



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**TÜRKİYE KIYI AKİFERLERİNDE DENİZ
SUYU GİRİŞİMİNİN ÖNLENMESİNDE
ARITILMIŞ ATIKSULARIN KULLANIM
POTANSİYELİ**

Said Ali Sina AZARM

YÜKSEK LİSANS

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Temuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Said Ali Sina AZARM

Tarih: 31.07.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

TÜRKİYE KIYI AKİFERLERİNDE DENİZ SUYU GİRİŞİMİNİN ÖNLENMESİNDE ARITILMIŞ ATIKSULARIN KULLANIM POTANSİYELİ

Said Ali Sina AZARM

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Öğretim Üyesi Selim DOĞAN

2019, ... Sayfa

Jüri

Danışmanın Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI
Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

Nüfusun yoğunlaştığı, çoğu zaman verimli arazilere sahip olan kıyı bölgelerinde yeraltı sularının kuyulardan aşırı çekimi; kıyı akiferlerinde tatlı su ile tuzlu su arasında bulunan doğal ve hassas dengeyi bozarak tuzlu deniz suyunun karaya doğru ilerlemesine ve tatlı suların tuzlanmasına sebep olmaktadır. Deniz suyu girişi, özellikle deniz tarafından çevrelenen kıyı akiferlerde, tatlı su kaynaklarını tehdit eden en önemli sorunlardan biridir. Bu çalışmada, Türkiye’de kıyısı olan şehirlerde deniz suyu girişimine maruz kalan akiferler için kullanılan enjeksiyon kuyuları metodunda hidrolik bariyerlerin oluşturulmasında arıtılmış atıksuların potansiyeli araştırılıp maliyet açısından değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle çalışma alanı olarak Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinde yer alan toplam 13 il (Antalya, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, Hatay, İstanbul, Kocaeli, İzmir, Mersin, Muğla ve Yalova) belirlenmiştir. Deniz suyu girişiminin kontrolünde arıtılmış atıksu potansiyelini belirlemek için, proje debisi 5000 m³/gün’den büyük ve kıyıya ortalama mesafesi 0–5 km olan Atıksu Arıtma Tesisleri (AAT) seçilmiştir. Belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre çalışma alanında bulunan 13 ilde toplam 84 adet AAT saptanmıştır. Araştırma sonucunda deniz suyu girişiminin önlenmesi için tesislerden çıkan arıtılmış atık suyunun toplam potansiyeli 4737527 m³/gün olarak tespit edilmiştir. Tesislerden çıkan sular kalite olarak üç gruba ayrılmıştır. Bunlar, ileri arıtma prosesinden geçen sular, biyolojik arıtma prosesinden geçen sular ve fiziksel arıtma prosesinden geçen sulardır. Böylelikle, arıtılmış atık sularının %36’sı (1718999 m³/gün) ileri biyolojik arıtmadan, %16’sı (765690 m³/gün) biyolojik arıtmadan ve %47’si (2241197 m³/gün) fiziksel arıtma prosesinden geçmektedir. Çalışma alanında deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atık sularının %5.55’i (262683 m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Böylelikle çalışma alanında deniz suyu girişimine maruz kalan kıyı bölgelerde 84 noktada kıyıya paralel olarak 621 adet asil kuyusu ve 93 adet yedek kuyusu olmak üzere toplamda 714 adet enjeksiyon kuyularının kurulumu uygun görülmüştür. Son olarak enjeksiyon kuyularının kurlum maliyeti 6428580 \$, günlük işletme maliyeti 197759 \$ ve yıllık işletme maliyeti 69991885 \$ olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arıtılmış atıksular potansiyeli, Deniz suyu girişi, Enjeksiyon kuyuları, Türkiye kıyı akiferleri, Yeraltı su korunması

ABSTRACT

MS

ANALYSIS OF TREATED WASTEWATER REUSE POTENTIAL FOR CONTROLLING OF SEAWATER INTRUSION IN THE COASTAL AQUIFERS OF TURKEY

Said Ali Sina AZARM

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Selim DOĞAN

2019, ...

Jury

Advisor Danışmanın Unvanı Adı SOYADI

Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

Diğer Üyenin Unvanı Adı SOYADI

In coastal areas where the population growing faster and often have fertile lands, excessive pumping of groundwater breaks down the natural and sensitive balance between freshwater and saltwater and causes seawater intrusion in the aquifers. Seawater intrusion is one of the most wide-spread environmental problem threatening fresh water resources along the coastal areas where the fresh groundwater aquifers are surrounded by sea. The objective of this study is to investigate the potential of reclaimed water that could be used by injection wells in order to build a hydraulic barrier to help preventing seawater intrusion in the coastal regions of turkey where the groundwater contaminated or is under the risk of seawater intrusion. Besides, this study also assesses the application possibilities of injecting reclaimed water into injection wells for making hydraulic barriers as same as the cost of installation and operating of injection wells. For this purpose, 13 provinces from Marmara, Aegean and Mediterranean regions (northwest, west and south coasts of the country) of Turkey have been selected which are under the threat of Seawater intrusion. 84 wastewater treatment plants with large capacity (equal or more than 5000 m³/day) have been considered with an average distance of 5 km to coastline in order to investigate reclaimed water potential in the study area. A potential of 4737527 m³/day reclaimed water have been estimated in the coastal regions. The reclaimed water divided in 3 groups according quality which are subjected to physical treatment (about %47, 2241197 m³/day), secondary/biological treatment (about %36, 1718999 m³/day) and advanced treatment (about %16, 765690 m³/day). In order to prevent seawater in the coastal regions, only 5.55% (262683 m³/day) of the reclaimed water seems to be sufficient and also it has considered to be suitable in terms of cost. A total of 714 injection wells with a total cost of 6428580 \$ for installation have been estimated to be installed in 84 different points of the coastal regions of Turkey where the aquifers are under the threat of seawater intrusion. The daily and annual operating costs have been estimated 6428580 \$, 69991885 \$ respectively.

Keywords: potential reclaimed water, seawater intrusion, injection wells, Turkey's coastal aquifers, groundwater protection

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam sırasında tüm bilgi ve deneyimini benimle paylaşarak her aşamada yanımda olan, beni manevi ve maddi olarak destekleyen değerli hocam Sayın Öğretim Üyesi Dr. Selim DOĞAN hocama göstermiş olduğu ilgi ve anlayış için sonsuz teşekkür ederim.

