -          |  | -         | 21         | 314             | 32        | 817        |
| K9                      | -          |  | -         | 23         | 450             | 177       | 570        |
| K10                     | 2          |  | -         | -          | 20              | 17        | 25         |

Fekal koliform K4, K5, K8 ve K9 noktalarında Şubat 2014 ölçümlerinde ölçülen değerler, kılavuz değerinin üstünde belirlenmiştir. Bu nedenle Şubat ayında Bucak Körfezinde ve Liman önünde dışkı kaynaklı kirliliğin bulunduğu göstergesidir (Balas ve diğerleri, 2014).

Çizelge 4.6. *Escherichia coli* bakteri ölçümleri (CFU/100ml) (Balas ve diğerleri, 2014)

| Ölçüm Noktası/<br>Tarih | Eylül.<br>2013 | Ekim.<br>2013 | Kasım.<br>2013 | Aralık.<br>2013 | Ocak.<br>2014 | Şubat.<br>2014 |
|-------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|
| K1                      | -              | -             | -              | -               | 26            | -              |
| K2                      | -              | -             | -              | -               | 286           | -              |
| K3                      | -              | -             | -              | -               | 16            | -              |
| K4                      | -              | -             | -              | -               | 142           | -              |
| K5                      | -              | -             | -              | -               | 140           | -              |
| K6                      | -              | -             | -              | -               | 72            | -              |
| K7                      | -              | -             | -              | -               | 43            | -              |
| K8                      | -              | -             | -              | -               | 21            | -              |
| K9                      | -              | -             | -              | -               | 43            | 160            |
| K10                     | -              | -             | -              | -               | 17            | -              |

Yapılan ölçümlere göre Çizelge 4.6’da gösterildiği üzere *Escherichia Coli* kolonisi üremesi, Ocak ve Şubat aylarında sadece Bucak Körfezine ait numunelerde görülmüştür. *Escherichia coli* ölçümleri de Ocak ve Şubat ayında Bucak körfezinde dışkı kaynaklı kirliliğin bulunduğunu göstermektedir. Toplam koliform ve fekal koliform ölçümlerinde tespit edilen bu durum doğrulanmaktadır. Rekreasyon Amacıyla Kullanılan Kıyı ve Geçiş Sularının Sağlaması Gereken Standart Değerler tablosunda bu bakteri için herhangi bir sınır değeri tanımlanmamıştır (Balas ve diğerleri, 2014).

Fekal koliform ve koliform ölçümlerinden farklı olarak *pseudomonas aeuroginosa* bakterisine Çizelge 4.7’de gösterildiği üzere daha az rastlanılmaktadır.

Çizelge 4.7. *Pseudomonas aeuroginosa* bakteri ölçümleri (CFU/100ml) (Balas ve diğerleri, 2014)

| Ölçüm Noktası/<br>Tarih | Eylül.<br>2013 | Ekim.<br>2013 | Kasım.<br>2013 | Aralık.<br>2013 | Ocak.<br>2014 | Şubat.<br>2014 |
|-------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|
| K1                      | 2              | 1             | -              | -               | -             | -              |
| K2                      | 5              | 10            | 3              | 4               | -             | 2              |
| K3                      | 73             | 21            | 70             | 2               | -             | 2              |
| K4                      | 83             | 10            | 99             | 5               | -             | 4              |
| K5                      | -              | -             | -              | -               | -             | -              |
| K6                      | -              | -             | 1              | 4               | -             | 2              |
| K7                      | 1              | -             | 2              | -               | -             | -              |
| K8                      | -              | -             | 11             | -               | 6             | -              |
| K9                      | -              | -             | 10             | 5               | 8             | 4              |
| K10                     | -              | -             | -              | -               | -             | -              |

*Pseudomonas aeruginosa* bakterisi tehlikeli bir bakteri olarak bilinmekte olup, K8 noktası ve K3 noktasında en fazla görüldüğü yerlerdir. Rekreatyon Amacıyla Kullanılan Kıyı ve Geçiş Sularının Sağlanması Gereken Standart Değerler tablosunda bu bakteri için herhangi bir sınır değeri tanımlanmamıştır (Balas ve diğerleri, 2014).

#### **4.4. Modelleme Çalışması**

Kıyı ekosistemleri lineer olmayan süreçler ve birçok parametreden etkilenmesi nedeniyle son derece karmaşık bir yapıda olup, modellenmesi oldukça güçtür. Günümüzde su kalitesi üzerinde kirleticilerin etkilerinin anlaşılması, su havzalarının yönetimi konusunda karar destek mekanizmalarının oluşturulması amacıyla kullanılan birçok sayısal model vardır. Kirlilik tehdidi altında olan kıyısız su alanlarında gelgit, rüzgar, yoğunluk farklılaştırılması etkenli su çevrintilerinin, bırakılan kirleticilerin taşınım olaylarının modellenmesi ile kıyısız sularda su kirlenmesinin önlenmesi ve su kalitesinin korunması için geliştirilmiş üç boyutlu modelleme çözümü için bölgesel dinamiklere uygun, geliştirilebilir ve kolay uygulanabilir bir model kullanılmalıdır. Bu çalışmada HYDROTAM-3D (üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modeli) kullanılacaktır (HYDROTAM-3D, 2021; Cebe ve Balas, 2018).

##### **4.4.1. Üç boyutlu hidrodinamik taşınım modeli: HYDROTAM- 3D**

Rüzgarların oluşturduğu akıntıların önemli olduğu, yoğunluk dağılımının göz ardı edilemeyeceği kıyısız su alanlarında üç boyutlu modelleri kullanımı kaçınılmazdır. Bu tür akıntılar derinlik boyunca yön değiştirdikleri için, tek veya iki boyutlu modellerin kullanımı ciddi hatalara neden olur. HYDROTAM-3D, 1990 yılından bugüne dek sürekli olarak saha çalışmaları ile doğrulanarak geliştirilmiş sayısal modelleme sistemidir. İlişkisel veri tabanı, Coğrafi Bilgi Sistem entegrasyonu ve görsel "Karar Destek" sistemi içermekte olup web arayüzü sayesinde yaygın bir kullanım imkanına sahiptir. HYDROTAM-3D yazılımı bulut bilişim mimarisini kullanmaktadır. Bulut Bilişim, bilgi teknolojisi kaynaklarına İnternet üzerinden erişim ve paylaşım ortamının tesis edilmesi olarak özetlenebilir. Sistemin kullanıcısının tek ihtiyacı İnternet erişimi ve internet tarayıcısıdır. Kullanıcı önyüzü sadece web tarayıcı üzerinde bulunan model yazılımının kullanıcı veri tanımlamaları ve çıktı analizleri CBS üzerinden yapılmaktadır. Kıyısız alanlarda rüzgâr iklimi, dalga iklimi, akıntı iklimi, tuzluluk, sıcaklık ve kirlilik taşınımı, askıda sediman ve kıyı boyu sediman taşınımı, su kalitesi parametrelerinin gibi kıyısız taşınım olaylarının benzeştirilmesi amacıyla

geliştirilmiş yazılım olan HYDROTAM-3D, aynı zamanda Türkiye'nin ilk kıyı suları bulut bilişim yazılımıdır (HYDROTAM-3D, 2021; Balas ve diğerleri, 2012). Yazılımının başlıca özellikleri şunlardır:

- Üç boyutlu, alansal, derinlik boyunca ve zamansal kapalı (implicit) sayısal çözümleme yapar.
- Tüm değişkenlerin, alana ve zamana göre değişimlerini içerir. Kullanıcının belirttiği herhangi bir zaman dilimi için sonuç üretebilir.
- Bulut bilişim mimarisindedir. Çoklu çekirdek ortamını kullanabildiği için hızlıdır.
- Modelin girdileri ve çıktıları coğrafi bilgi sistem temellidir, kolayca yorumlanabilir, anlaşılabilir özelliktedir.
- Model küresel koordinat sistemini kullanır. Sonlu hacimler ve sonlu farklar metodu ile çözüm oluşturur.
- Model rüzgâr, dalga, yoğunluk farklılaşması kuvvetlerinin etkilerini dikkate alan baroklinik bir modeldir.
- Modele su kaynakları girdileri, havza kökenli yayılı ve noktasal yükler girdi olarak tanımlanabilir.
- Model Türkiye kıyı suları için ilişkisel veri tabanına sahiptir. Veri tabanında tüm Türkiye kıyılarının batimetrikleri, Türkiye Kıyıları Meteoroloji İstasyonları'nın kuruluşlarından bu yana saatlik rüzgâr verileri, ölçümlenen tüm fizikokimyasal veriler yer almaktadır. Veri tabanı her türlü veri girişinin, kullanıcı tarafından kolaylıkla yapılmasına izin verecek şekilde yapılandırılmıştır. Ayrıca, veri tabanında tüm Türkiye'yi kapsayan 0,1° aralıklı yatay çözüm ağı için ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecast)'in sayısal meteorolojik modeliyle üretilen her altı saatlik 2000-2019 yılları arası analiz rüzgârları ve yine 0,1° aralıklı yatay çözüm ağında tüm Türkiye kıyılarını kapsayan ECMWF üçüncü kuşak dalga modeli olan WAM dalga tahmin modeliyle elde edilen altışar saatlik 2000-2019 yılları arası dalga yükseklikleri ve dalga periyotları bulunmaktadır.
- Model çözümleme alanı CBS ortamında kullanıcı tarafından kolaylıkla oluşturulabilmektedir. Seçilen çözümleme alanında bulunan tüm veri kaynaklarının yerleri CBS ortamında gösterilmekte, istenilen kaynak verisini seçebilme olanağı tanınmaktadır.

- Veri tabanından seçilen ya da kullanıcı tarafından tanımlanan verilere dayalı olarak, çalışma alanının rüzgâr iklimi hesaplanmaktadır. Uzun dönem ve en yüksek değer, yönsel rüzgâr istatistikleri yapılmakta, yıllık ve mevsimsel rüzgâr gülleri hazırlanmaktadır (rüzgâr iklimi alt modeli).
- Veri tabanından seçilen ya da kullanıcı tarafından tanımlanan verilere dayalı olarak, derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve belirgin dalga dönemleri, uzun dönem dalga istatistiği ve en yüksek değer dalga istatistiği kullanarak hesaplanmaktadır. Yıllık ve mevsimsel dalga gülleri hazırlanmaktadır (dalga iklimi alt modeli).
- Yumuşak eğim eşitlikleri çözümlere, açık denizde tahmin edilen dalga yükseklikleri, batimetri ve topoğrafya etkisinde kıyısız alanlara taşınmaktadır. Dalga ilerlemesinde, sığlaşma, sapma, dönme, sürtünme, kırılma ve dalga kabarması etkileri hesaplanmaktadır. Alansal ya da noktasal olarak dalga yükseklerinin dağılım haritalarına ya da zamansal değişim grafiklerine erişilebilmektedir. (dalga ilerlemesi alt modeli).
- Rüzgâr, dalga, gelgit ya da yoğunluk farklılaşması etkenli akıntılar, su düzeyi değişimleri ve rüzgâr kabarması, 3-boyutlu Navier-Stokes denklemleri çözümlenerek benzeştirilmektedir. Akıntı modellemesinde üç boyutlu  $k-\epsilon$  türbülans modeli ya da karışım uzunluğu modeli kullanılabilmektedir (TÜRBÜLANS ALT MODELİ). Su tuzluluk ve sıcaklıklarının dağılım ve yayılımı yine üç boyutlu ilerlemeli dağılım (adveksiyon-difüzyon) denklemlerinin çözümüyle benzeştirilmekte ve su yoğunluğu su tuzluluğunun, sıcaklığının ve basıncın bir fonksiyonu olarak uzaysal ve zamansal değişkenlikle hesaplanmaktadır. Seçilen çalışma alanındaki akıntı gülleri oluşturulabilmekte, derinlik boyunca, alansal ya da zamansal akıntı değişim grafikleri, katmansal akıntı düzeni animasyonları hazırlanmaktadır (hidrodinamik alt modeli).
- Korunan ya da korunmayan bir kirleticinin (bakteri, tuzlu su ve/veya sıcak su) kıyısız su ortamına karışması durumunda, alansal ve zamansal yayılım ve dağılımı üç boyutlu olarak çözümlenmektedir. Deniz deşarjlarında yakın alan ve uzak alan dağılımları benzeştirilmektedir (kirletici taşınım alt modeli).
- Model akıntılar ile askıda madde taşınımını ve kırılan dalgalar etkisiyle kıyı boyu sediman taşınımını içerir (askıda ve kıyı boyu sediman taşınım modeli).
- Model azot, fosfor ve oksijen biyokimyasal döngülerini oluşturan tüm süreçleri ve birbirleri ile olan ilişkilerini çözümlemektedir. Fitoplankton, zooplankton, bakteri, amonyum, nitrit, nitrat, partikül organik azot, korunumlu ve korunumsuz çözünmüş organik azot, inorganik forfor, partikül organik fosfor, korunumlu ve korunumsuz

çözünmüş organik fosfor ve oksijen konsantrasyonlarının uzaysal ve zamansal değişimleri benzeştirilmektedir (su kalitesi alt modeli).

- Modellemeye ilişkin tüm çıktılar alansal, derinlik boyunca ve zamansal grafikler ve animasyonlar olarak CBS üzerinden sunulabilmektedir. Veri tabanında çalışma alanına ait ölçümleme sonuçları var ise model sonuçları ve ölçümleme sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.
- Model kıyısal su alanlarına, haliç, lagün ve göl ortamlarına uygulanabilir.

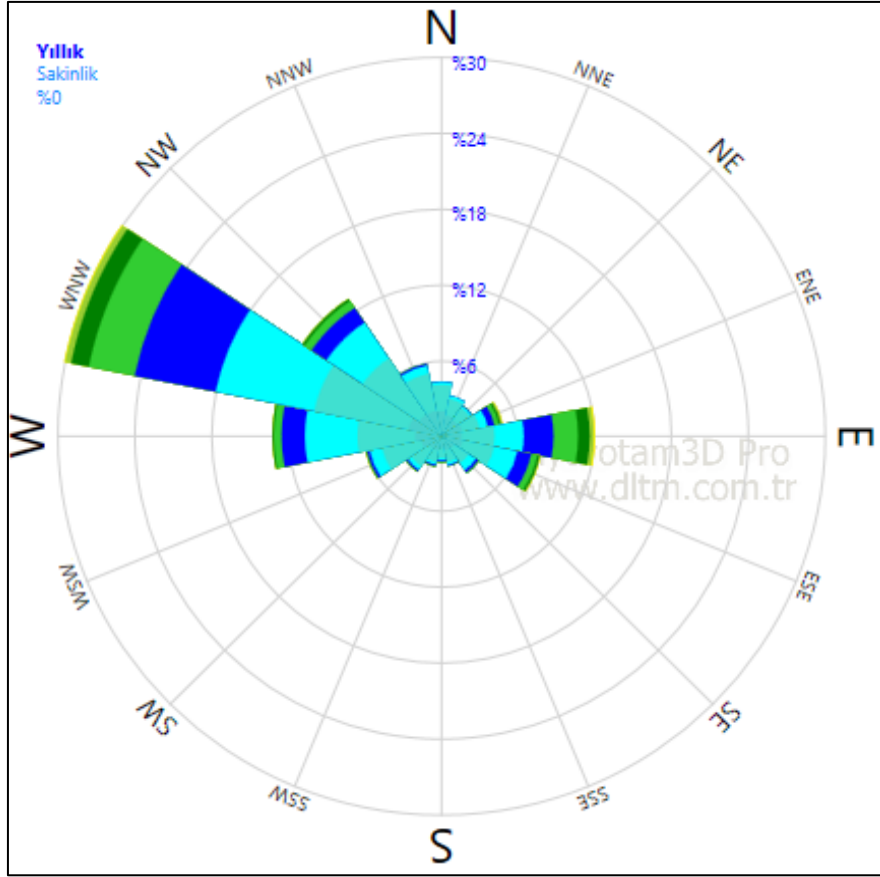
Çalışma kapsamında rüzgar, dalga, akıntı ve kirletici dağılımı alt modelleri ile modelle çalışmaları yürütülmüştür.

#### **4.4.2. Modelleme çalışması ile dalga rüzgar akıntı ve kirletici dağılımının ikliminin belirlenmesi**

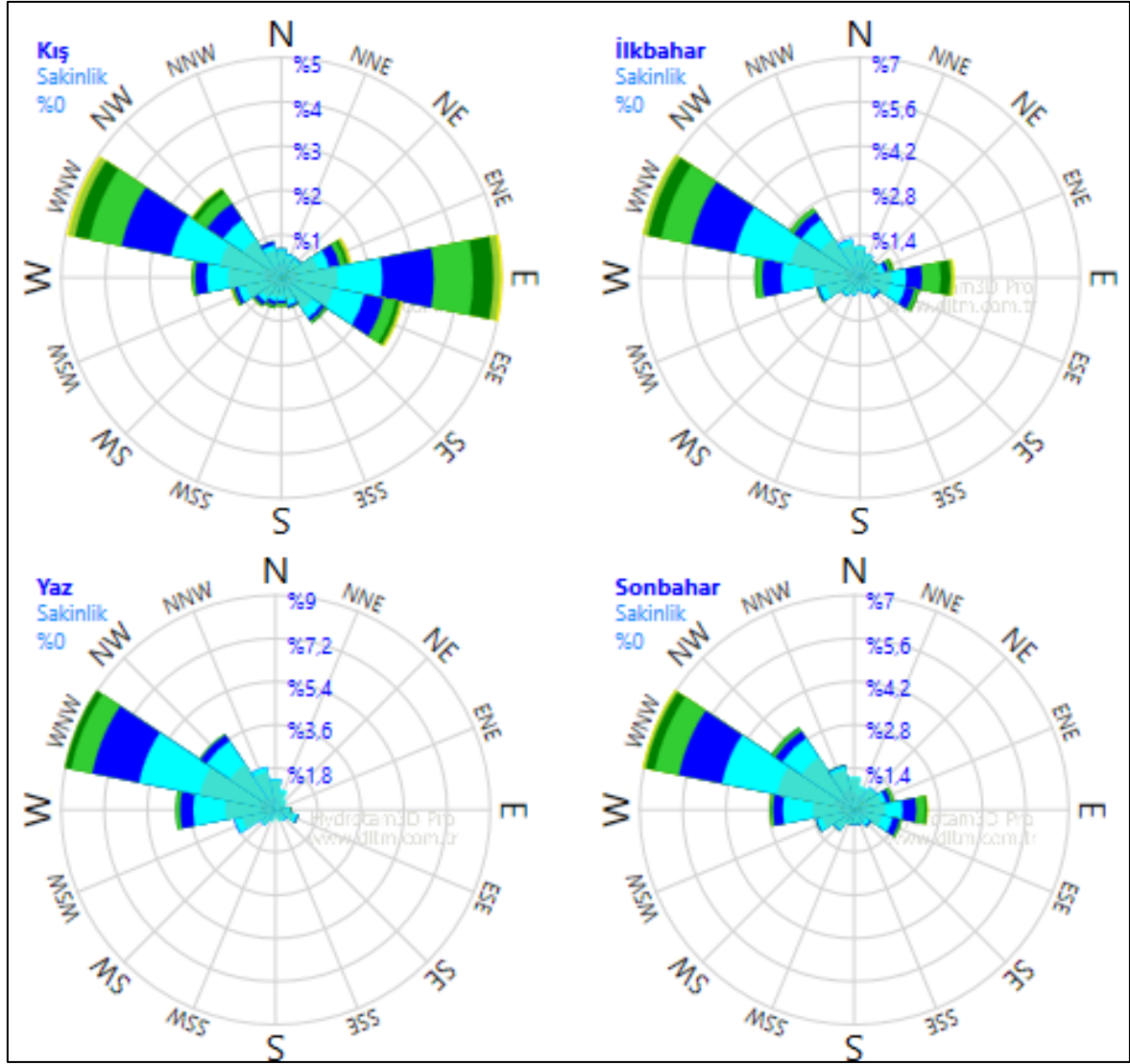
Çalışma sahasının mevcut konumu çalışma kapsamında daha önce verilmiştir. Bu kapsamda çalışma sahasında akıntı, rüzgar ve dalga iklimi ile kirletici dağılımı modeli HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik taşınım modeli ile modellenerek incelenmiştir.