Said Ali Sina AZARM
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kıyı Bölgelerde Deniz Suyu Girişiminin Ana Sebepleri	6
1.2. İklim Değişikliğinin Deniz Seviyesi Üzerindeki Etkisi	6
1.3. Kıyı Bölgelerde Aşırı Su Çekimi	8
1.4. Deniz Suyu Girişiminin Kontrol Metotları	10
1.5. Pompaj Oranın Azaltılması	11
1.6. Pompaj Kuyularının Yerinin Değiştirilmesi	12
1.7. Yeraltı Bariyerlerinin Kullanılması	13
1.8. Doğal Besleme.....	13
1.9. Suni Besleme	13
1.10. Tuzlu Suyun Boşaltması	14
1.11. Kombinasyon Teknikler.....	14
1.12. Deniz Suyu Girişiminin Araştırma ve Kontrol Metotları	14
1.13. Deniz Suyu Girişiminin Araştırma Yöntemleri.....	15
1.13.1. Jeofizik araştırmalar	15
1.13.2. Jeokimyasal araştırmalar	18
1.14. Deneysel Çalışmalar	19
1.15. Matematiksel Modeller	19
1.15.1. Keskin arayüzey ve difüzyon arayüzey modelleri	21
1.15.2. Keskin arayüzey modelleri	21
1.15.3. Difüzyon arayüzey modelleri	23
1.15.4. Kararlı hal ve geçici akış modelleri	27
1.15.5. Doymuş ve doymamış akış modelleri	27
1.16. Deniz Suyu Girişiminin Simülasyonunda Kullanılan Bilgisayar Kodları	28
1.16.1. SUTRA kodu	28
1.16.2. SEAWAT	29
1.16.3. CODESA-3D	30
1.16.4. SWIFT	30
1.16.5. MOCDENS3D	30
1.16.6. SHARP	30
1.16.7. Yarı üç boyutlu sonlu eleman	30
1.16.8. SHEMAT.....	31
1.17. Çalışmanın Amacı.....	31
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	32

2.1 Deniz Suyu Girişimi ile İlgili Dünyada Yapılan Çalışmalar	32
2.2. Deniz Suyu Girişimi ile İlgili Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal	41
3.1.1. Çalışma alanında arıtılmış atıksuların potansiyeli	41
3.1.2. İllere Göre Arıtılmış Atıksuların Potansiyeli	41
3.2.Yöntem.....	54
3.2.1. Deniz Suyu Girişimi Önlenmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kuyusunun Genel Yapısı.....	55
3.2.2. Maliyet Analizi	57
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	58
4.1 İllere Göre Maliyet Analizi	58
4.1.1. Antalya	58
4.1.2. Aydın	63
4.1.3 Balıkesir	64
4.1.4 Bursa	65
4.1.5 Çanakkale	68
4.1.6 Edirne	69
4.1.7 Hatay	70
4.1.8 İstanbul	73
4.1.9 İzmir	77
4.1.10 Kocaeli	80
4.1.11 Mersin.....	82
4.1.12 Muğla	85
4.1.13 Yalova	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
5.2 Öneriler	93
KAYNAKLAR	95
EKLER	Error! Bookmark not defined.
ÖZGEÇMİŞ.....	Error! Bookmark not defined.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Simgeleri yazmaya buradan başlayınız ve yazım kılavuzunda belirtildiği şekilde düzenleyiniz. Simgelerin bitiminden sonra, kısaltmalar başlığından önce bir satır boşluk bırakınız.

Kısaltmalar

Kısaltmaları yazmaya buradan başlayınız ve yazım kılavuzunda belirtildiği şekilde düzenleyiniz.

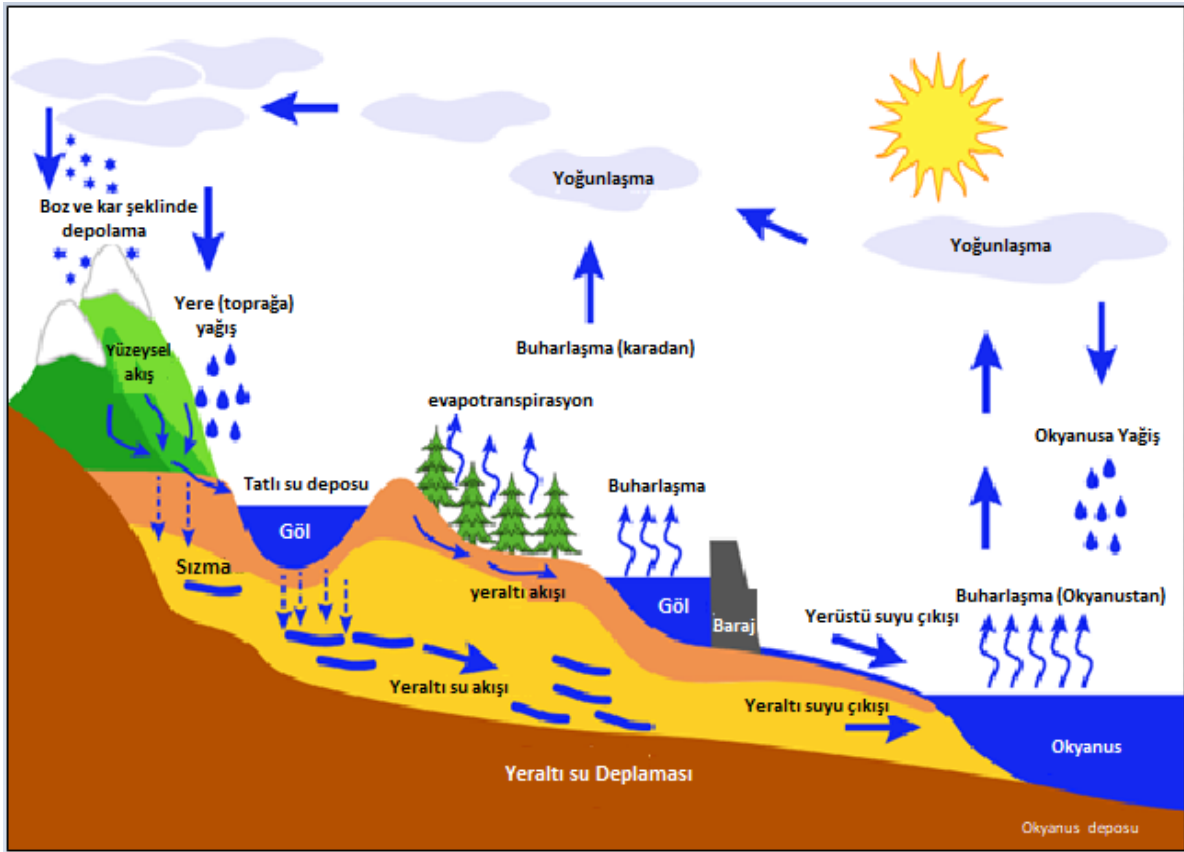


1. GİRİŞ

Yaşamın vazgeçilmez bir unsuru olan su, yer yüzeyinde en değerli doğal kaynaktır. Dünyada bulunan toplam suyun %99,4'ü yüzeysel sular ve %0,6'sı ise yeraltı sularından oluşmaktadır. Fakat hidrolojik çevirim içindeki toplam 1.386 milyon km³ suyun %97,39'u deniz ve okyanuslarda tuzlu su olarak bulunmaktadır. Geriye kalan suyun yalnızca %2,61'ı tatlı suları oluşturmaktadır. Tatlı suların ise %77,23'ü buzullarda, %22,38'i yeraltı sularında, %0,36'sı göller ve akarsularda ve %0,03'ü ise atmosferde bulunmaktadır (Bear ve ark, 1999; Postel, 2000; Anonymous, 2006).

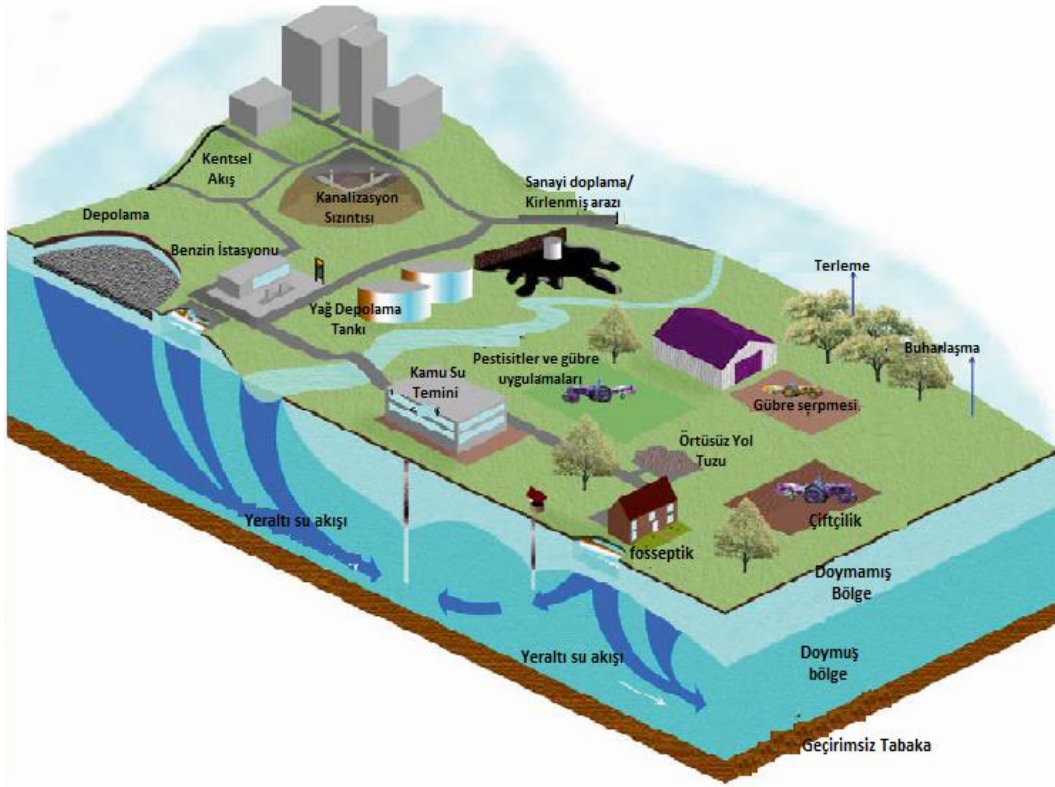
Dünyada yeraltı sularının %65'i tarımsal sulama, %25'inin içme ve kullanma suyu olarak, %10'unun ise endüstri suyu olarak kullanıldığı bilinmektedir. Yeraltı suları kısa süre içinde işletmeye alınabildiğinden ve genellikle arıtma gerektirmediğinden dolayı uzun zamandan beri içme suyu, tarımsal sulama ve endüstriyel kullanım suyu taleplerini karşılamakta kullanılan bir kaynaktır (Orsam, 2011; Yetiş, 2013). İçme suyu kaynağı olarak yeraltı sularının yüzeysel sulara göre daha fazla tercih edilmesinin sebebi, daha az organik madde ve mikroorganizma içermesidir. Bir diğer sebebi de kimyasal bileşiminin ve sıcaklığının zamanla değişmemesidir. Yeraltı suları en önemli tatlı su kaynaklarından biridir. Yeraltı suları çok uzun zamandan biri içme-kullanma, tarımsal sulama ve endüstri suyu talebini karşılamaktadır. Yeraltı suları içme suyu ihtiyacının üçte birini karşılamaktadır. Yeryüzündeki toplam tatlı suyun yaklaşık %22'sini yer altı sular oluşturmaktadır. Kutup buzulları %77'si, göller ve nehirler ve diğer kaynaklar ise %0,3'ünü oluşturmaktadır (Bear ve Ark; 1999).

Yeraltında çeşitli derinlik ve şekillerde bulunan bütün sulara yeraltı suyu denir. Yeraltı sularının kaynağı yağıştır. Yağış olarak yüzeye düşen sularla, kar ve buz sularının bir bölümü yerçekimi etkisiyle doymamış bölgelerden geçerek aşağı hareket eder. Böylelikle yeraltı su kaynakları oluşur. Yeraltı suyu hidrolojik döngünün bir parçası olarak kabul edilir (Şekil 1.1). Zaman içerisinde yenilenebilir bir kaynak olması en önemli özelliğidir. Ancak yerüstü sularının yenilenmesi günler içerisinde gerçekleşebilirken, yeraltı suyu rezervlerinin yenilenmesi için yüzyıllar gerekebilir. Yeraltı suyunun yenilenmesi için uzun zaman gerektiğinden, suyla ilgili sürdürülebilirlik konularının analizinde, yerüstü suyuna nazaran yeraltı suyu rezervlerine daha çok odaklanılmış durumdadır (Gültekin, 2015).