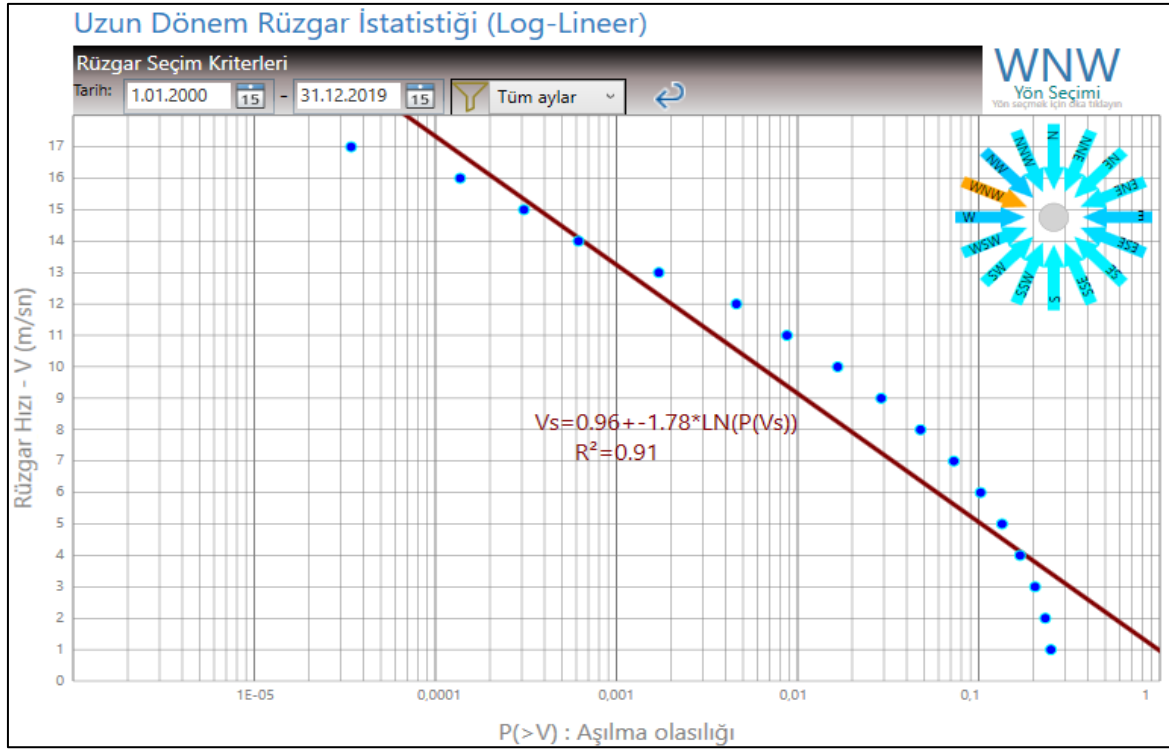
##### Rüzgar iklimi

HYDROTAM-3D kullanılarak yapılan rüzgar iklimi uzun dönem istatistik çalışmasında, ECMWF operasyonel arşivinin 36,1°N enlem ve 29,5°E boylam deniz üzeri koordinatına ait altışar saatlik rüzgar tahminlerinin, 2000-2019 yılları arası kesintisiz zaman serisi analiz edilmiştir (Aydoğan, 2019). Rüzgar hızlarının yönler göre oluşum sayıları belirlenerek yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri oluşturulmuş, sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da sunulmuştur.

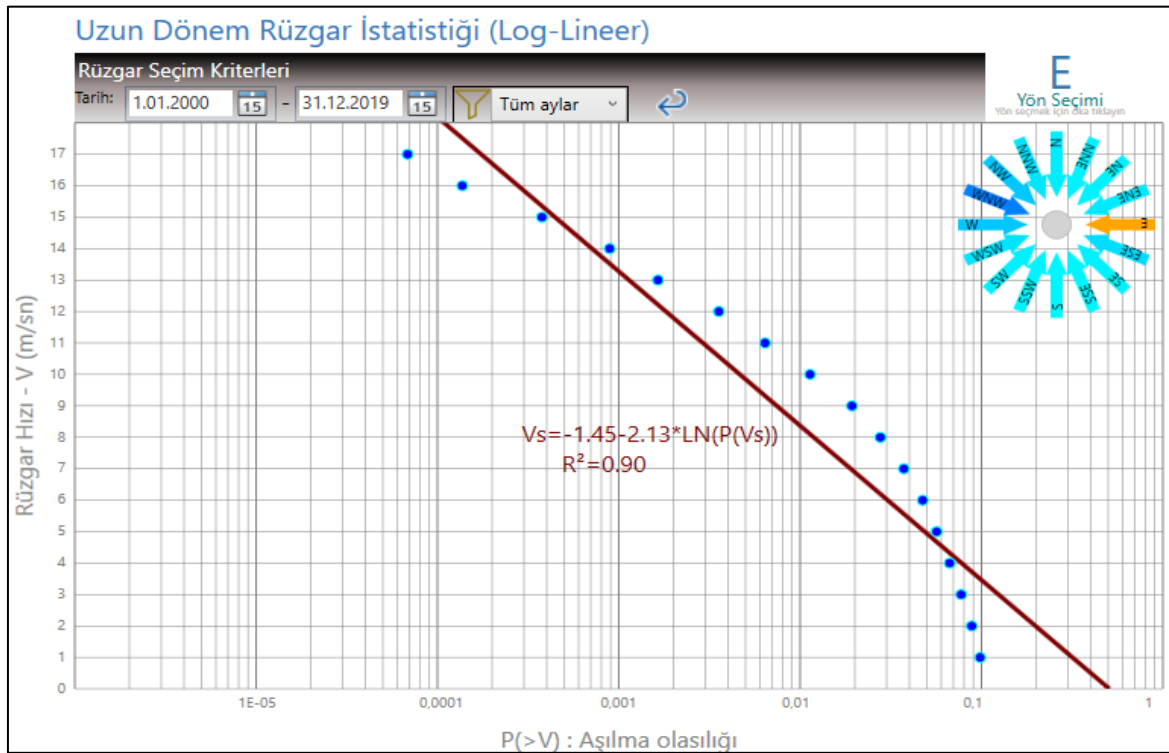


Şekil 4.8. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi yıllık rüzgar gülü (HYDROTAM-3D, 2021)





Şekil 4.10. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi Batı Kuzey Batı (WNW) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)

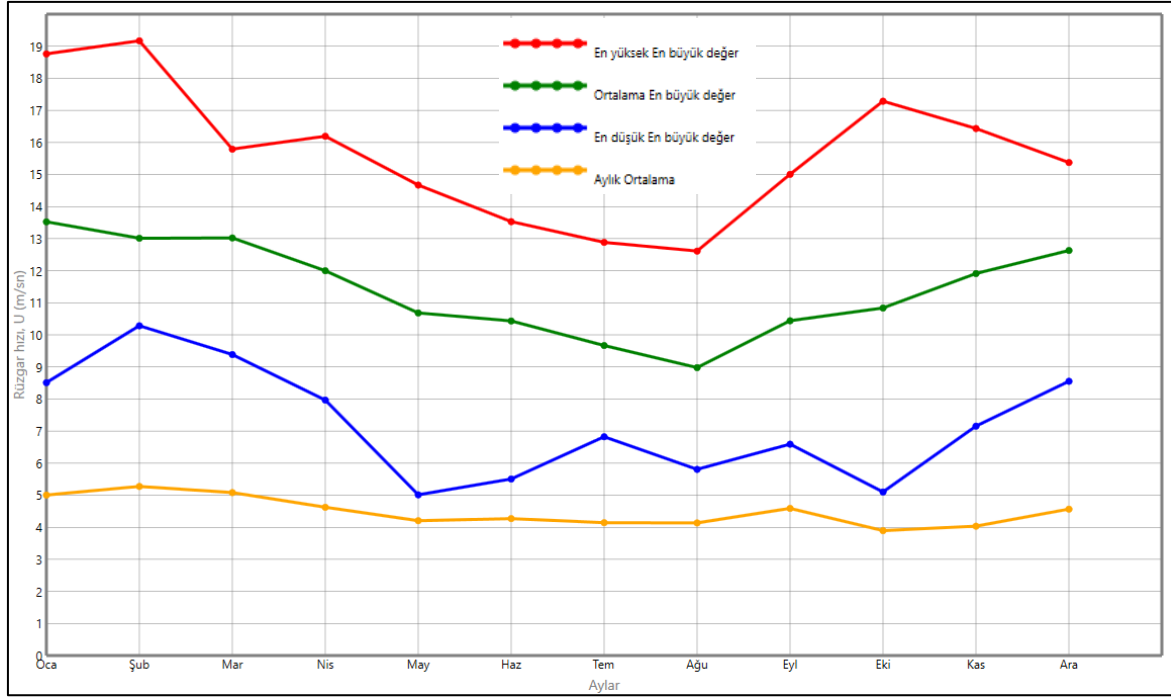


Şekil 4.11. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi Doğu (E) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)

Çizelge 4.8. ECMWF Operasyonel Arşiv 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi tüm mevsimlere göre uzun dönem rüzgar istatistikleri (HYDROTAM-3D, 2021)

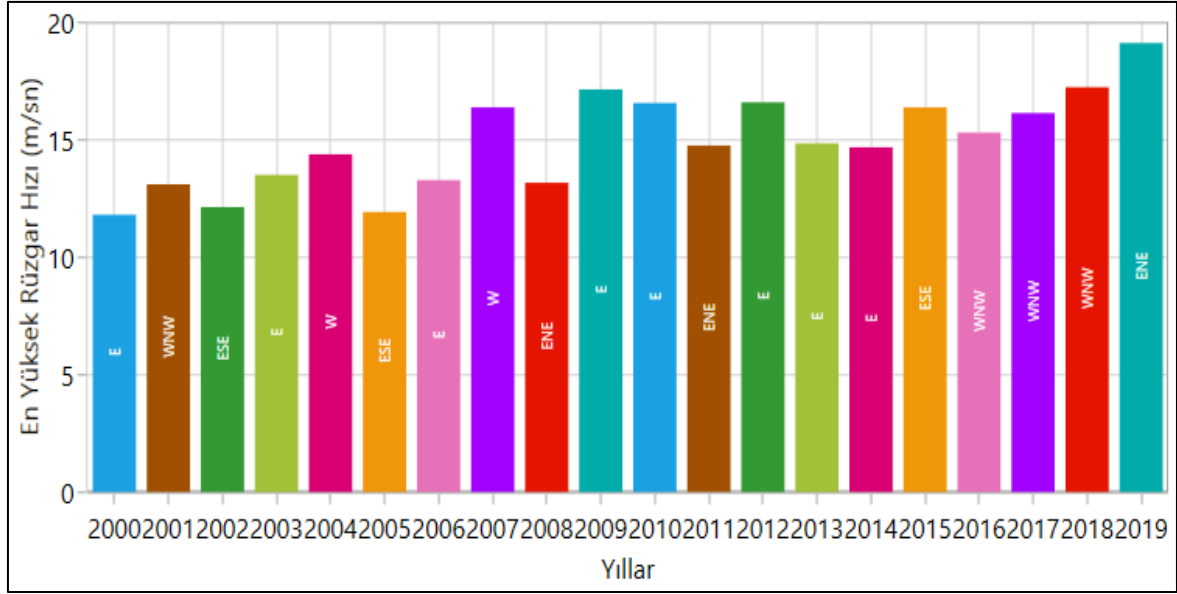
|             | Maksimum<br>Hız | Ortalama<br>Hız | 0-4<br>m/sn | 4-8<br>m/sn | 8-12<br>m/sn | 12-16<br>m/sn | 16-20<br>m/sn |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| Yönler      | (m/sn)          | (m/sn)          | (saat)      | (saat)      | (saat)       | (saat)        | (saat)        |
| N           | 9.66            | 2.23            | 6048        | 420         | 18           |               |               |
| NNE         | 8.48            | 2.16            | 4506        | 408         | 6            |               |               |
| NE          | 10.61           | 2.15            | 4032        | 324         | 30           |               |               |
| ENE         | 19.17           | 4.05            | 4542        | 1746        | 768          | 216           | 12            |
| E           | 17.26           | 5.82            | 6174        | 6846        | 4224         | 600           | 24            |
| ESE         | 17.66           | 4.26            | 6264        | 4362        | 1008         | 114           | 18            |
| SE          | 11.92           | 3.18            | 3822        | 1302        | 180          |               |               |
| SSE         | 13.65           | 2.57            | 3114        | 480         | 54           | 18            |               |
| S           | 12.47           | 2.70            | 2616        | 372         | 126          | 12            |               |
| SSW         | 12.56           | 2.67            | 3120        | 462         | 132          | 12            |               |
| SW          | 14.69           | 2.80            | 4266        | 690         | 132          | 6             |               |
| WSW         | 18.76           | 3.10            | 7044        | 1770        | 156          | 48            | 6             |
| W           | 16.44           | 4.22            | 9768        | 8826        | 1044         | 18            | 6             |
| WNW         | 17.29           | 5.50            | 15090       | 21276       | 7554         | 780           | 24            |
| NW          | 14.13           | 4.05            | 11046       | 7134        | 1260         | 66            |               |
| NNW         | 10.29           | 2.68            | 7542        | 1182        | 54           |               |               |
| Kümüle<br>% |                 |                 | %56         | %89         | %99          | %100          | %100          |

Batı Kuzey Batı (WNW) yönüne ait uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği incelendiğinde 17 m/sn'den daha yüksek hızlara esen rüzgarların oluşma sıklığının 1 saat/yıl olduğu görülmektedir. 8 m/sn ve üzeri rüzgarların oluşma sıklığı %11 olup, birincil hakim rüzgar yönü WNW için ortalama rüzgar hızı 5,5 m/sn ve maksimum rüzgar hızı 17,3 m/sn; ikincil E yönü için ortalama rüzgar hızı 5,82 m/sn ve maksimum rüzgar hızı 16,4 m/sn olarak tahmin edilmektedir. Aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



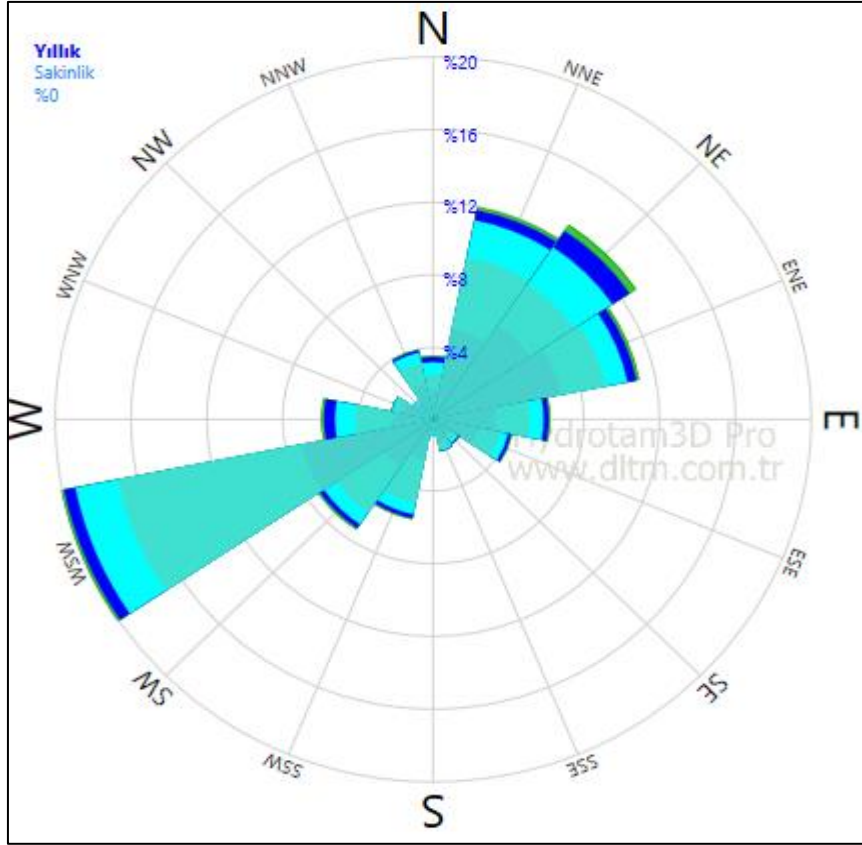
Şekil 4.12. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları (HYDROTAM-3D, 2021)

Aylık ortalama rüzgar hızları 4-5 m/sn arasında değişim gösterirken, ve en büyük değer (ekstrem) ortalama rüzgar hızları 9-14 m/sn, en büyük değer en yüksek rüzgar hızları ise 13-19 m/sn aralığında değişmektedir. Kış ve bahar aylarında rüzgar hızları, yaz aylarına göre daha yüksektir. Yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri Şekil 4.13'te sunulmaktadır. 2009 senesinden sonra en yüksek rüzgar hızlarında artış görülmekte olup, 2000-2019 dönemi en yüksek değer rüzgar hızının ENE yönünden 19,2 m/sn olarak tahmin edilmiştir.