Şekil 1.1: Suyun hidrolojik döngüsü (Wright, 2013)

Yeraltı suyu kirliliği, önemli bir çevre sorunu olarak insan sağlığını ve tüm doğal hayatı etkilemektedir. Yeraltı suyu kirliliği çeşitli kaynaklardan oluşmaktadır. Bear (1979) tarafından yeraltı suyu kirliliği 4 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar çevresel, evsel, endüstriyel ve zirai kaynaklı kirleticilerdir. Çevresel kirlilik, yeraltı suyu akışının gerçekleştiği ortamın özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, yeraltı suyunun karbonat kayaçları ile temasta olması veya deniz suyunun yeraltı suyuna karışması gibi olaylar çevresel kaynaklı kirleticilerdir. Bu kirleticiler şunlardır; atıksu çukurları ve havuzları, kanalizasyon çamuru tahliyesi, kanalizasyon sızıntısı, yeraltı depolarından sızıntı ve tekniğine aykırı kapatılan kuyular, evsel ve şehir kaynaklı kirleticiler. Endüstriyel kirliliği ise ağır metaller, doğal olarak parçalanamayan bileşikler ve radyoaktif materyaller içeren sanayi atıklarının sızıntı yoluyla yeraltı suyuna karışması oluşturmaktadır. Zirai ilaçların aşırı ve bilinçsiz kullanımı da önemli bir kirlilik kaynağıdır. Hayvansal atık depoları, gübre kullanımı ve depolama, tarımsal ilaç kullanımı ve tarımdan dönen sular zirai kaynaklı kirleticilerdir. Yeraltı suyunun kirlilik kaynakları Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Yeraltı suyunun kirlilik kaynakları (<http://www.groundwateruk.org>)

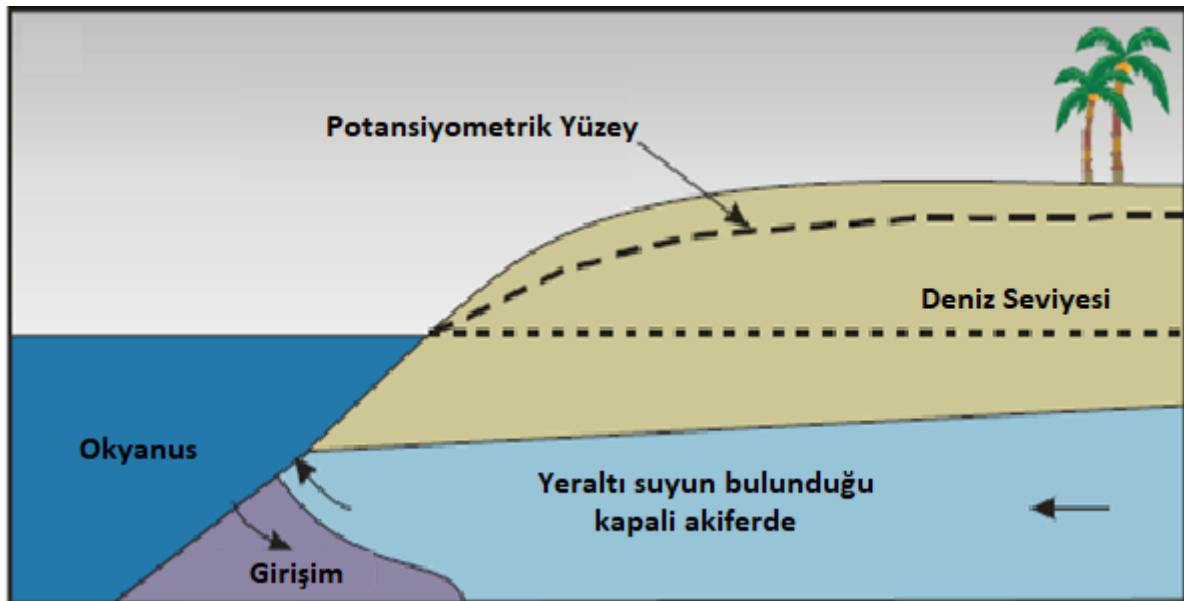
Yeraltı suyunun kalitesini düşüren en önemli sebeplerinden biri de tuzlu su girişi'dir. Yeraltı suyunun tuzlanması su yöneticilerinin en çok karşılaştığı problemlerden biri olup ana kirlenici kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Suyun tuzlanmasına sebep olan nedenler; tuzlu atıkların infiltrasyonu, tarım sulaması sonrası yeraltına sızan tuzlu sular, evapotranspirasyon ve deniz suyu girişi'dir.

Su yöneticileri, genellikle yüksek kotlu kıyı akiferlerinde yeraltı su kaynaklarını tehdit eden deniz suyu girişi sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Kıyı bölgeleri dünya nüfusunun en yoğun toplandığı yerlerdir ve dünya nüfusunun %60'ı (3,6 milyar) bu bölgelerde yaşamaktadır. Bu rakamın önümüzdeki yüzyılda ikiye katlanacağı öngörülmektedir. Buna göre, deniz suyu girişiminin tatlı su akiferlerine yönelik tehdidi gelecekteki en büyük sorunlardan biri olacaktır (Hydrocoast, 1995). Kıyı bölgelerinde sürekli artan nüfus ile birlikte şehirleşme ve endüstrileşme gelişmeleri yakın gelecekte su talebini daha da artıracaktır. Bu nedenle bu bölgelerde yeraltı sularının büyük ölçüde kullanılması deniz suyu girişim sürecini hızlandıracaktır. Bu gibi sorunların gelecekteki su yöneticileri ve su mühendisleri için büyük bir sorun haline gelmesi muhtemeldir (Bear ve Cheng, 1999).

Türkiye'de önümüzdeki yıllarda su kıtlığı sorunu yaşanabileceğinden su kaynaklarının sürdürülebilir ve akılcı bir biçimde kullanılması ve kirlenmeye karşı şimdiden

önlemlerin alınması gerekmektedir. Dünya Bankası raporunda Türkiye'nin 400 milyar dolarlık bir su potansiyeline sahip olduğu ifade edilmektedir. Yeraltı suyu açısından Türkiye dinamik olarak 500 milyar m³ ve statik olarak 2-3 trilyon m³ su potansiyeline sahip olan bir ülkedir (Şahin ve ark., 2010; Gültekin, 2015). Türkiye'de yıllardır kıyı bölgelerinde hem nüfusun hem de otel ve konut sayılarının sürekli artması, içme ve tarımsal sulama su ihtiyaçlarının kıyı akiferlerinde açılmış kuyulardan sağlanması, aşırı su çekimi sonucunda deniz suyunun yeraltı suyuna karışmasına (deniz suyu girişi, yeraltı suyunun tuzlanmasına) neden olmaktadır. Bu nedenle kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini kontrol etmek amacıyla hem ekonomik hem de çevresel etkileri en aza indirmek için en uygun metotlar uygulanmalıdır.

Deniz suyu girişi, okyanus suyunun yeraltı sularına taşınması ve yeraltı sularının tuzla karışmasıdır ve doğal bir olaydır. Ancak insan faaliyetleri sonucunda daha da kötüleşebilen bir süreçtir. Dünyadaki hemen hemen tüm kıyı akiferlerinde, tuzlu su ile tatlı su arasındaki yoğunluk farkı nedeniyle az da olsa deniz suyu girişi yaşanmaktadır. Örneğin, iki eşit boya sahip kolondan biri deniz suyu, diğeri tatlı su ile doldurulursa, deniz suyu ile doldurulmuş kolonun tabanındaki basıncın tatlı sudakine göre daha fazla olduğu görülecektir. Bunun nedeni ise deniz suyunun tatlı suya oranla daha yüksek bir mineral (daha fazla tuz) içeriğine sahip olması, dolayısıyla tatlı suya oranla daha yoğun olmasıdır. Eğer iki kolon alttan birbirine bağlanırsa, basınç farklarından dolayı deniz suyu tatlı su kolonuna akacaktır. Basınç ve akış dengelerini sağlamak için, tatlı su kolonundaki su seviyesi tuzlu su kolonundakinden daha yüksek olmalıdır. Benzer şekilde, kıyıda yeraltı su seviyesi deniz seviyesinden düşük olduğunda deniz suyu girişim olayı gerçekleşir (Şekil 1.3).



kuyulardan sağlanmıştır. Bu verilere göre yeraltı suyunun, su kaynağı olarak Türkiye’de ikinci sırada yer aldığı anlaşılmaktadır. Aynı şekilde 2016 yılında kanalizasyon şebekesi ile toplanmış olan 4,5 milyar m³ atıksuyun %85,7’si arıtılmış ve arıtılan atık suyun yaklaşık %45’i denizlere deşarj edilmiştir. Böylece denizler alıcı ortam olarak birinci sırada yer almıştır. Bu gibi durumlar yakın gelecekte denize kıyısı olan şehirlerde yeraltı tatlı su akiferleri için ciddi sorunlar yaratacaktır.

1.1. Kıyı Bölgelerde Deniz Suyu Girişiminin Ana Sebepleri

Kıyı bölgeleri, dünya nüfusunun en yoğun olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde iklimin diğer bölgelere göre daha elverişli olmasından dolayı gerek tarımsal gerekse ekonomik etkinlikler için en uygun koşullar oluşmaktadır. Kıyı akiferler de genellikle nüfusun yoğun olduğu bu bölgelerde yer almaktadır. Dolayısıyla, kıyı bölgelerinde nüfus artışı ve sanayi gelişiminin kontrol ve takip edilmesi gerekir. Aksi takdirde yakın gelecekte yeraltı su kaynakları önemli oranda azalacaktır ve nihayetinde deniz suyu girişiminin kontrolü gelecekteki su yöneticileri için önemli bir sorun haline gelecektir.

Deniz suyu girişi dünyada bulunan bütün kıyı bölgelerde önemli sorunlardan biri olup yeraltı su kaynaklarını ciddi anlamda tehdit etmektedir. Deniz suyu girişi, insan faaliyetleri ve iklim değişikliğinden dolayı deniz seviyesinin yükselmesi gibi doğal olaylar sonucunda meydana gelmektedir. Deniz suyu girişiminin başlıca sebepleri aşağıda verilmiştir:

- 1- Akiferlerden aşırı su çekimi,
- 2- Doğal yeraltı suyu akışında mevsimsel değişiklikler,
- 3- Gelgit etkileri,
- 4- Barometrik basınç,
- 5- Sismik dalgalar,
- 6- Dağılım,
- 7- İklim değişikliği- küresel ısınma ve ilgili deniz seviyesi artışı (Bear ve ark., 1999).

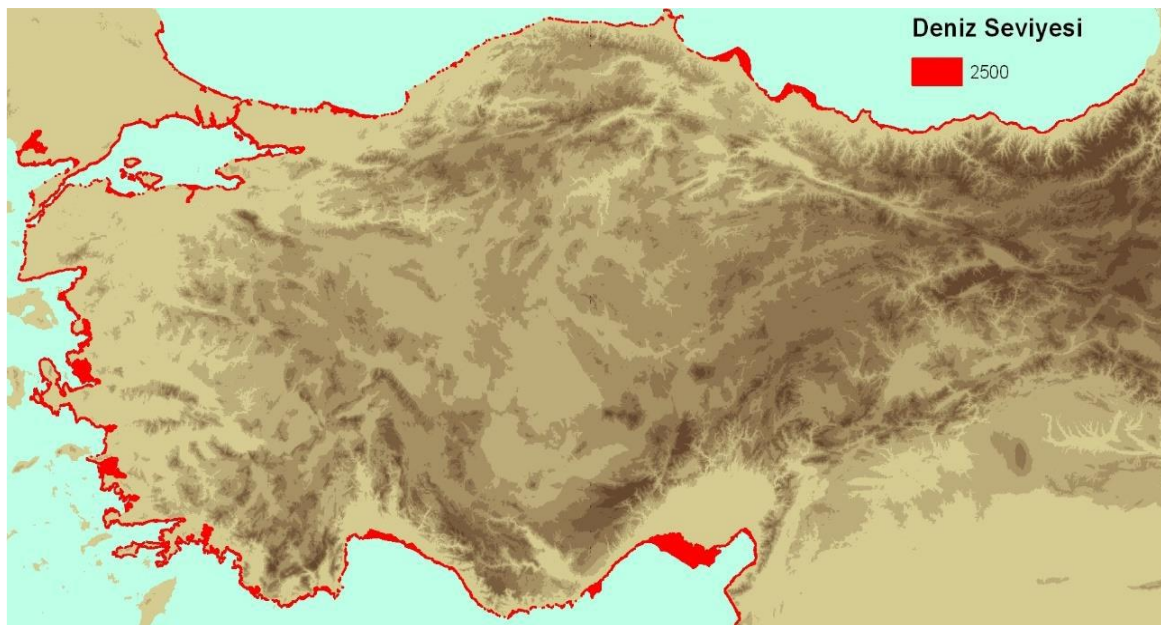
Deniz kenarında ve kıyı boyunca açılan kuyulardan aşırı su çekimi ile beraber iklim değişikliğinden dolayı deniz suyu seviyesindeki değişimler de deniz suyu girişimine sebep olmaktadır.

1.2. İklim Değişikliğinin Deniz Seviyesi Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliği, doğal veya insan faaliyetleri sonucu meydana gelebilmektedir. İklim değişikliği sonucunda, okyanuslarda ve denizlerde meydana gelen ısı genleşme, Grönland ve Antarktika’da buz tabakaların hızla erimesine ve bu durumun sonucunda da deniz suyu seviyesinin yükselmesine sebep olmuştur. Böylece kıyı bölgelerde kıyı erozyonu ve deniz

suyu girişimi gibi istenmeyen birçok sorun ortaya çıkmıştır. Yapılan araştırmalara göre son yüz yılda deniz seviyesinin yıllık ortalama yükselmesi 10-20 mm/yıl olduğu tespit edilmiştir (IPCC, 1996). Devam etmekte olan iklim değişikliğinden dolayı gelecek yüz yıl içinde deniz seviyesinin ortalama yükselme hızının artması beklenmektedir. Örneğin önümüzdeki yüz yıl boyunca deniz seviyesinde ortalama yıllık 20-88 mm/yıl bir artış meydana geleceği tahmin edilmektedir.