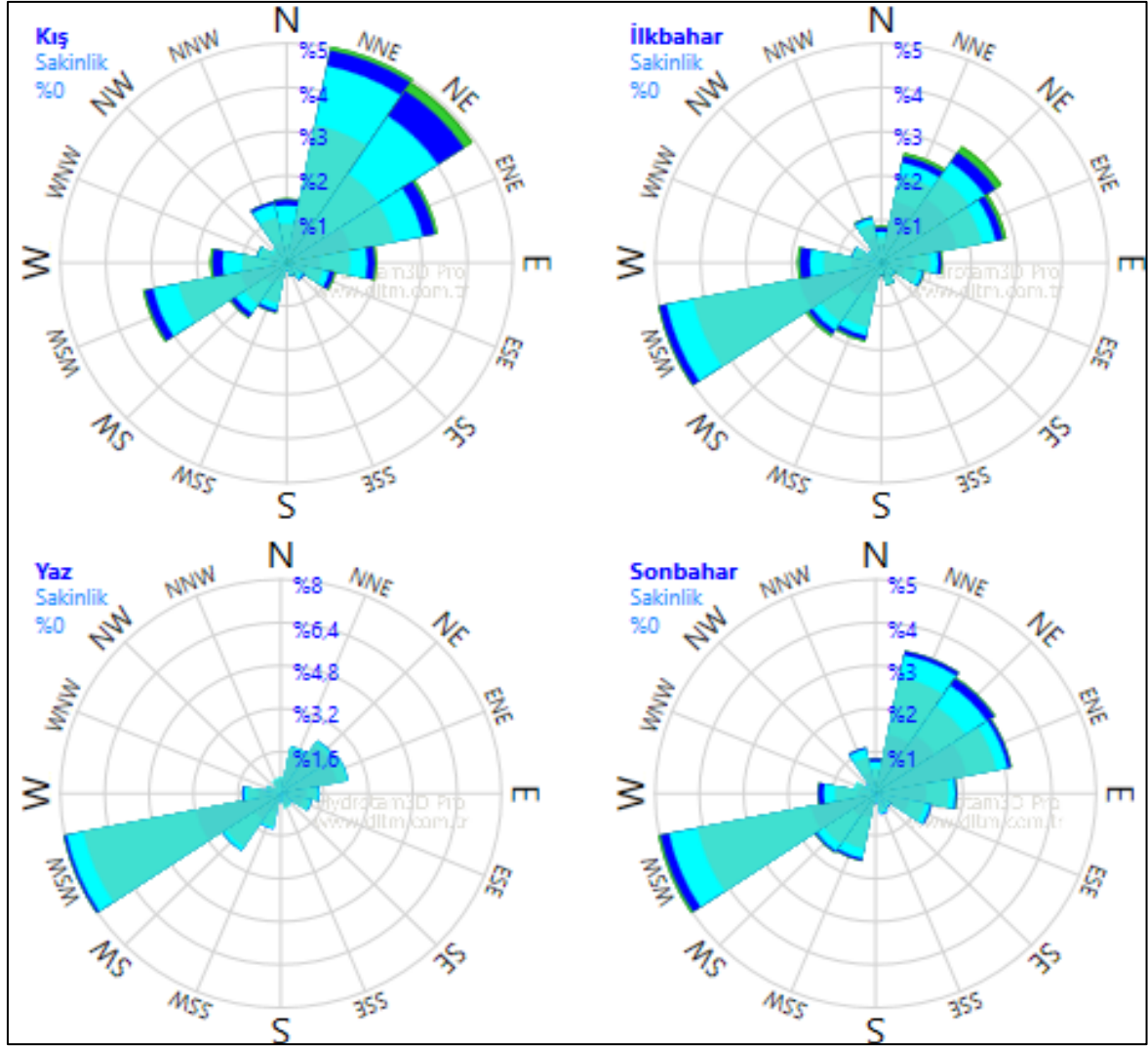


Şekil 4.13. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri (HYDROTAM-3D,2021)

HYDROTAM-3D sayısal modeli kullanılarak, Kaş Meteoroloji İstasyonunda 2000-2019 dönemine ait saatlik rüzgar ölçümlerinin kesintisiz zaman serisi kullanılarak da kara üzeri rüzgar iklimi uzun dönem istatistik çalışması yapılmıştır. Kara üzeri rüzgar hızlarının yönlerine göre oluşum sayıları belirlenerek yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri oluşturulmuş, sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te sunulmuştur.

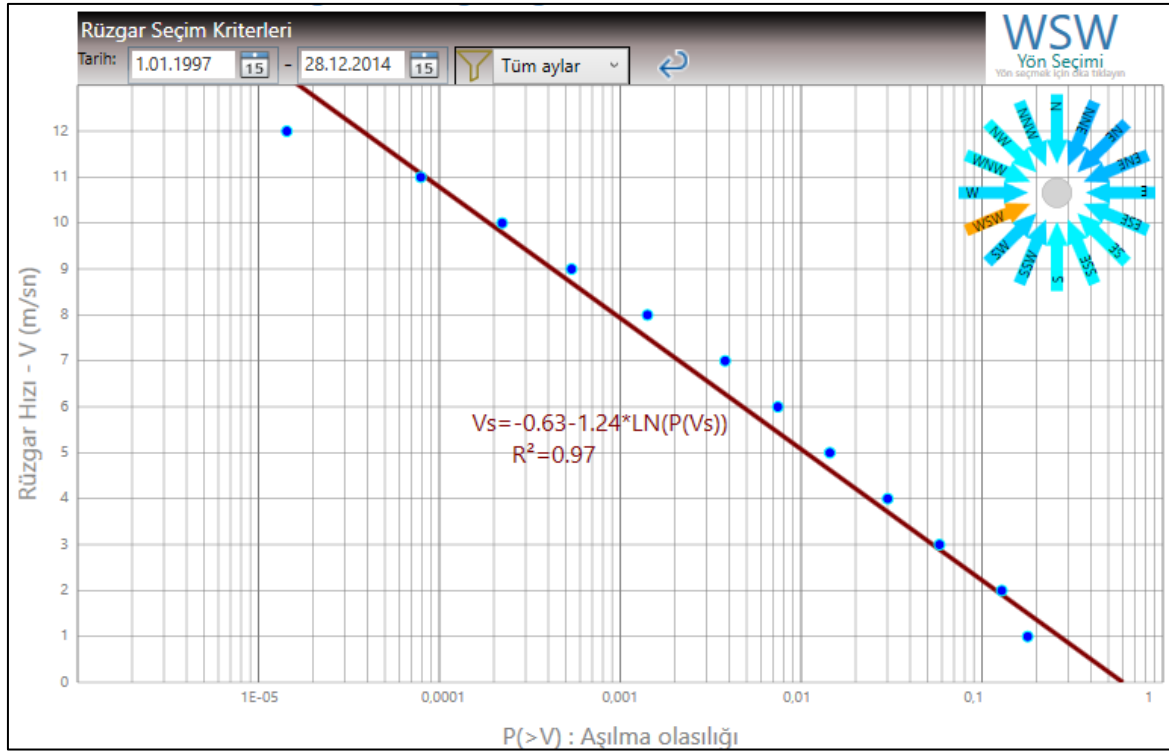


Şekil 4.14. Kara üzeri Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi yıllık rüzgar gülü (HYDROTAM-3D,2021)

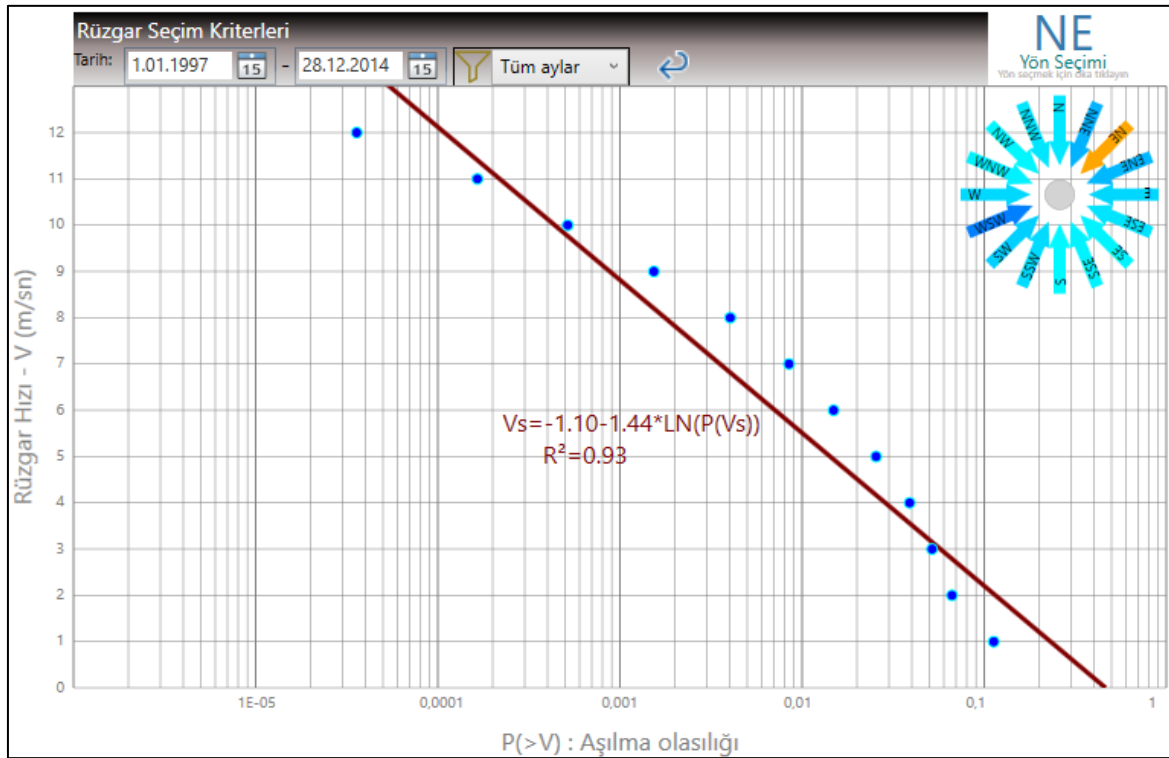


Şekil 4.15. Kara üzeri Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi mevsimlik rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2021)

Yıllık rüzgar gülüne bakıldığında deniz yönünden birincil hakim rüzgar yön aralığının Batı Güney Batı (WSW), kara yönünden ikincil yön aralığının ise Kuzey Kuzey Doğu (NNE)-Doğu Kuzey Doğu (ENE) olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde ise Kuzey Doğulu yönlerden esen rüzgarların sıklığında artış oluşmaktadır. Batı Güney Batı (WSW) ve Kuzey Doğu (NE) yönlerine göre uzun dönem log-lineer rüzgar istatistikleri sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Tüm mevsimlere göre rüzgar istatistikleri ise Çizelge 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.16. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi Batı Güney Batı (WSW) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)

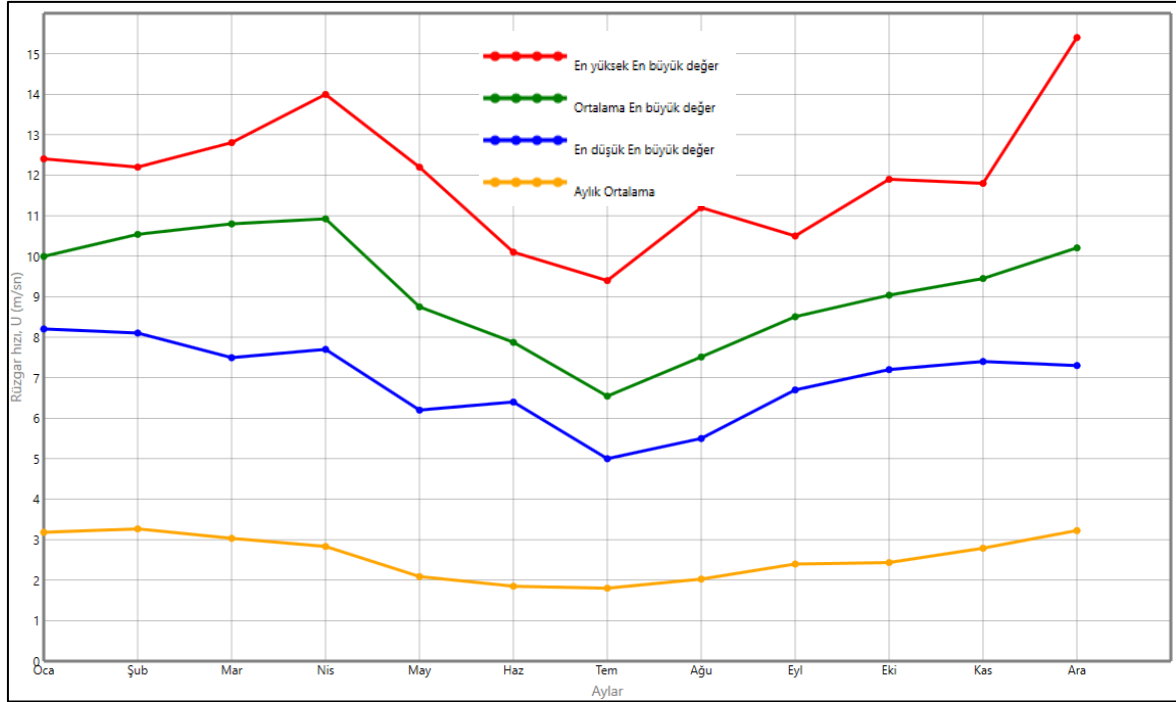


Şekil 4.17. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi Kuzey Doğu (NE) yönü için uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)

Çizelge 4.9. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi tüm mevsimlere göre uzun dönem rüzgar istatistikleri (HYDROTAM-3D, 2021)

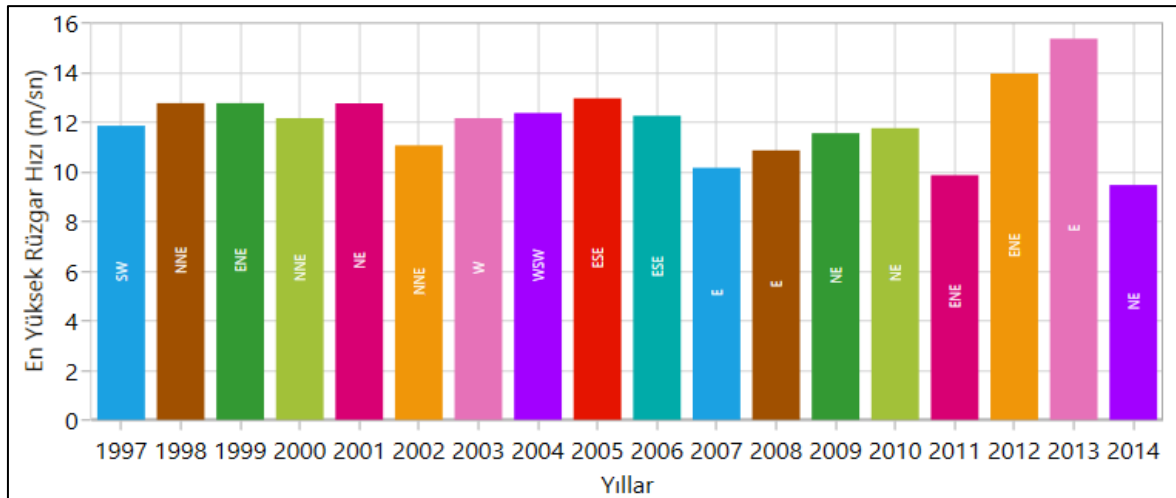
|            | Maksimum<br>Hız | Ortalama<br>Hız | 0-4<br>m/sn | 4-8<br>m/sn | 8-12<br>m/sn | 12-16<br>m/sn |
|------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Yönler     | (m/sn)          | (m/sn)          | (saat)      | (saat)      | (saat)       | (saat)        |
| N          | 11.70           | 2.83            | 3466        | 1298        | 118          |               |
| NNE        | 12.80           | 2.75            | 12640       | 3631        | 244          | 4             |
| NE         | 12.80           | 2.99            | 12427       | 4868        | 557          | 5             |
| ENE        | 14.00           | 2.29            | 12884       | 2288        | 222          | 2             |
| E          | 15.40           | 2.41            | 7072        | 1380        | 104          | 2             |
| ESE        | 13.00           | 2.21            | 5027        | 801         | 67           | 2             |
| SE         | 10.30           | 1.98            | 2079        | 251         | 15           |               |
| SSE        | 11.30           | 1.66            | 2328        | 157         | 19           |               |
| S          | 10.50           | 2.08            | 1176        | 121         | 13           |               |
| SSW        | 10.80           | 2.58            | 6532        | 1155        | 104          |               |
| SW         | 11.89           | 2.61            | 8542        | 1441        | 152          |               |
| WSW        | 12.41           | 2.63            | 23524       | 4000        | 195          | 2             |
| W          | 12.20           | 3.13            | 5721        | 2272        | 190          | 1             |
| WNW        | 10.60           | 1.60            | 2971        | 147         | 19           |               |
| NW         | 7.10            | 1.43            | 1755        | 72          |              |               |
| NNW        | 10.30           | 2.42            | 4373        | 1017        | 44           |               |
| Kümüle (%) |                 |                 | %81         | %99         | %100         | %100          |

Batı Güney Batı (WSW) yönüne ait uzun dönem log-lineer rüzgar istatistiği incelendiğinde 11 m/sn'den daha yüksek hızlara esen rüzgarların oluşma sıklığının 1 saat/yıl olduğu görülmektedir. 8 m/sn ve üzeri rüzgarların oluşma sıklığı %1 olup, birincil hakim rüzgar yönü NE için ortalama rüzgar hızı 2,6 m/sn ve maksimum rüzgar hızı 12,4 m/sn; ikincil NNE-ENE aralığı için ortalama rüzgar hızı 3,0 m/sn ve maksimum rüzgar hızı 14,0 m/sn olarak ölçümlenmiştir. Aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



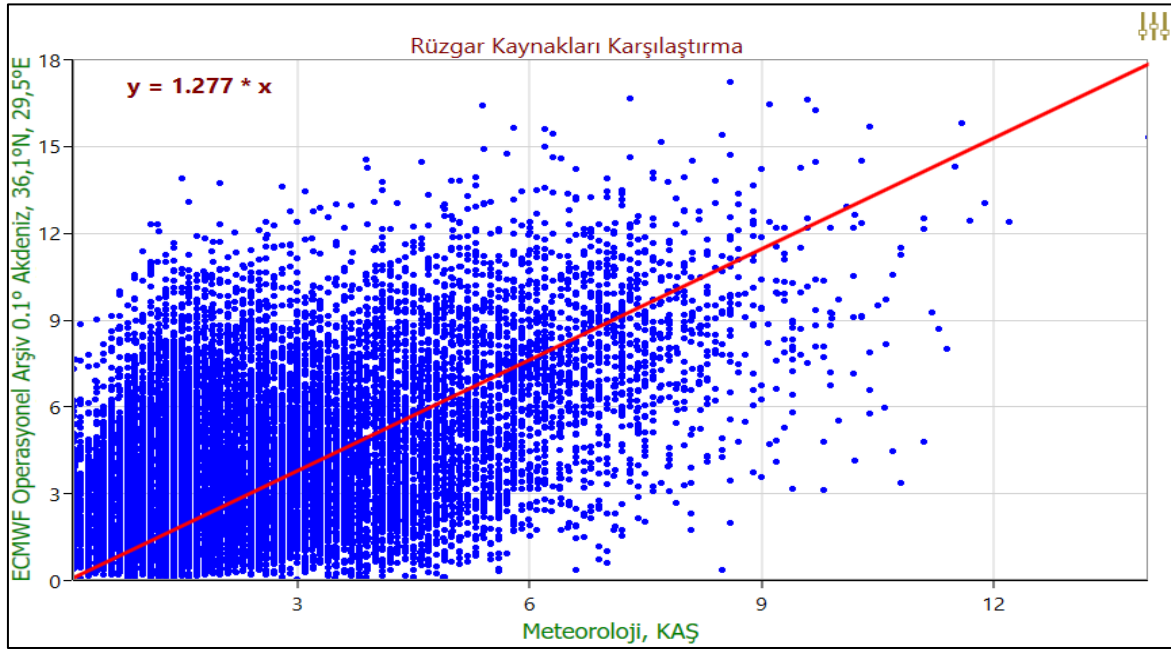
Şekil 4.18. Kaş Meteoroloji İstasyonu 2000-2019 dönemi aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları (HYDROTAM-3D, 2021)

Aylık ortalama rüzgar hızları 2-3 m/sn arasında değişim gösterirken, en büyük değer (ekstrem) ortalama rüzgar hızları 6,5-11 m/sn, en büyük değer en yüksek rüzgar hızları ise 9,5-15,5 m/sn aralığında değişmektedir. En düşük rüzgar hızları yaz aylarındadır. Yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri Şekil 4.19’da sunulmaktadır. 1997-2014 dönemi en yüksek değer rüzgar hızının E yönünden 15,4 m/sn olarak ölçümlenmiştir.