19. Yüzyılın ortalarından bu yana iklim değişikliği nedeniyle başlayan yüzey sıcaklıklarındaki artış günümüzde de etkisini sürdürmektedir. Geçen yüzyıla göre ortalama hava sıcaklıkları 0.4 ile 0.8 °C artış göstermiştir. İklim modellerinin senaryoları incelendiğinde, gelecek yüzyılda sıcaklığın daha da artması beklenmektedir. 1990–2100 dönemi için ortalama yüzey sıcaklıklarında 1.4 °C ile 5.8 °C arasında bir sıcaklık artışının olabileceği tahmin edilmektedir (Ateş, 2008). Sıcaklıktaki bu artışla buz kütleleri hızlı bir şekilde eriyecek ve buna bağlı olarak deniz seviyesinde de artışlar meydana gelecektir. Denizlerde su seviyesinde meydana gelecek bu değişimler kıyı alanlarda kıyı erozyonuna, taşkınlara, bataklıkların oluşmasına ve deniz suyu girişimi gibi doğal felaketlerin yaşanmasına neden olacaktır (Karaca ve Nicholls, 2008). 2500 yılında deniz seviyesi değişiminin Türkiye kıyılarındaki alansal etki haritası şekil 1.5'te gösterilmiştir.



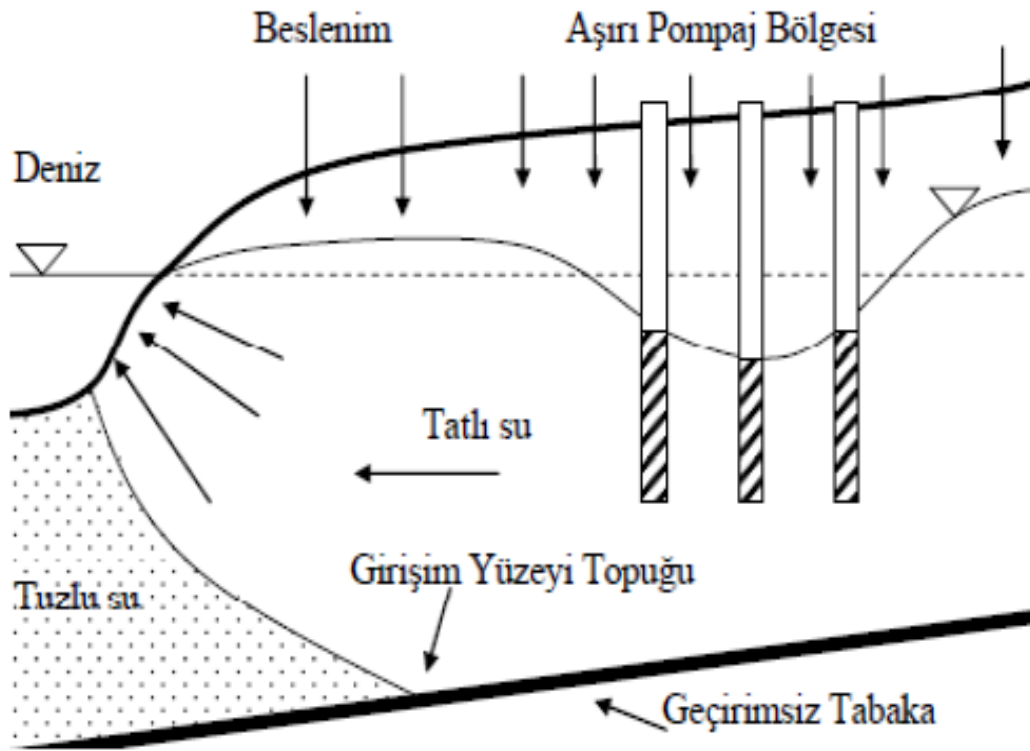
şekil 1.5: 2500 yılında deniz seviyesi değişiminin Türkiye kıyılarındaki alansal etki haritası (Geymen ve Dirican, 2016)

Türkiye'nin 3 tarafı denizlerle çevrili olduğundan iklim değişikliği bakımından riskli ülkeler grubunda yer almaktadır (Öztürk, 2002). Sıcaklık ve yağış rejimindeki değişimlerden

dolayı, Türkiye'nin kıyı bölgelerinde deniz seviyesinde yükselmeler meydana geleceği tahmin edilmektedir. Türkiye'nin kıyı bölgelerinde gelecekteki 500 yıl içinde deniz seviyesi 0,83- 6,63 m yükseleceği ve %0,16 – 0,70 oranında su seviyesi değişiminden etkilenebileceği ve bu oranlarda alansal toprak kaybı yaşanabileceği bilinmektedir (Geymen ve Dirican, 2016). Kıyı bölgelerde deniz suyu seviyesinin bu derecede yükselmesi kıyı akiferlerinde tatlı su ile tuzlu su arasında bulunan doğal ve hassas dengenin bozulmasına sebep olacaktır.