Şekil 4.19. Kaş Meteoroloji İstasyonu 1997-2014 dönemi yıllara göre en yüksek rüzgâr hızları ve esme yönleri (HYDROTAM-3D,2021)

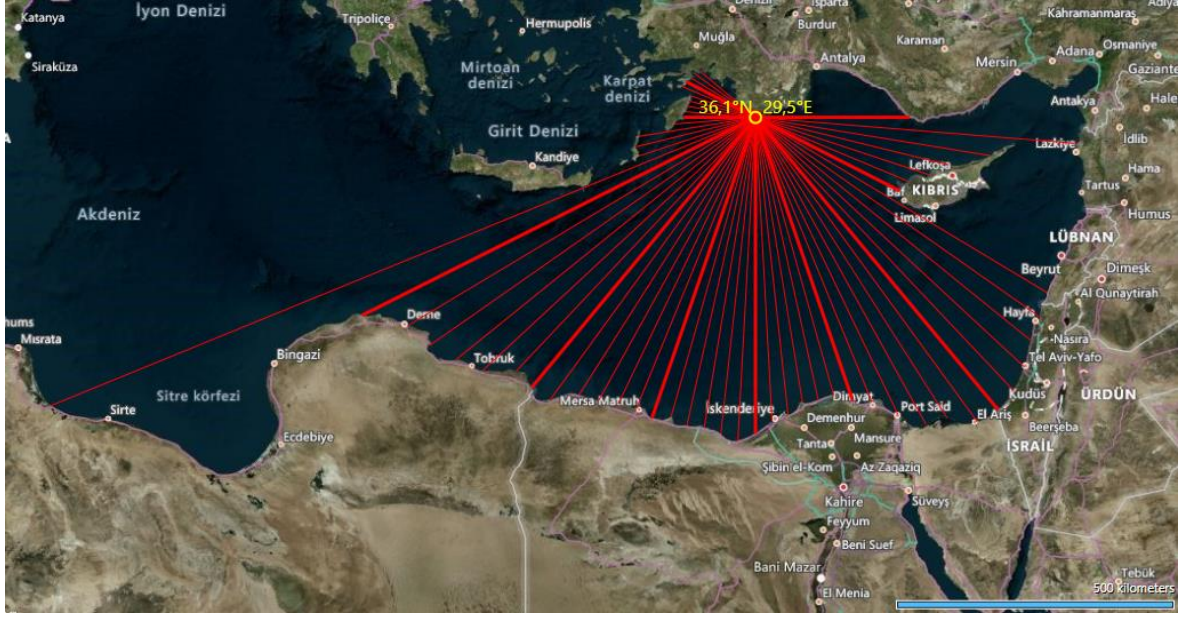
Kara üzeri Kaş Meteoroloji İstasyonu rüzgar ölçümleri ile ECMWF deniz üzeri 36,1°N-29,5°E koordinatı rüzgar tahminleri 2000-2014 ortak dönemi için birbiri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.20). Karşılaştırma kara üzeri rüzgar ölçümlerinin beklendiği gibi deniz üzeri rüzgar tahminlerinden yaklaşık 1,28 kat daha az olduğunu göstermiştir. Bu oran literatürde verilen 1,1-2,2 aralığındadır (SPM,1984; Baas ve diğerleri, 2016) deniz üzeri rüzgar hızı/kara üzeri rüzgar hızı oranı ile uyumludur. Ölçümler rüzgar tahminlerini desteklemektedir.



Şekil 4.20. Kaş Meteoroloji İstasyonu kara üzeri rüzgar ölçümleri ile ECMWF deniz üzeri 36,1°N-29,5°E koordinatı rüzgar tahminlerinin 2000-2014 ortak dönemi için karşılaştırması (HYDROTAM-3D, 2021)

### Dalga iklimi

HYDROTAM-3D üç boyutlu kıyısal modeli kullanılarak yürütülen dalga iklimi analizinde, ECMWF operasyonel arşivinde yer alan WAM üçüncü kuşak sayısal dalga modelinin, 36,1°N-29,5°E koordinatı için 2000-2019 dönemine ait kesintisiz dalga tahminlerinin zaman serisi kullanılmıştır. Kaş ve Bucak Körfezi Kuzeyli yönlerden dalga ilerlemesine karşı korunaklı olup, konum olarak en çok, saat yönünde Doğu(E)-Batı(W) arasındaki güneyli yönlerden yaklaşacak dalgaların etkisine maruzdur. Kaş Körfezi açık deniz noktası 36,1°N-29,5°E koordinatı için etkin dalga kabarma mesafeleri Şekil 4.21’de verilmiş ve Çizelge 4.10’da özetlenmiştir.

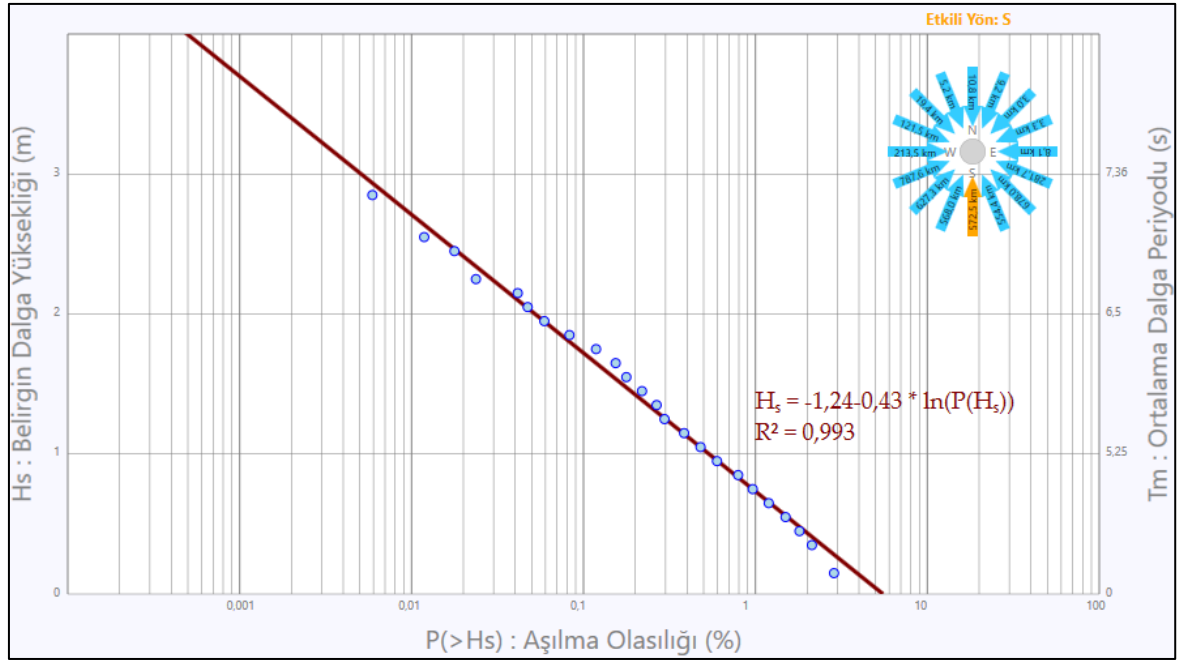


Şekil 4.21. Kaş Körfezi için yönler göre dalga kabarma mesafeleri (“Feç”) (HYDROTAM-3D, 2021)

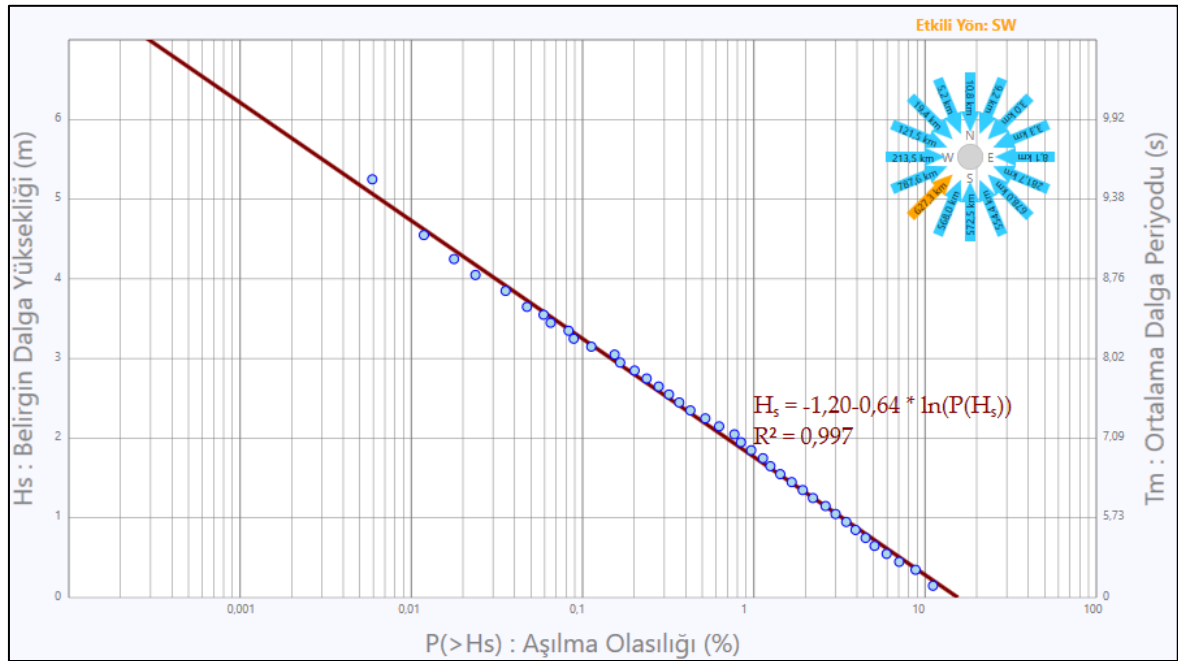
Çizelge 4.10. Etkin dalga kabarma mesafeleri (“Feç”) (m)(HYDROTAM-3D,2021)

| Yön                 | Mesafe (m) | Yön                   | Mesafe (m) |
|---------------------|------------|-----------------------|------------|
| Doğu (E)            | 234384,68  | GüneyGüneyBatı(SSW)   | 566807,10  |
| DoğuGüneyDoğu(ESE)  | 441955,64  | GüneyBatı(SW)         | 627654,60  |
| GüneyDoğu(SE)       | 655059,59  | BatıGüneyBatı(WSW)    | 673121,76  |
| GüneyGüneyDoğu(SSE) | 550718,82  | Batı (W)              | 149281,13  |
| Güney (S)           | 554792,45  | Batı Kuzey Batı (WNW) | 127986,90  |

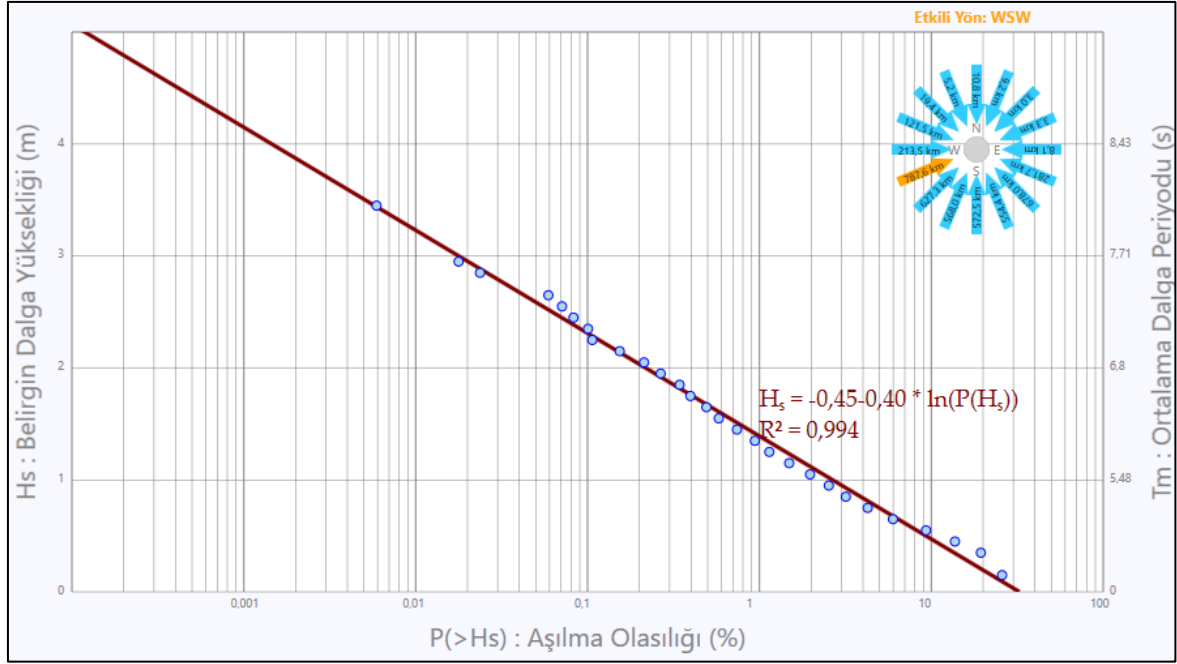
En etkili dalga kabarma mesafeleri Güney Doğu (SE) -BatıGüneyBatı (WSW) yön aralığıdır. Güney ve BatıGüneyBatı yönleri için uzun dönem dalga istatistikleri Şekil 4.22- 4.23’te gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Güney (S) yönü için ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)



Şekil 4.23. Güney Batı (SW) yönü için ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)



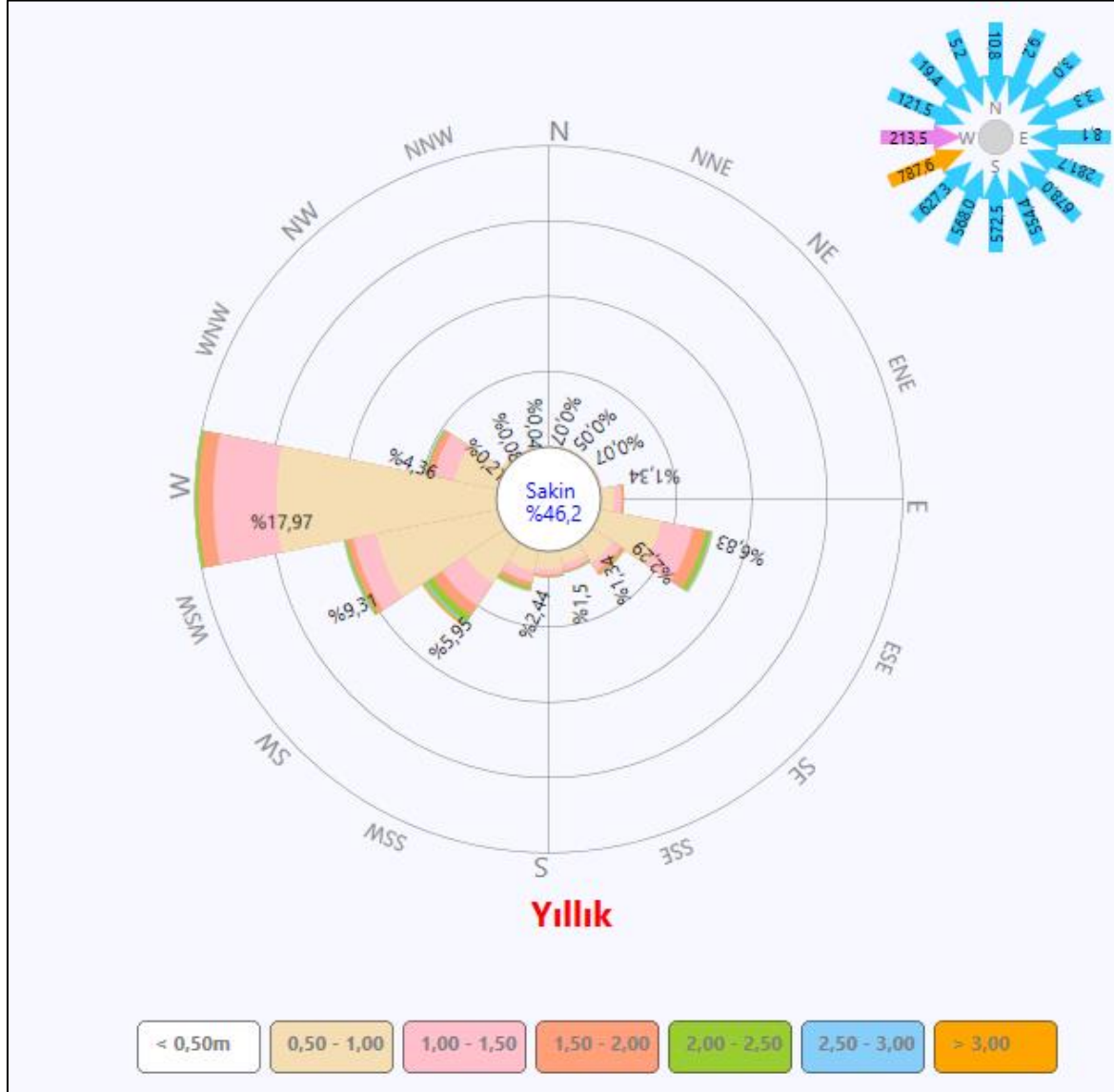
Şekil 4.24. Batı Güney Batı (WSW) yönü için ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 uzun dönem belirgin dalga istatistiği (HYDROTAM-3D, 2021)

Uzun dönem belirgin dalga istatistikleri incelendiğinde, yılda 1 saat aşılma süresine sahip olarak, Batı yönünden belirgin dalga yüksekliği 3,2 m ve ortalama periyodu 6,7 sn dalgalar, Güney Batı yönünden belirgin dalga yüksekliği 4,6 m ve ortalama periyodu 9,2 sn ve Güney yönünden ise belirgin dalga yüksekliği 2,7 m ve ortalama periyodu 7,1 sn olan dalgalar yaklaşması beklenmektedir. Elli yılda bir kez yinelenme süresine sahip belirgin dalga yüksekliği 6,3 m ve ortalama periyodu 10 sn olarak tahmin edilmiştir.