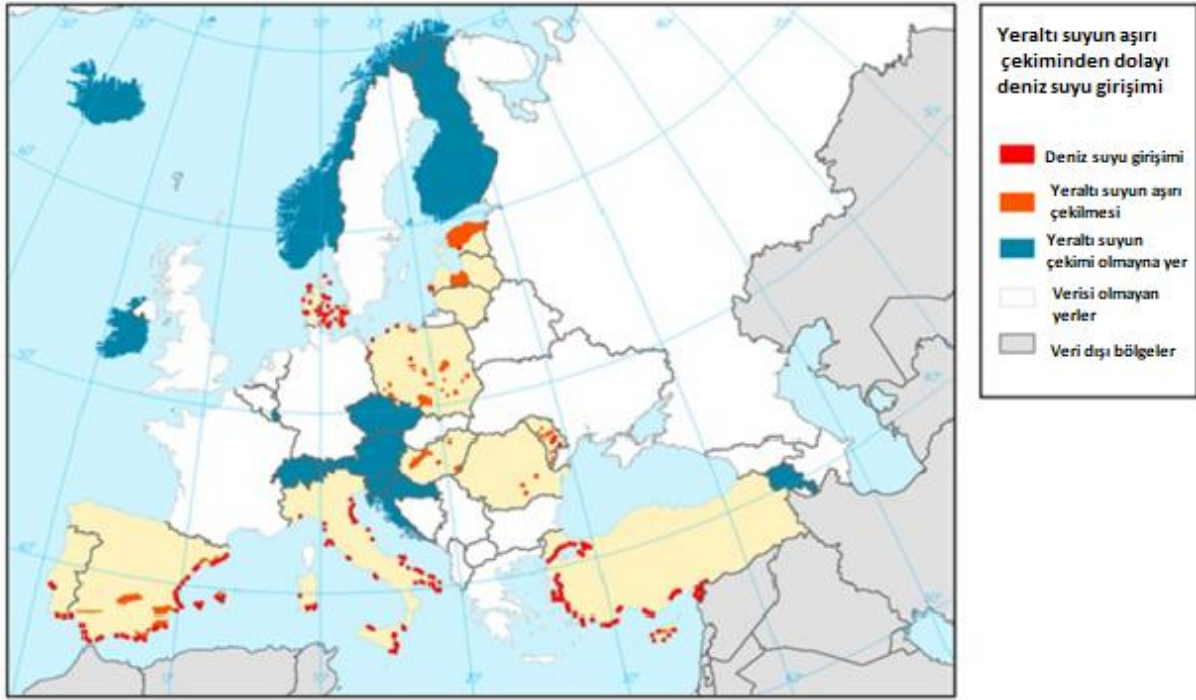
1.3. Kıyı Bölgelerde Aşırı Su Çekimi

Kıyı bölgelerinde aşırı su çekimi deniz suyu girişiminin temel sebeplerinden biridir. Dünya nüfusunun en yoğun olduğu kıyı bölgelerde tatlı suya olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Dünya nüfusunun %50'si denizden 60 km mesafede barınmaktadır (Essink, 2001). Bu alanlardaki endüstriyel, tarımsal ve kentsel su gereksinimlerini karşılamak için yeraltı sularının aşırı tüketilmesi, kıyı akiferlerinde tatlı su ile denizlerdeki tuzlu su arasındaki doğal dengeyi bozarak tuzlu suyun karaya doğru ilerlemesine sebep olmaktadır. Kıyı akiferlerinde normal şartlarda tatlı su basıncı tuzlu su basıncından büyüktür. Bu gibi durumlarda tatlı su – tuzlu su bir ara yüzey boyunca dengede bulunmakta ve tatlı su karadan denize doğru hareket etmektedir. Denizdeki tuzlu suyun tatlı suya göre daha yüksek mineral içermesi daha yoğun olduğunu göstermektedir. Yoğunluk farkından dolayı tuzlu su, yeraltı tatlı suyunun altındaki akifere doğru ilerlemektedir. Aşırı pompaja maruz kalan serbest yüzeyli akiferin en kesiti Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6: Aşırı pompaja maruz serbest yüzeyli akiferin en kesiti (Bear, 1979)

Kıyı akiferlerde açılan kuyulardan aşırı su çekimi yapıldığında tatlı su miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak tatlı su seviyesinde alçalma meydana gelmektedir. Meydana gelen bu alçalmalar sonucunda deniz suyu yeraltı suyuna karışmaktadır. Tatlı su ile tuzlu su arasında doğal dengenin bozulması sonucunda yeni denge kurulana kadar girişim yüzeyi karaya doğru ilerlemeye devam eder (Şekil 1.6). Türkiye’de yıllardır kıyı bölgelerinde hem nüfusun hem de otellerin ve konutların sayısı sürekli artmaktadır. Bu bölgelerde içme ve sulama su ihtiyaçları kıyı boyunca açılmış kuyulardan sağlanmaktadır. Dolayısıyla aşırı su çekimi sonucunda deniz suyu, yeraltı su akiferlerine karışıp tuzlanmasına neden olmaktadır. Türkiye ve Avrupa’da tuzlu su girişimi ve yeraltı suyu çekiminin dağılımı Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7: Türkiye ve Avrupa’da tuzlu su girişimi ve yeraltı suyu çekiminin dağılımı (EEA, 2019)

Türkiye 3 taraftan deniz ile çevrilmiş durumda, toplam 81 ilden 28 ilin denize kıyısı olup denize kıyısı olan iller ülke nüfusunun %54,87’sini oluşturmaktadır. Avrupa Çevre Ajansı (EEA), raporuna göre Türkiye’nin denize kıyısı olan şehirlerde özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinde yeraltı su kaynaklarının bilinçsiz şekilde aşırı çekilmesi tuzlu deniz suyunun yeraltı su akiferlerine girmesine sebep olmuştur.

1.4. Deniz Suyu Girişiminin Kontrol Metotları

Son zamanlarda, yeraltı su kaynaklarını korumak amacıyla tuzlu su girişiminin kontrolü için çeşitli modellere odaklanılmıştır. Denize kıyısı olan yerleşimlerde, yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine sebep olan deniz suyu girişimi en önemli sorunlardan biridir.

Yeraltı su kaynakları, dünyadaki tükenmekte olan toplam tatlı suyun üçte birini oluşturmaktadır ve özellikle dünya nüfusunun %70’inin yaşadığı kıyı bölgelerde en çok kullanılan su kaynağıdır (Bear ve ark., 1999). Deniz suyu girişiminin en etkin çözümü akiferdeki pompaj ile besleme arasındaki dengeyi korumaktır. Bu konu ile ilgili yıllardır farklı araştırmacılar tarafından farklı metotlar geliştirilmiştir. Önerilen metotların birçoğu ekonomik açıdan uygulaması mümkün olmayan tekniklerdir. Çünkü bunlar uzun vadeli çözümler olarak düşünülebilir ve tatlı su ile tuzlu su arasındaki dinamik denge yeniden kurulana kadar en az on yıllık bir süreye ihtiyaç duymaktadır (Bear ve ark., 1999).

Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini kontrol etmek için çok çeşitli önlemler geliştirilmiştir. Örneğin Todd (1974) aşağıdaki gibi farklı yöntemler önermiştir:

- 1- Pompaj oranının azaltılması,
- 2- Pompaj kuyularının yerinin değiştirilmesi,
- 3- Yeraltı bariyerlerinin kullanılması,
- 4- Doğal besleme,
- 5- Suni besleme,
- 6- Tuzlu suyun boşaltılması
- 7- Kombinasyon teknikleri.

Deniz suyu girişimine neden olan ilgili sürecin anlaşılması ve en uygun kontrol metotlarının belirlenmesi için sayısal modeller geliştirilmiştir. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini araştırmak için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Ancak, deniz suyu girişiminin kontrolü ile ilgili çalışmalar sınırlıdır.