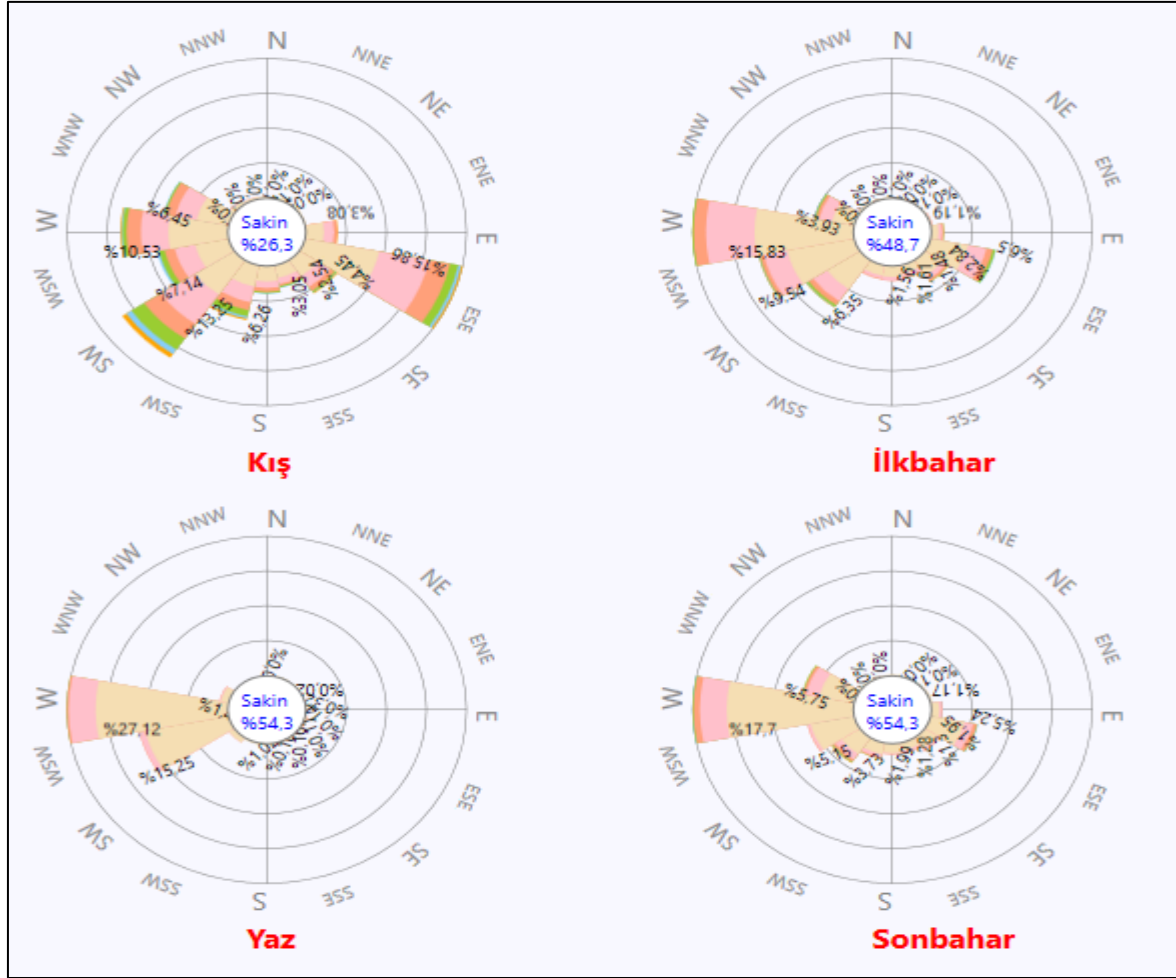
Kaş Körfezi kıyısız alanında beklenen yıllık ve mevsimlik dalga gülleri Şekil 4.25 ve 4.26'da gösterilmektedir. Dalga güllerinde sakin deniz durumu olarak belirgin dalga yüksekliklerinin 0,5 m'den az olması gözetilmiştir. Yıllık dalga gülleri incelendiğinde, açık denizden hakim dalga ilerleme yön aralığının Güney Batı (SW) – Batı (W) aralığı olduğu görülmektedir. Yıllık olarak deniz durumunun sakin olma yüzdesi %46,2 olup, bu durum kış mevsiminde %26,3'e azalmaktadır. Kış mevsiminde Doğu Güney Doğu (ESE) yönünden de %15,9 oluşma olasılıklı dalgaların ilerlemesi beklenmektedir.

Aylık ortalama ve ekstrem değer dalga yükseklikleri Şekil 4.27'de gösterilmektedir. Aylık ortalama belirgin dalga yükseklikleri 0,5-1,0 m arasında beklenmektedir. En büyük değer (ekstrem) dalga istatistiği değerlendirmelerine göre, ortalama en büyük değer dalga

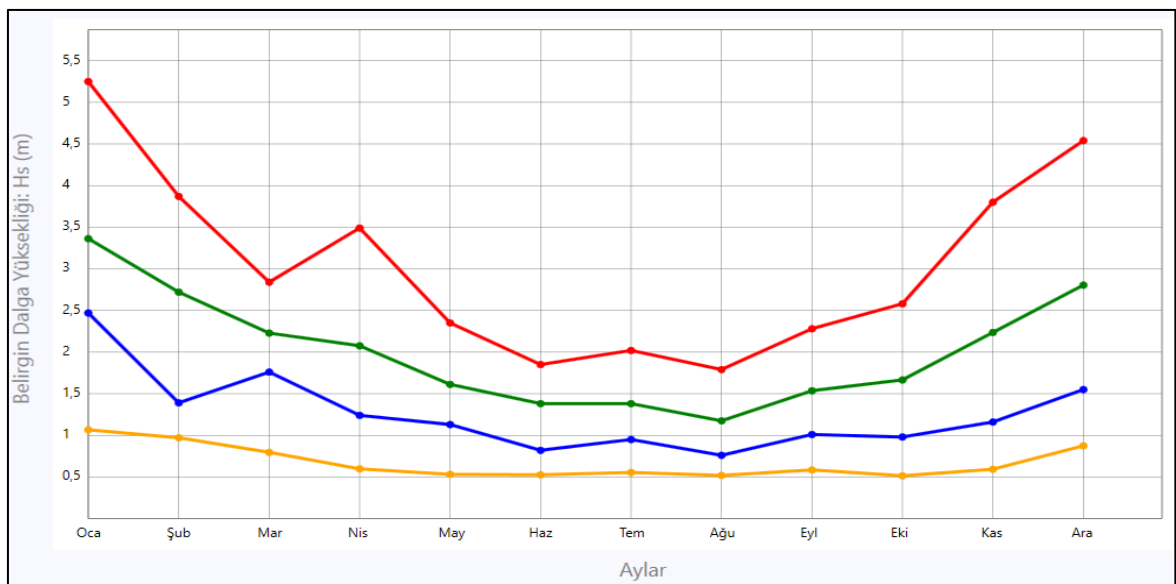
yükseklikleri 1,2-3,4 m, en yüksek değerler ise 1,8-5,3 m arasında değişmektedir. En düşük değerler Mayıs-Eylül arası, en yüksek değerler ise Aralık-Ocak döneminde beklenmektedir.



Şekil 4.25. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi yıllık dalga gülü (HYDROTAM-3D, 2021)



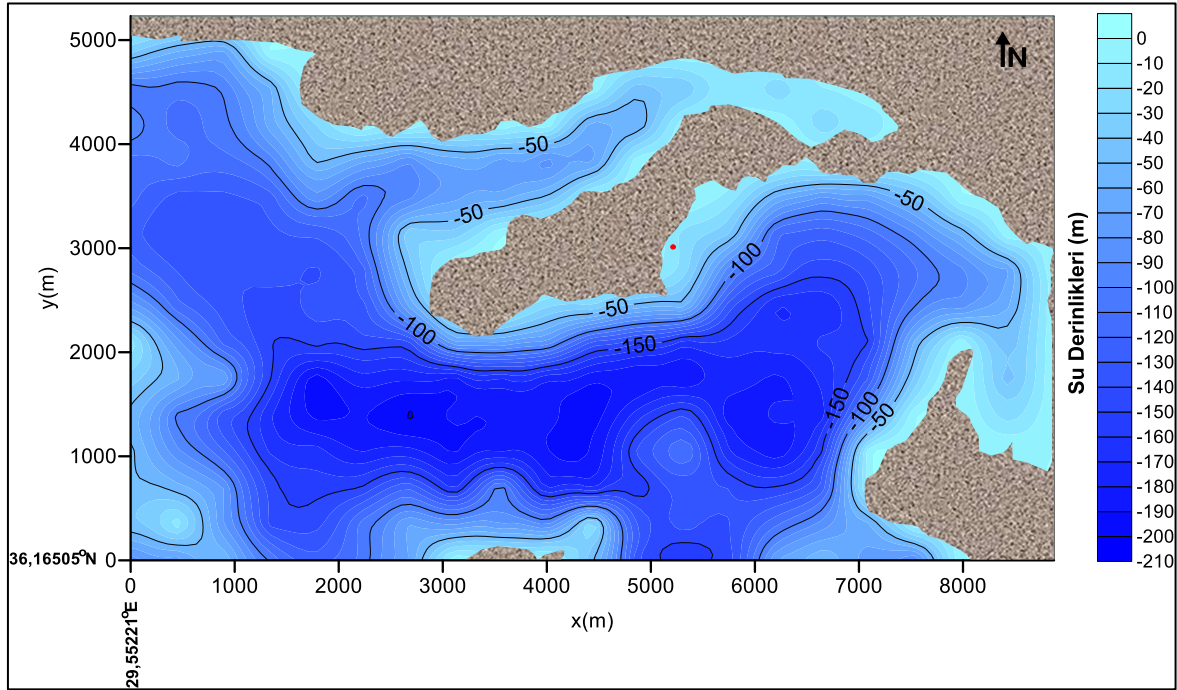
Şekil 4.26. ECMWF Operasyonel Arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2000-2019 dönemi mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D, 2021)



Şekil 4.27. Aylık ortalama ve en yüksek belirgin dalga yükseklikleri (HYDROTAM-3D, 2021)

### Akıntı iklimi

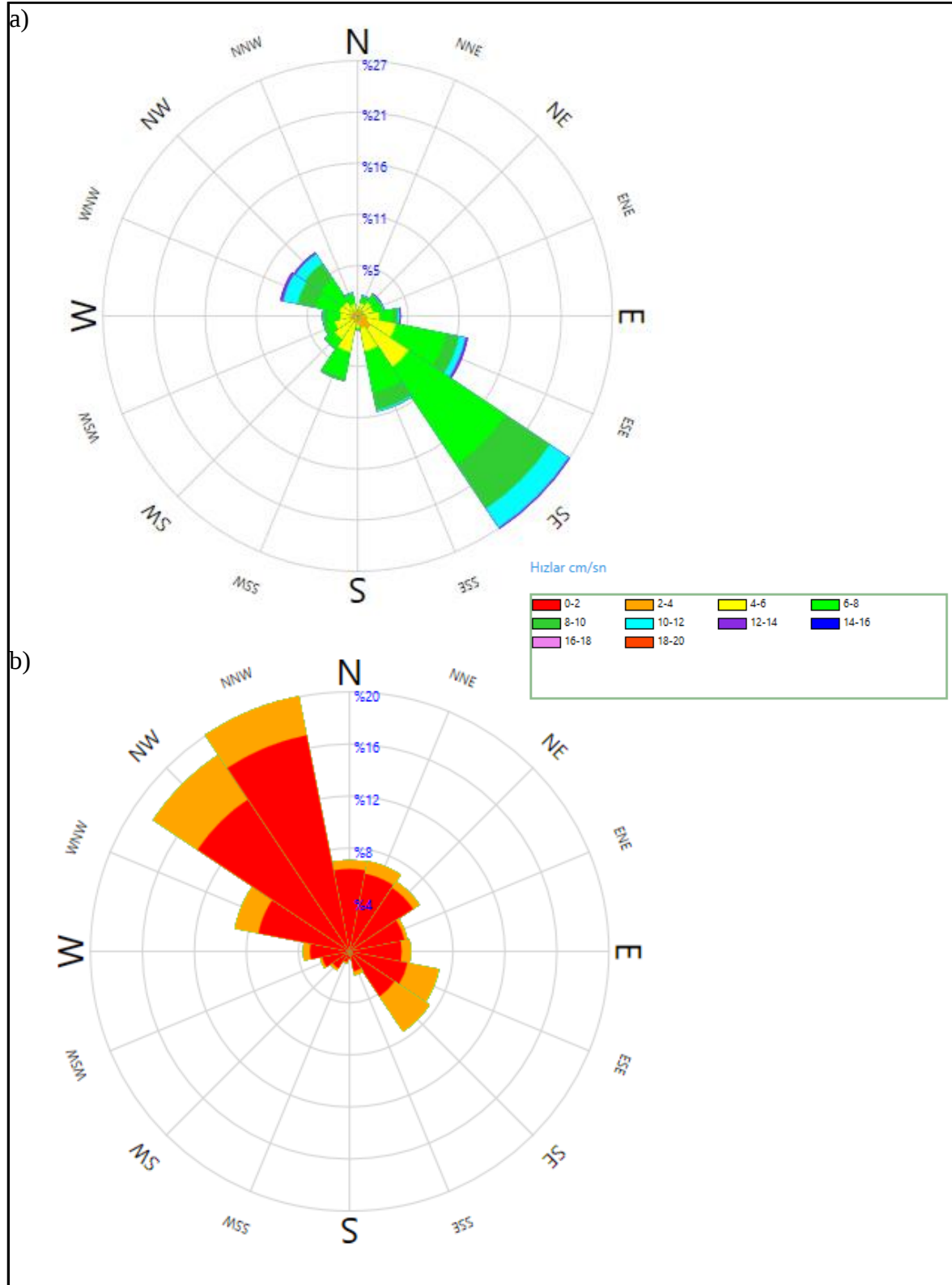
Dalga kırılması, rüzgar ve gelgit değişimlerinin etkisiyle meydana gelen kıyusal akıntıların yersel dağılımları HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modeli kullanılarak modellenmiştir. Kıyusal su alanındaki çevrıntiler genellikle düzensiz ve türbülanslıdır. Modelde, türbülanslı hareket ile ortalama hareket arasındaki bağlantı, düşey ve yatay eddy vizkoziteler ve düşeyde ve yatayda eddy difüzyonu ile oluşan kütle yer değişimi ile sağlanmaktadır. Yüzey su alanının, su derinliğine oranla büyük olduğu kıyı sularında, düşey ve yatay yönlerdeki hareketin türbülans yoğunluğu da önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu kapsamda bölgenin ana su derinlikleri Şekil 4.28’de gösterilmektedir.

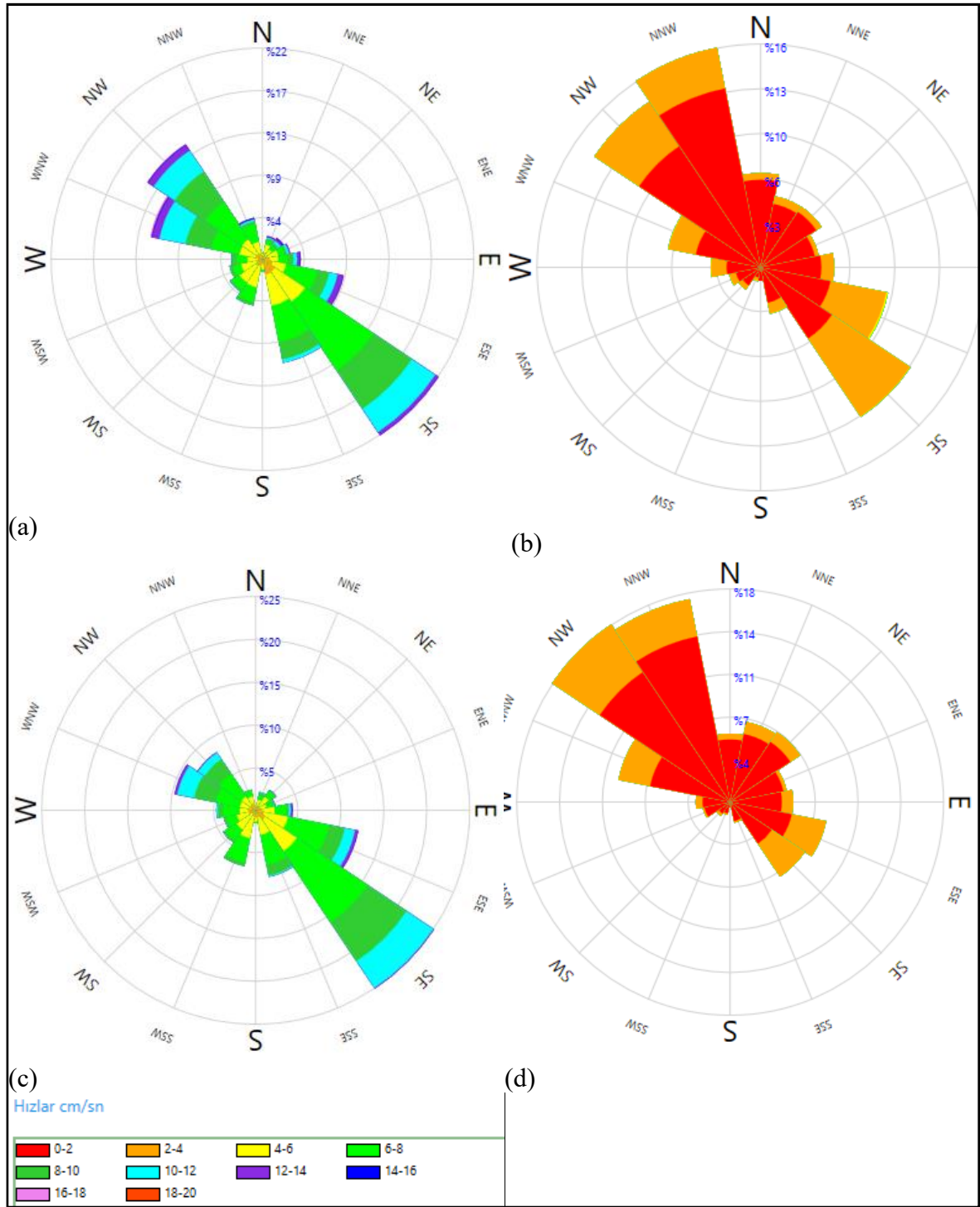


Şekil 4.28. Kaş-Bucak Körfezi su derinlikleri (m) ve deniz deşarjı difüzör bölgesi (HYDROTAM-3D, 2021)

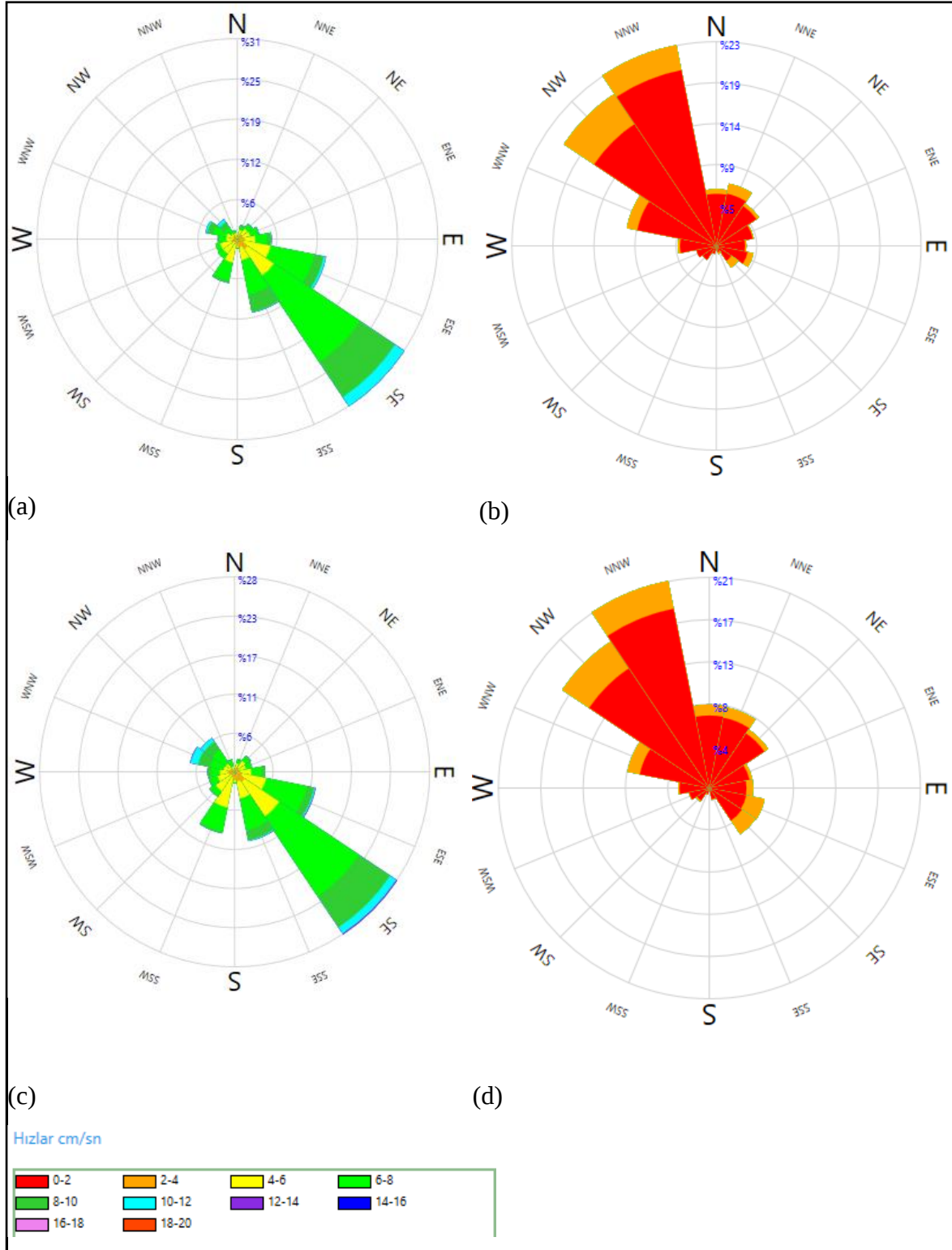
Kaş-Bucak Körfezi kıyusal su derinliği 5-200 m arasında olup, türbülans yoğunluğu derinliğe göre farklılık göstermektedir. Rüzgar ikliminde sunulan, ECMWF operasyonel arşivi 36,1°N-29,5°E koordinatı 2010-2019 dönemine ait, altışar saatlik rüzgâr zaman serileri kullanılarak, altışar saatlik akıntı düzeni zaman serisi elde edilmiştir. Modelleme alanında deniz deşarjı difüzörünün bulunduğu su derinliğinin yaklaşık olarak -25 m olduğu noktada

elde edilen derinlik boyunca yıllık akıntı gülleri Şekil 4.29'da, yüzey ve taban tabakaları için mevsimsel akıntı gülleri ise Şekil 4.30'da sunulmuştur.





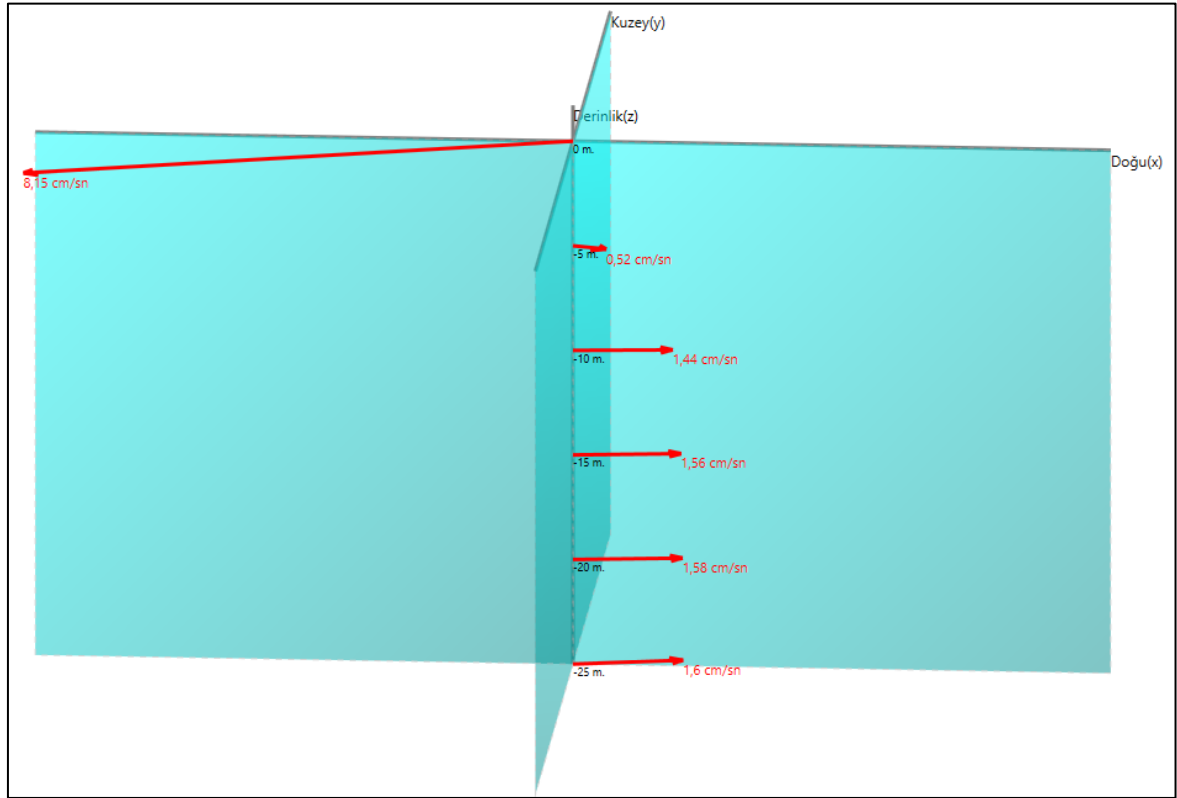
Şekil 4.30. 2010-2019 dönemi Mevsimsel akıntı gülleri a) Kış yüzey tabakası b) Kış taban tabakası c) İlkbahar yüzey tabakası d) İlkbahar taban tabakası (HYDROTAM-3D, 2021)



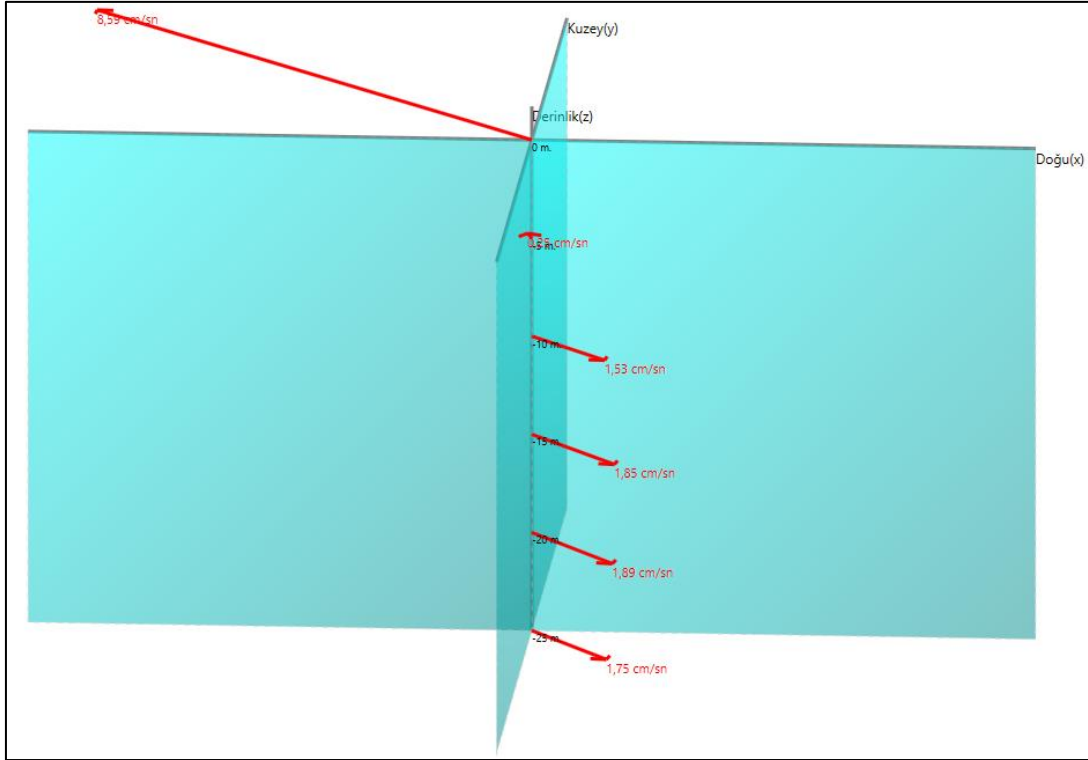
Şekil 4.30. (devam) 2010-2019 dönemi Mevsimsel akıntı gülleri a) Yaz yüzey tabakası b) Yaz taban tabakası c) Sonbahar yüzey tabakası d) Sonbahar taban tabakası (HYDROTAM-3D, 2021)

Akıntı gülleri incelendiğinde, hakim yüzey akıntılarının Doğu Güney Doğu(ESE) –Güney Doğu (SE) yönlerine doğru olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey akıntıları 6 m/s, taban

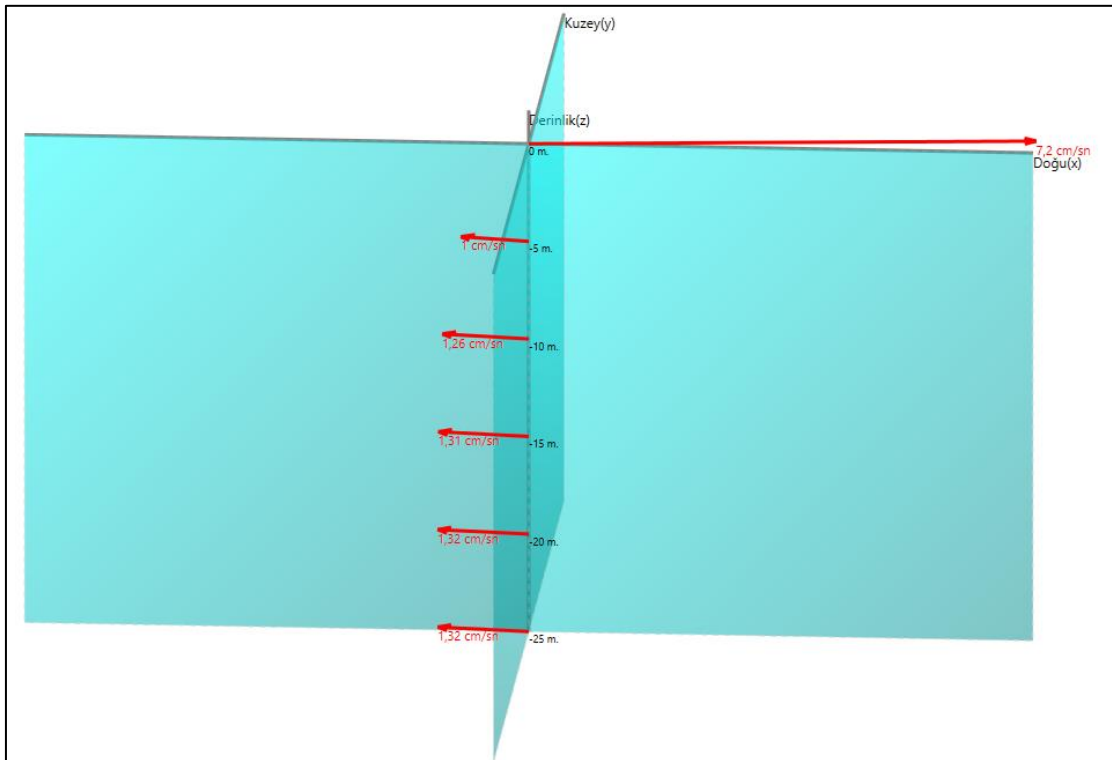
tabakası akıntıları ise 3 cm/s'dir. Akıntıların şiddeti ve akış yönleri, rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak zamansal ve konumsal olarak değişim göstermektedir. Deniz deşarjı difüzörünün bulunduğu noktada hakim akıntıların derinlik boyunca değişim örnekleri Şekil 4.31- 4.32 arasında gösterilmektedir. Yüzey tabakasında akıntılar rüzgarın esme yönüne doğru sürüklenirlerken, barotropik basınç gradyanı nedeniyle derinlik boyunca akıntılar yön değiştirmekte ve taban tabakalarında rüzgarın esme yönünün tersine akıntılar oluşmaktadır. Taban tabakalarında akıntının şiddeti yaklaşık 4-5 kat azalmaktadır.



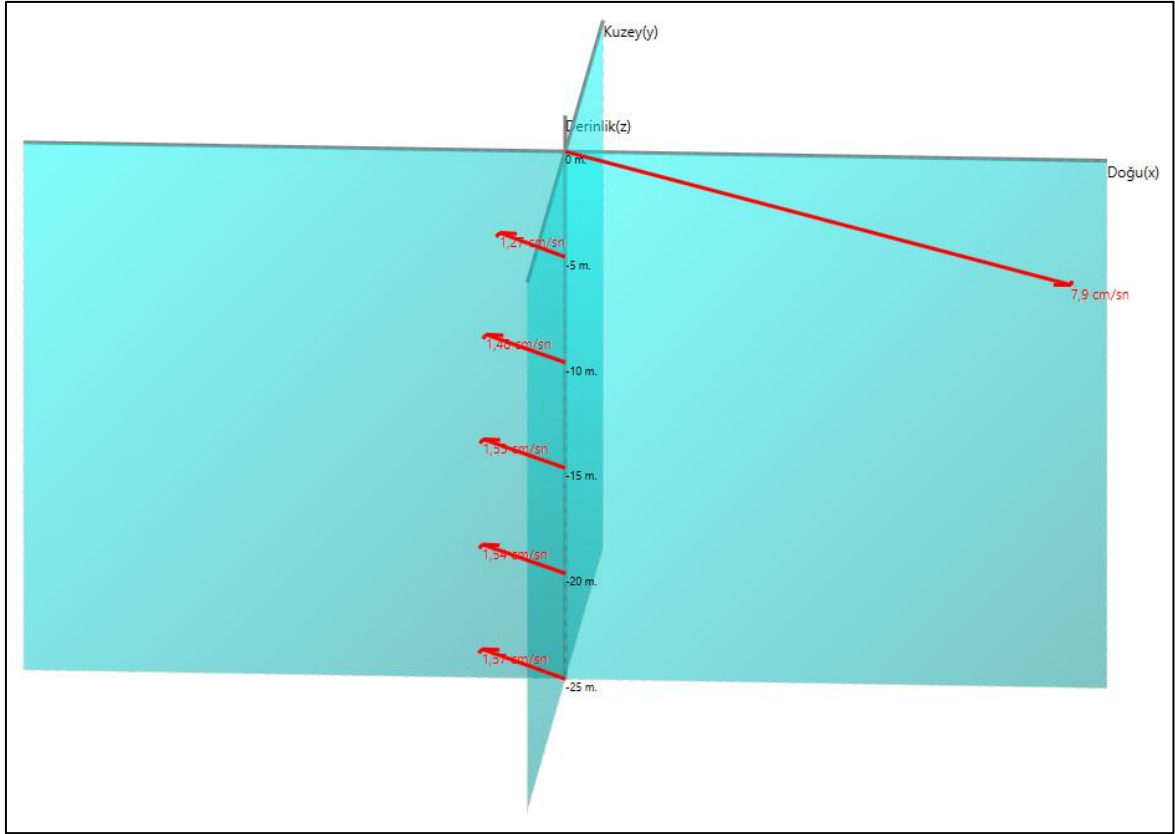
Şekil 4.31. Kuzey Doğu (NE) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili (HYDROTAM-3D, 2021)



Şekil 4.32. Doğu (E) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili (HYDROTAM-3D,2021)



Şekil 4.33. Batı Güney Batı (WSW) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili (HYDROTAM-3D, 2021)

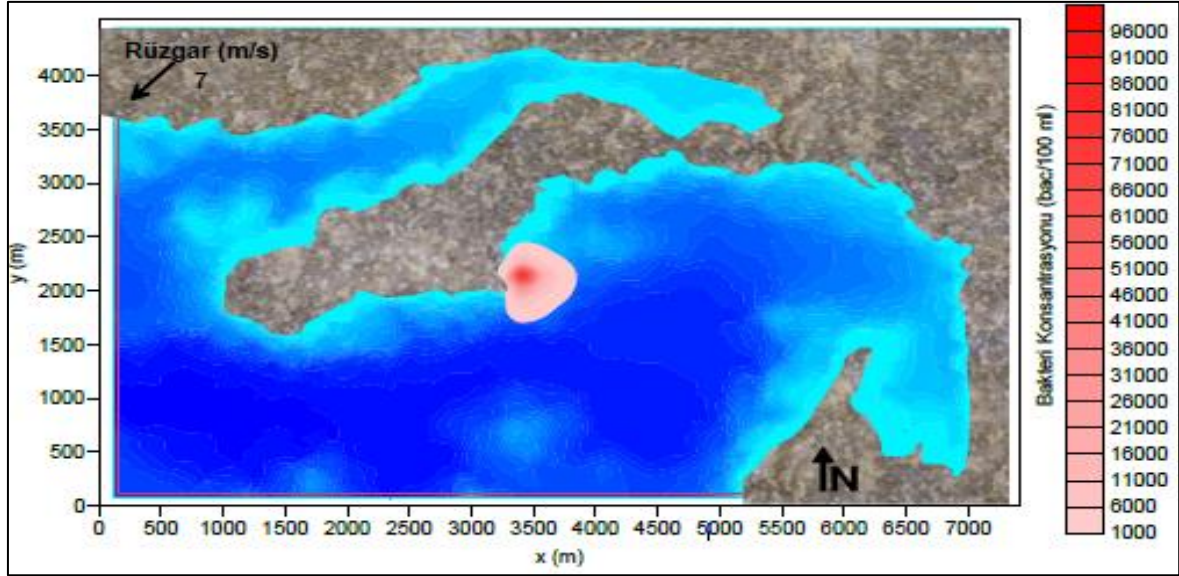


Şekil 4.34. Batı Kuzey Batı (WNW) yönünden 7 m/s rüzgar hızı etkisinde yatışkın durumda difüzör noktasında derinlik boyunca akıntı profili (HYDROTAM-3D, 2021)

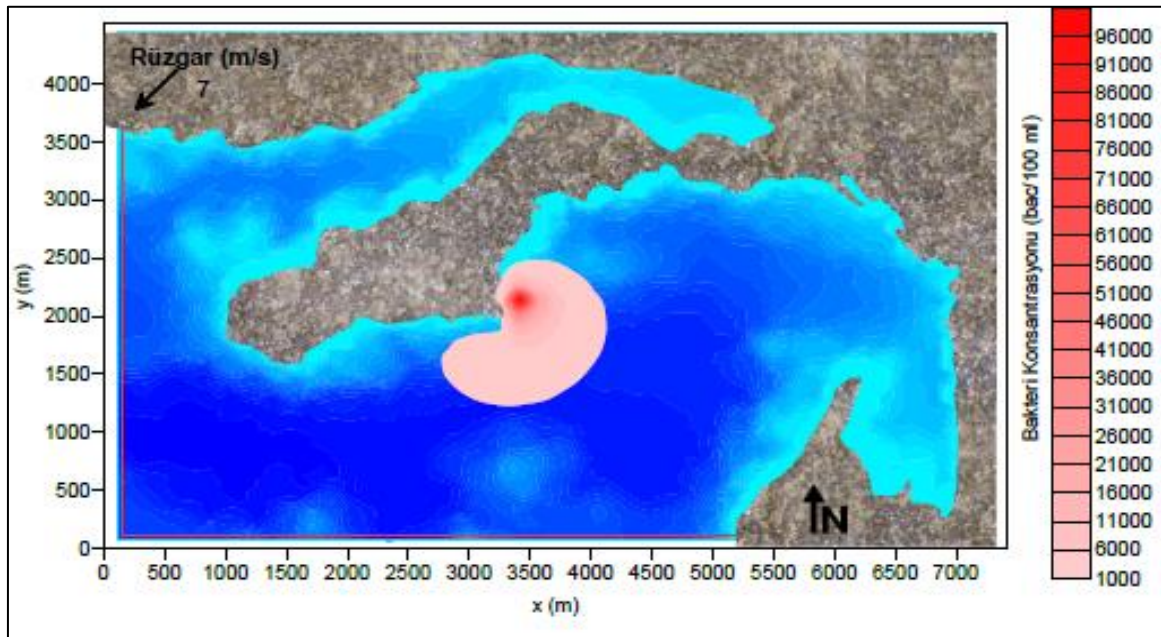
Şekillerde de görüleceği gibi rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak derinlik boyunca akıntı profili değişkenlik göstermektedir. Derinliğin yüzeye yakın bölümleri rüzgar hızı ve yönünden etkilenebilirken, derinlik arttıkça rüzgar hızına ters yönde hareket gözlemlenmektedir.

#### Kirletici dağılımının modellenmesi

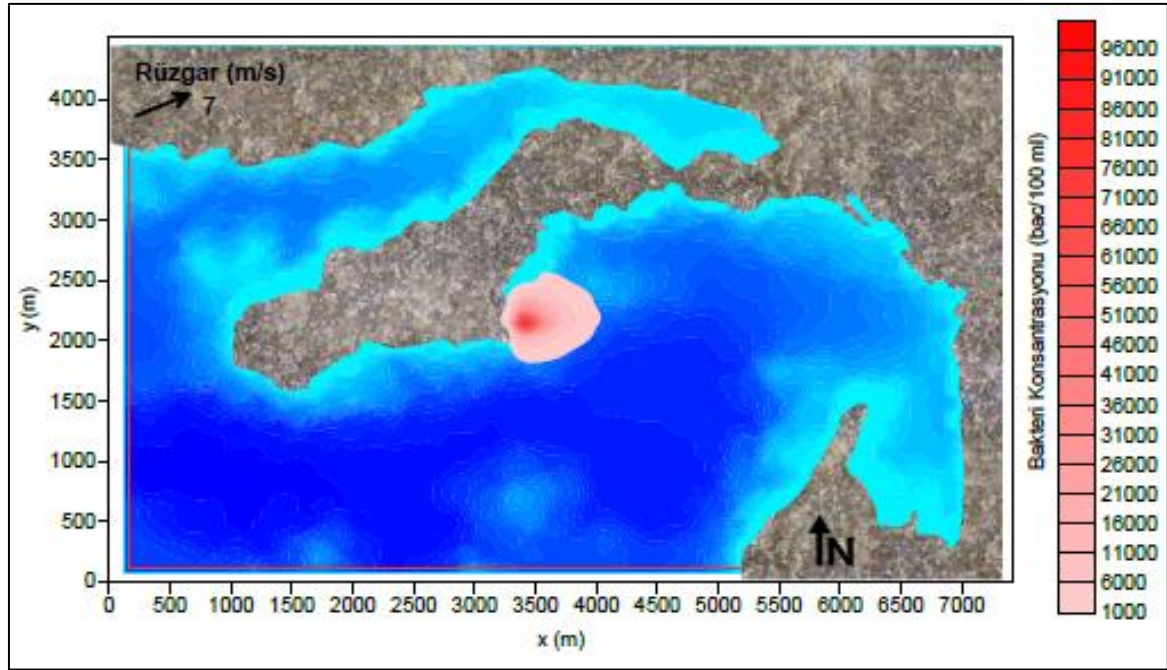
Deniz alanına deşarj yoluyla verilen atık suların, gelgit değişimi, dalga kırılması ve rüzgarın etkisiyle oluşmakta olan zamana bağlı kıyısak akıntılar ile alansal olarak dağılımları HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modeli kullanılarak modellenmiştir. K6 deniz deşarjı noktasından deniz tabanından sürekli olarak bırakıldığı düşünülen  $10^7$  bac/100ml evsel atığın (bakteriyel kirlilik), KuzeyDoğu, BatıGüneyBatı ve BatıKuzeyBatı yönlerinden, esen hakim rüzgarlar etkisinde, deşarjın bırakılmasından 1 saat sonraki ve zamanla dağılımın sona erdiği kararlı durumdaki dağılımları sırasıyla Şekil 4.35- 4.36 arasında sunulmaktadır.



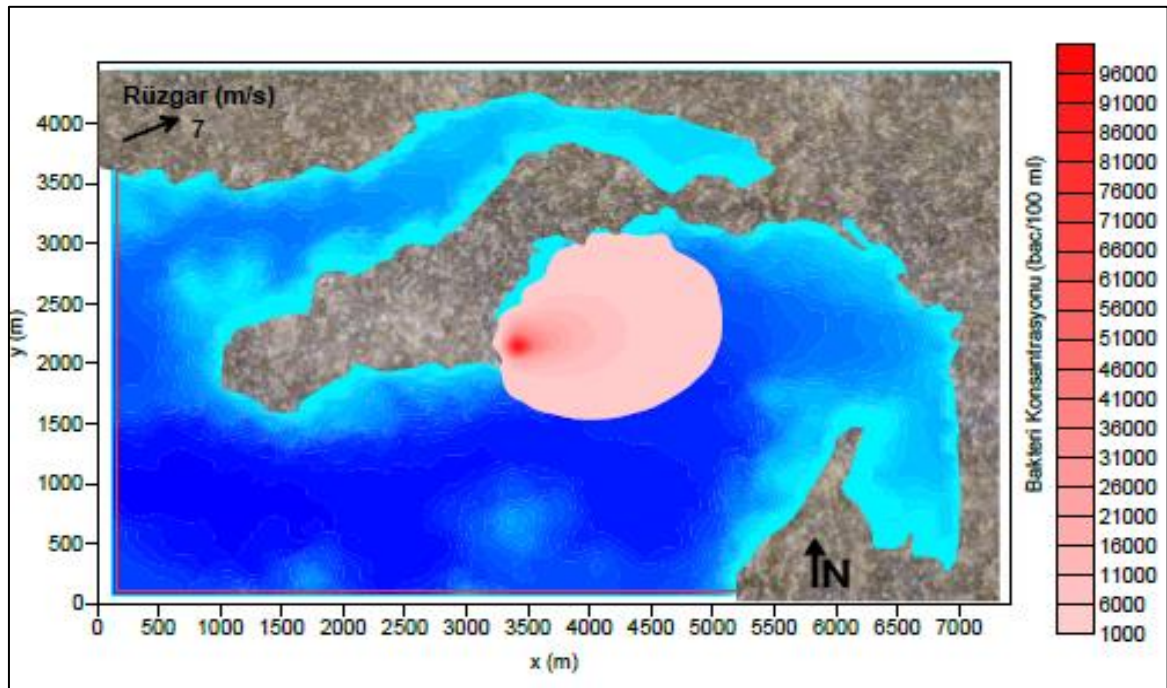
Şekil 4.35. Kuzeydoğulu (NE) rüzgarlar etkisinde 1 saat sonra yüzeyde kirlilik dağılımı (HYDROTAM-3D, 2021)



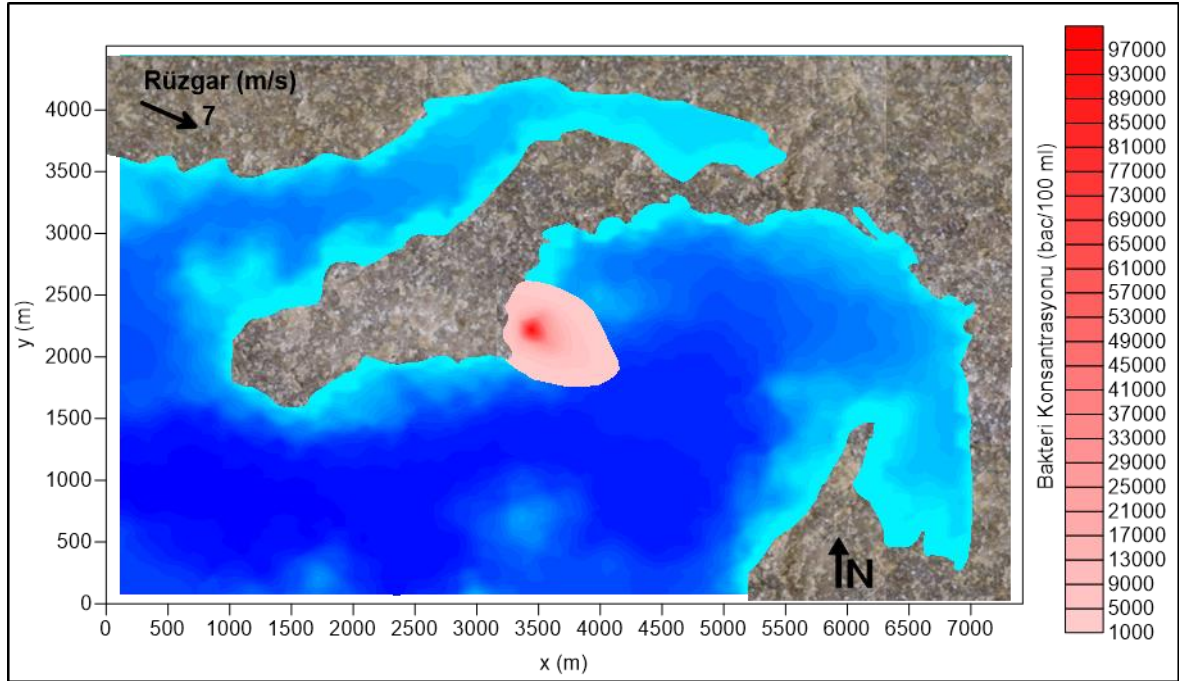
Şekil 4.36. Kuzeydoğulu (NE) rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde kirlilik dağılımı (HYDROTAM-3D, 2021)



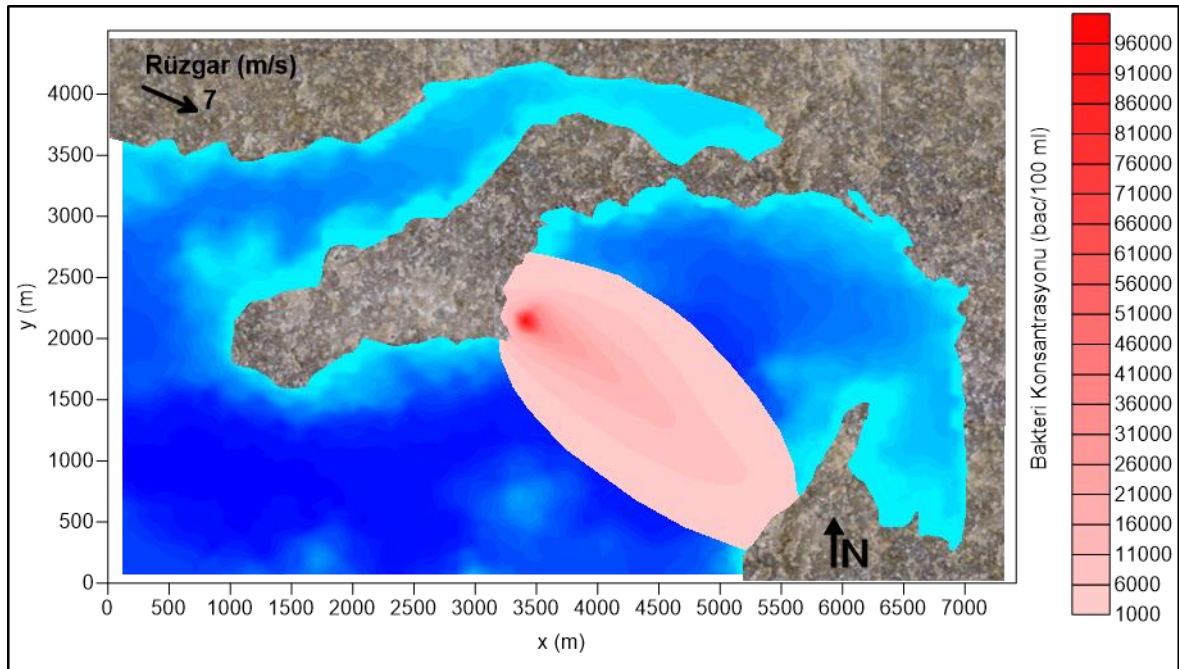
Şekil 4.37. Batıgüneybatılı (WSW) rüzgarlar etkisinde 1 saat sonra yüzeyde kirlilik dağılımı (HYDROTAM-3D, 2021)



Şekil 4.38. Batıgüneybatılı(WSW) rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde kirlilik dağılımı (HYDROTAM-3D, 2021)



Şekil 4.39. Batıkuzeybatılı (WNW) rüzgarlar etkisinde 1 saat sonra yüzeyde kirlilik dağılımı (HYDROTAM-3D, 2021)



Şekil 4.40. Batıkuzeybatılı (WNW) rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde kirlilik dağılımı (HYDROTAM-3D, 2021)

HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, taşınım ve su kalitesi modeli kullanılarak yapılan modelleme çalışmaları ile Kaş Körfezi'nde, arıtıma sonrasında kıyısal sulara bırakılan kirleticinin, hakim akıntılar ile yayılımı, karışımı ve dağılımı anlaşılmıştır. Değişen rüzgar hızları ve yönleri, Körfez hidrodinamiğini değiştirmekte ve su yüzeyinde oluşan kirlilik bulutunun uzak alan davranışını etkilemektedir. Rüzgar ve akıntı iklimi çalışmalarından da anlaşıldığı üzere, Körfez alanında açık denizden kıyılara doğru yüzey taşınımı kirleticinin seyrelmesi sırasında yayılım ve dağılımlarının Körfez iç sularında gerçekleşmesine neden olmaktadır. Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine Dair Yönetmelik (2019) Ek-7, Tablo-1'de verilen yüzme suyu kalitesi değerlendirme kriterlerine göre, 1000 cfu/100ml ve üzeri *escherichia coli* konsantrasyonları, kıyı ve geçiş suları için "kötü kalite" olarak sınıflandırılmaktadır. Özellikle güneybatılı yönlerden kuzeydoğulu yönlerle doğru olan akıntılar gelecek dönemde bu değerin üzerinde konsantrasyona sahip kirletici bulutunun Körfez içerisine doğru yaklaşık iki kilometre ilerlemesine ve yayılmasına neden olmaktadır. Kuzeybatılı yönlerden güneydoğulu yönlerle doğru olan yüzey akıntıları da benzer şekilde iki kilometrelik bir alanda kılavuz değerlerin üstünde kirletici konsantrasyonu artışı ve su derinliği az olan kıyı koruma bandı içerisinde birikmeye neden olmaktadır. Modelleme çalışmaları doğrultusunda, uzun dönemde artan turizm baskısı ve nüfus nedeniyle artması beklenen atık su miktarları ile deniz deşarjına devam edilmesi durumunun, Kaş Körfezi kıyısal su alanının su kalitesi parametrelerini olumsuz yönde etkileyeceği anlaşılmıştır.

## 5. TARTIŞMA

Son yıllarda Dünya nüfusunda yaşanan artış ve buna bağlı artan su tüketimini karşılamak için çalışmalar yapılmaktadır. Artan su tüketiminin yanında oluşan atık suların en verimli şekilde arıtılarak yeniden kullanımı her geçen gün artmaktadır. Arıtılmış atık suyun yeniden kullanım yolları ülkelere, coğrafyaya bağlı olarak değişiklik gösterdiği gibi bazı durumlarda yerel ölçek bazında farklılıklar gösterebilmektedir. Bölgenin altyapı bakımından gelişmişlik seviyesine göre bu kullanımlarda farklılıklar görülmektedir. Örneğin altyapısı gelişmiş bölgelerde arıtılmış atık su tarımsal amaçlı yeniden kullanılmakta olup, altyapısı yetersiz bölgelerde sulama tankerleri vasıtasıyla cadde ve sokak yıkama işleminde kullanılmaktadır.

Arıtılmış atık suyun yeniden kullanımına mevzuat açısından bakıldığında ülkeler arasında ciddi farklılıklar yer almaktadır. Örneğin bazı ülkeler arıtılmış atık suyun yeniden kullanımına ait yönetmelikleri eyalet ya da yerel yönetimlerin yetkisine bırakmış olup, bazı ülkelerde merkezi yönetim karar vermektedir. Ülkemiz açısından bu durum değerlendirildiğinde uygulamada farklılıkların en aza indirilmesi ve sürekliliğin sağlanması açısından kanun ile ana hatların çizilmesi ancak bölgeler arasındaki iklim, yağış vb. farklılıklar nedeniyle yerel ölçekte farklı kullanım alanlarının belirlenmesi son derece önemlidir. Arıtılmış atık suların yeniden kullanım alanları çevresel, tarımsal, kentsel ve endüstriyel kullanımlardır.

Kullanım alanları bölgenin yağış, sıcaklık, iklim gibi çevresel faktörlerin yanında atık su altyapısı, kentleşme gibi fiziki faktörlere bağlı farklılıklar göstermektedir. Tarım arazilerinin yoğun olduğu ancak kuraklık sorunu olan bölgelerde tarımsal amaçlı, sanayinin yoğun olarak yer aldığı bölgelerde ise soğutma suyu yada endüstriyel amaçlı arıtılmış atık su kullanılabilir. Bunun yanında kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde çevresel kullanımlar ön plana çıkmaktadır. Ülkemiz bölgeleri açısından bakıldığında; sanayinin ve kentleşmenin yoğun olduğu Marmara Bölgesi'nde arıtılmış atık su çevresel ve endüstriyel kullanımları, İç Anadolu gibi kurak bir bölge de ise tarımsal faaliyetlerin yoğun olması nedeniyle tarımsal sulama amaçlı yeniden kullanım değerlendirilebilir. Nüfusu az olan ya da yerleşim alanı olarak yeni planlanan bölgelerde arıtılmış atık su ev içi tuvalet sifonu, şahsi bahçe sulama, yangın söndürme amaçlı kullanılabilir.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin denizleri şehirleşme, tarımsal faaliyetler, turizm ve en önemlisi artan nüfus nedeniyle gün geçtikçe su kirliliği sorunları ile karşılaşmaktadır. Su kirliliği sorunlarını çözebilmek ya da önleyebilmek amacıyla kullanılan atık su arıtma tesislerinin, inşaat maliyetleri de göz önünde bulundurularak olası kapasite artışları, konumları veya deşarj noktaları bakımından iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Gelecek yıllarda oluşabilecek kapasite artış ihtiyaçları, arazinin yetersiz ve değerli olduğu durumlarda ya da bölgenin turizm potansiyeli göz önünde bulundurularak atık su arıtma tesislerinin kıyısız alanlarda doğru bir şekilde konumlandırılması ve çalıştırılmasını gerekli kılmaktadır. Aksi takdirde kıyısız alanlarda su kirliliği problemleri ve kapasite yetersizlikleri oluşacaktır. Bu çalışmada kıyısız alanlarda meydana gelen su kirliliği problemlerini anlamak, önleyebilmek veya problemler henüz oluşmadan tahmin etmek amacıyla geliştirilmiş olan HYDROTAM-3D kıyısız alan hidrodinamik, taşınım ve su kirliliği modeli kullanılmıştır. Modelde, kıyısız alanın batimetrisi, uzun dönemli rüzgar yönleri ve hızları, su seviyesi değişimleri, ortalama su sıcaklığı, tuzluluğu, nem yüzdeleri ve atmosferik basınç gibi bölgesel verileri girdi olarak kullanılmıştır. Model Kaş Körfezi kıyısız su alanına uyarlanarak, uzun dönem rüzgar iklimi, dalga iklimi, akıntı iklimi çalışılmış ve arıtma tesisinden deniz ortamına bırakılan atık suyun yayılma, karışım ve dağılım olayları incelenmiştir. Muhtemel kapasite artışı ve ilçenin turizm potansiyeli de göz önünde bulundurularak, su kalitesini tehdit etmekte olan deniz deşarjı yerine alternatif yöntemlerle arıtılmış atık suyun yeniden kullanımının Kaş Körfezi için önemli olduğu anlaşılmıştır.

Bölgenin hakim rüzgar şiddetini ve yönünü belirleyebilmek için, HYDROTAM-3D kullanılarak yapılan rüzgar iklimi analizinde, ECMWF operasyonel arşivi 11 kilometre aralıklı çözüm ağının 2000-2019 yılları arasındaki sayısal verileri ve Kaş Meteoroloji İstasyonu saatlik ölçümleri incelenmiştir. Bu çalışmalar birincil hakim rüzgar yön aralığının Batı(W)-Kuzey Batı(NW), ikincil yön aralığının ise Doğu Kuzey Doğu (ENE)- Doğu Güney Doğu (ESE) olduğunu göstermiştir. Kış mevsiminde Doğulu (E) yönlerden esen rüzgarların sıklığında önemli bir artış oluşmaktadır. Yapılan dalga iklimi analizlerinden, hakim dalga ilerlemesi yönlerinin, Batı (W) ve Batı-Güney-Batı(WSW) olduğu anlaşılmıştır. Kaş Körfezinin 2009-2019 yılları arasında hakim akıntı güllerine göre, hakim yüzey akıntılarının Doğu Güney Doğu(ESE) –Güney Doğu (SE) yönlerine doğru olduğu görülmektedir.

Ortalama yüzey akıntıları 6 m/s, taban tabakası akıntıları ise 3 cm/s olarak tahmin edilmiştir. Akıntıların şiddeti ve akış yönleri, rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak zamansal ve konumsal olarak da değişim göstermektedir. Yüzey tabakasında akıntılar rüzgarın esme yönüne doğru sürüklenirlerken, barotropik basınç gradyanı nedeniyle derinlik boyunca akıntılar yön değiştirmekte ve taban tabakalarında rüzgarın esme yönünün tersine akıntılar oluşmaktadır. Taban tabakalarında akıntının şiddeti yaklaşık 4-5 kat azalmaktadır. Çalışma kapsamında Kaş Körfezi için kirletici taşınım modellemesi yapılmıştır. Bölgenin yakın civarında sanayi ve tarıma elverişli arazilerin yoğun olmaması nedeniyle denizel alan için başlıca kirleticiler fosfor ve azot içerikli evsel atık sulardır. İlçe merkezinin atık su ağı, atık su arıtma tesisine iletilmekte olup, ilçe nüfusunda gelecekte oluşabilecek artışlar atık su arıtma tesisinin yetersiz kalmasına neden olacaktır. Arıtma tesisinden kaynaklanan çıkış suyu ise Kaş Körfezinin su kalitesini önemli ölçüde etkileyecek bir potansiyele sahiptir.

Hidrodinamik çalışmalar sonucunda, Kaş Körfezi'nin güçlü deniz akıntılara kapalı bir kıyısız su alanı olduğu belirlenmiştir. İlçenin turizm potansiyeli göz önüne alındığında, ilerleyen dönemlerde artan atık su miktarı, arıtma tesisinin yetersiz kalmasına ve bölgenin denizel alanında su kirliliği sorunları oluşmasına neden olacaktır. Çukurbağ Yarımadası'nın yüksek turizm potansiyeli nedeniyle atık su arıtma tesisinde ilerleyen dönemlerde yapılmak istenilen kapasite artışlarının araziye olumsuz yönde etkileri olması beklenmektedir. Kapasite artışı olması durumunda atık su miktarı da artacaktır. Hakim rüzgar ve dalga yönlerinin kapalı kıyısız alana doğru olması, Kaş Körfezinde seyrelmenin yeterli seviyede olamayacağını ve bu nedenle muhtemel bir bakteri kirliliğinin oluşacağını göstermektedir. Ülkemizin gelecek dönemlerde yaşaması muhtemel su kıtlığı problemi de göz önüne alındığında deşarj suyunun tarımsal amaçlı kullanımı önemli bir konudur. Kaş İlçe merkezine 20-30 km mesafelerde tarım arazileri bulunmaktadır. Modelleme çalışmalarına dayanılarak, atık su arıtma tesisinin Çukurbağ Yarımadası'ndan kaldırılması ve ileri biyolojik arıtma yöntemleri kullanılarak yeniden tasarlanması önerilmektedir. Bölgenin toprak yapısı ve topoğrafyası göz önüne alındığında arıtılmış atık suyun yeraltına enjeksiyonu alternatif olarak değerlendirilmemiştir. Bu kapsamda arıtılan atık sular, sulama kanalları, terfi merkezleri ve pompa istasyonları vasıtasıyla atık su arıtma tesisi deşarj suları ilgili mevzuat kriterlerini karşılayarak, tarımsal sulama ya da peyzaj sulama amaçlı kullanılmalıdır. İlçe merkezine yakın mesafede tarım arazileri bulunmakta ve aynı zamanda seracılık faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bölgede yetişen sebzeler arasında domates ve biber gibi sıcak havalarda su ihtiyacı yüksek olan sebzeler yetiştirilmektedir. Arıtılmış atık

suyun azot ve fosfor değerleri sebze yetiştiriciliğinde verimi arttırmanın yanı sıra gübre kullanımını da azaltacaktır. Kaş İlęesi yüksek sıcaklıkları sebebiyle buharlaşmanın yüksek olduğu bir bölgedir. Bu nedenle İlęe merkezinde bulunan park, bahęe ve rekreasyon alanlarının sulamasında arıtılmış atık suyun kullanımı uygun olacaktır. Bunun yanında toprağın doğal arıtma fonksiyonu sebebiyle sulama amaçlı kullanılan arıtılmış sular, toprak vasıtasıyla yeniden arıtılarak yeraltı suları beslenmiş olacaktır. Bu sayede arıtılmış atık su tekrar kullanılarak olası su kıtlığı nlenmiş olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Akanser, A. (2010). *Sulardan koagülasyon/yumaklaştırma işlemi ile ağır metal gideriminin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-11.
- Akın, A. (2017). *Havza ilçesi evsel atık su arıtma tesisinde arıtma verimliliği ve enerji ilişkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 59-61.
- Akman, A. (2007). *Turizm gelişmesinin yarattığı doğal ve kültürel değişimler: Kaş örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 255-257.
- Alemi, K. (2016). *Atık su arıtma tesisi projelendirmesi ve optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-3.
- Ateş, A. (2000). *Evsel atık suların  $\text{CaCO}_3$ 'lu bileşiklerle tek kademeli çözme helezonunda arıtılması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 10-14.
- Aydoğan, H., ve Altın, S. (2019). *Kentsel atıksuların denize deşarjı: Kaş örneği. IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Mühendislik*, Ankara, Tam Metin Bildiriler Kitabı, 505-513.
- Ayrak, B. (2010). *Evsel atık suların arıtılması ve maliyet analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 8-17.
- Baas, P., Bosveld, F.C., and Burgers, G. (2016). The impact of atmospheric stability on the near-surface wind over sea in strom condntions. *Wind Energy*, 19, 187-198.
- Balas, L., Cebe, K., Yıldırım, F., Fidanoğlu, P., Yılmaz, N. ve İnan, A. (2014). *Kaş deniz ve kıyı alanları koruma, geliştirme ve yönetim projesi*. Kaş Turizm ve Tanıtma Derneği, Kaş, 20-130.
- Balas, L., Genç Numanoglu, A., and İnan, A. (2012). *HYDROTAM: 3D Model for Hydrodynamic and Transport Processes in Coastal Waters*. International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS) International Congress on Environmental Modelling and Software Leipzig, Germany.
- Barcelo, D and Petrovic, M (2011). *The handbook of environmental chemistry-waste water treatment and reuse in the mediterranean region* (Volume 14). New York: Springer, 183-215.
- Bul, Ş. (2014). *Tunceli biyolojik atık su arıtma tesisinin yeniden boyutlandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli, 50-53.
- Cebe, K. (2016). *Kıyisal sularda su kalitesi modellemesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 121-124.
- Cebe, K., and Balas, L. (2016). Water quality modelling in Kaş Bay. *Applied Mathematical Modelling*, 40(3), 1887-1913.

- Cebe, K., and Balas, L. (2018). Monitoring and modeling land-based marine pollution. *Regional Studies in Marine Science*, 24, 23-39.
- Coşkun, A. (2017). *Arıtma çamurlarının elektro-susuzlaştırma prosesi ile incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 17-20.
- Çelik, E. (2005). *Derin deniz deşarjı sistemlerinin atık su arıtma sistemleriyle mukayesesi ve İstanbul örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-25.
- Demir, E. (2015). *Geri dönüşüm endüstrisi atık sularının karakterizasyonu ve ileri oksidasyon yöntemleri ile arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 26-30.
- Demir, Ö., Yıldız, M., Sercan, Ü., ve Arzum, C. (2017). Atık suların geri kazanılması ve yeniden kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(2), 1-14.
- Demir, V. (2011). *Kaş (Antalya) deniz koruma planlamasında karar destek sistemleri kullanılarak biyoçeşitlilik araştırması*, Doktora Tezi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 12-16.
- Duman, H. (2017). *Arıtılmış kentsel atık suların sulamada yeniden kullanımı; Kayseri atık su arıtma tesisi örneği*, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 9-22.
- Fesliyen, K. (2017). *Evsel atık suların sulama amaçlı yeniden kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 18-22.
- Hindistan, D. (2010). *Ekonomik bir varlık olarak su ve suyun değerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 6-20.
- İldeş, U. (2010). *Deniz deşarjı sistemlerinde en uygun güzergâhın belirlenmesi için bir fizibilite çalışması*, Yüksek Lisans Çalışması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-16.
- İnternet: HYDROTAM-3D, (2021). *Üç boyutlu hidrodinamik, taşınım ve su kalitesi modeli*, URL: [www.hydrotam.com](http://www.hydrotam.com). Son Erişim Tarihi: 30.04.2021
- İnternet: URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/09/20190925-2.htm>. Son Erişim Tarihi: 21.09.2021
- İnternet:URL:<http://www.kas.gov.tr/kultur>. Son Erişim Tarihi: 30.09.2020
- İnternet:URL:<https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=at%C4%B1ksu%20ar%C4%B1tm:a%20tesisi>. Son Erişim Tarihi: 30.09.2020
- İnternet:URL:<https://earth.google.com/web/@36.18893488,29.61807504,1.87878324a,15430.37885886d,35y,0h,0t,0r>. Son Erişim Tarihi: 14.04.2021
- Kaş Belediye Başkanlığı 2015-2019 Stratejik Plan. (2015). Antalya, 34-45.

- Kellis, M., Kalavrouziotis, I. K., and Gikas, P. (2013). Review of wastewater reuse in the Mediterranean countries, focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications. *Global NEST Journal*, 15(3), 333-350.
- Kocamış, Z. (2006). *Deniz deşarjlarında kirlilik dağılımının bilgisayar destekli incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 20-25.
- Köksal, Ö. (2016). *Rize ilindeki atık su derin deniz deşarjlarının performanslarının incelenmesi ve alternatif öneriler*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 24-25.
- Kurt, U. (2007). *Fenton ve elektrokimyasal yöntemlerle evsel atık suların arıtılabilirliğinin araştırılması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-12.
- Kuş, M. (2001). *Seka atık sularının deniz suyuna etkilerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2-7.
- Kuşaksız, M. (2019). *Kaş Atık su Arıtma Tesisleri 2019 Yılı İşletme Faaliyet Raporu*, Kaş Atık su Arıtma Tesisleri İşletme Müdürlüğü, Antalya, 4-9.
- Manual, S. S. P. (1984). *Waterways Experiment Station*. Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers: Vicksburg, MS, USA.
- Müftüoğlu, Z. (2011). *Bir kamu hizmeti olarak su kaynakları yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 3-4.
- Nas, B., Uyanık, S., Aygün, A., Doğan, S., Dolu, T., Cop, M., Nas, K., ve Turgut, S. (2017). *Arıtılmış Atık suların Yeniden Kullanımı Projesi Nihai Raporu*, Ankara, 115-155.
- Odabaş, E. (2006). *Aktif çamur sistemlerinde metal toksitesinin respirometrik metod kullanılarak belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 4-6.
- Öğüt, A. (2011). *Mevsimsel nüfus farklılıklarının gözlemlendiği turizm alanlarında sürdürülebilir su ve atık su yönetimi: Bodrum Yarımadası örneği*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-5.
- Özbay, İ. ve Kavaklı, M. (2008). *Türkiye’de ve diğer ülkelerde arıtılmış atık suların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi*, Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 1056.
- Özdiğer, B. (2009). *Biyolojik atık su arıtma tesisinin optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 6-7.
- Özelkan, E. (2008). *Uydu görüntüleri kullanarak yangın riski değerlendirilmesi Kaş örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, İstanbul, 24-27.
- Özen, S. (2018). *Kaskı atık su arıtma verilerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri ile tahmin edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 13-14.

- Sanz, L. A., and Gawlik, B. M. (2014). *Water reuse in Europe*. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. A synoptic overview, European Commission, Joint Research Centre and Institute for Environment and Sustainability, Ispra.
- Solak, Z. (2018). *Kentsel nitelikli arıtılmış atık suların tekrar kullanımı (Hendek örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 10-25.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (2004). *Resmi Gazete*, 31.12.2004, 25687.
- Şener, G. (2016). *Atık su arıtma tesislerinin kırsal alan üzerine etkileri*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-50.
- Şengüler, A. H. (1992). *Damlatmalı filtrelerin çeşitli malzemelere göre biyolojik veriminin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 4-5.
- Şenik, B. (2016). *Türkiye’de yer üstü su kaynakları yönetimi sorununun planlama sürecinde çözümlenmesi: Bakırçay Havzası örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 32-33.
- Taşdemir, T. ve Erdem, V. (2010). Flokülasyon yöntemi ile atık sudan askıda tanelerin giderimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 111.
- Torun, F. (2011). *Türkiye’deki kentsel atık su arıtma tesisleri envanteri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20.
- Turan, G. (2014). *Kentsel atık su arıtma tesisleri ve işletme sorunları*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 17-18.
- United States Environmental Protection Agency, (2004). *Guidelines for water reuse*, Washington DC, 260.
- Ünver, A. (2016). *Su kaynaklarının yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sulama kooperatifleri*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 20-22.
- Wood, I. R., Bell, R. G., and Wilkonson, D. L. (1993). *Ocean disposal of waste water*, Advanced Series on Ocean Engineering-Volume-8, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., USA.
- Yıldırım, N. (2016). *Sakarya ili kentsel atık su arıtma tesisinin koliform bakteri giderim veriminin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 11-12.
- Yıldırım, A. K. (2006). *Evsel atık su arıtma tesislerinde debi-maliyet ilişkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 15-16.
- Yılmaz, B. (2018). *Evsel atık sulardaki Koi, Boi, Tok ve Akm parametreleri arasındaki ilişkinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 37-41.

Yorulmaz, İ. (2016). *Arıtma tesislerinde işletme problemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 9.

Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine Dair Yönetmelik, (2019). TC Sağlık Bakanlığı ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sayı: 30899.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDOĞAN, Hakan  
Uyruğu : T.C.



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                            | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|------------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi, Çevre Bilimler        | Devam ediyor     |
| Lisans        | Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği | 2012             |
| Lise          | Ümraniye Merkez Anadolu Lisesi           | 2008             |

### İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-----|-----|-------|
|-----|-----|-------|

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Yayınlar

Aydoğan, H., ve Altın, S. (2019). *Kentsel atıksuların denize deşarjı: Kaş örneği*. IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Mühendislik, Ankara, Tam Metin Bildiriler Kitabı, 505-513.

### Hobiler

Araştırma yapma



*GAZİ GELECEKTİR..*