1.5. Pompaj Oranının Azaltılması

Kıyı akiferlerinden aşırı su çekimi ve diğer insani faaliyetler yeraltı su seviyesini düşürerek tatlı su ile tuzlu su arasındaki doğal dengeyi bozmaktadır. Dolayısıyla, denize akan yeraltı tatlı su miktarının azalması deniz suyu girişimine sebep olmaktadır. Kıyı yerleşimlerde kıyı boyunca açılan kuyulardan aşırı pompaj, deniz suyu girişiminin ana sebebidir. Deniz suyu girişimine neden olan diğer parametreler pompaj ile karşılaştırıldığında daha küçük bir etkiye sahiptir. Kıyı bölgelerindeki nüfusun hızla artması, su talebini ve buna bağlı olarak pompaj oranını da artırmıştır. Pompaj oranının düşürülmesinin amacı, yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılması ve bunun yanında su ihtiyacını karşılamak için alternatif diğer su kaynaklarının da kullanılmasına teşvik edilmesidir. Bu amaca ulaşmak için aşağıdaki tedbirler faydalı olacaktır:

- (1) Su tasarrufu için suyun gerekliliğine dair kamu bilincinin artırılması,
- (2) Su dağıtım sistemlerinden kaynaklanan kayıpların azaltılması,
- (3) Ürün çeşidinin değiştirilmesi ve damla sulama, kanal kaplama vb. gibi sulama için yeni yöntemler kullanılarak sulamada su ihtiyacının azaltılması,
- (4) Uygun arıtmadan sonra atıksuyun endüstriyel su kullanımı için yeniden kullanılması,
- (5) Arıtılmış atık suların soğutma proseslerinde, zirai sulamada ve yeraltı su beslemesi için yeniden kullanılması,
- (6) Deniz suyunun tuzdan arındırılması.

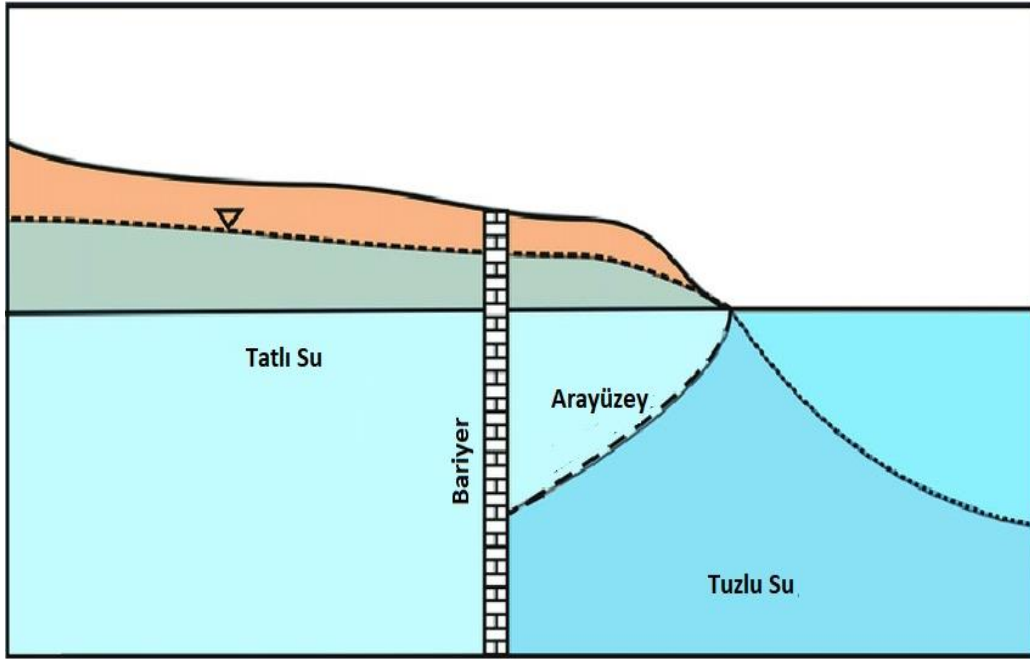
1.6. Pompaj Kuyularının Yerinin Değiştirilmesi

Deniz suyu girişiminin kontrolü için akiferdeki pompaj oranları azaltılarak veya kuyulardan su çekimi optimize edilerek bir dizi kullanım modeli geliştirilmiştir. Scholze ve ark. (2002), Cebu'daki kıyı akiferinde deniz suyu girişimini simüle etmek için SHEMAT kodunu kullanmışlardır. Yeraltı su kaynaklarının korunması ve tuzlu su girişiminin önlenmesi için yeraltı su seviyesinde tüketim nedeniyle meydana gelecek değişikliklerle ilgili farklı senaryolar uygulamışlardır. Zhou ve ark. (2003) yeraltı su seviyelerinin mekânsal ve zamansal dağılımını simüle etmek için yarı üç boyutlu bir sonlu eleman modeli kullanmıştır. Modelin amacı, tuzlu su girişiminin kontrolü için kuyuların yerleri değiştirilerek kapalı akiferden pompaj oranının en üst seviyeye çıkarılması hedeflenmiştir. Amaziane ve ark. (2004), pompaj oranlarının optimizasyonu için bir genetik algoritma geliştirerek tuzlu su girişimini araştırmıştır. Qahman ve Larabi (2004), Filistin'in Gazze akiferlerinde, SEWAT kodu kullanarak deniz suyu girişimine sebep olan akiferden aşırı su çekimini incelemiştir. Yapılan çalışmada farklı senaryoların, zaman içinde değişik pompaj oranları dikkate alınarak deniz suyu girişimini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Bhattacharjya ve Datta (2004), çekilen suyun tuz konsantrasyonlarını tahmin etmek için kıyı akiferindeki akış ve çözünüm taşınımı için simülatör olarak yapay sinir ağı kullanmışlardır. Yönetim modelinin amacı, faydalı kullanım için kıyı Akiflerinden gelen yeraltı suyunun izin verilen optimal soyutlamasını en üst düzeye çıkarmak ve belirli izin verilen sınırlar altında pompalanan sudaki tuz konsantrasyonunu korumaktır. Kuyuların daha iç kısımlara taşınması, koni oluşumunu engelleyerek tuzlu su girişimini azaltmaya yardımcı olması, bu metodun avantajı olarak değerlendirilebilir. Geçici bir çözüm olmakla beraber maliyetli bir yöntemdir ve tuzlu suyun akifer içine girmesini engellemez.

1.7. Yeraltı Bariyerlerinin Kullanılması

Yeraltı bariyerlerin kurulması, akiferdeki geçirgenliği azaltarak deniz suyunun yer altı tatlı suyuna akmasını engellemektedir. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için kullanılan yeraltı bariyerinin örneği aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1.8: Yeraltı su bariyerinin şematik gösterimi (Vengadesan ve Lakshmanan, 2019)

1.8. Doğal Besleme

Doğal beslenmenin amacı yağış sularının ve/veya yüzeysel suların doğrudan denize akmasını engellemek için baraj veya savaklar inşa ederek bu suların yeraltındaki akiferlere doğal olarak süzülmesini sağlamaktır. Bu yöntemle, sular toprak içinden süzülerek yeraltı suyuna ulaşırlar ve bu durum yeraltı suyu hacmini artırmaktadır. Böylelikle deniz suyu girişi önlenmiş olur. Doğal beslenme, geçirgenliği yüksek olan topraklar için uygun bir metot olmasına rağmen maliyetli bir yöntemdir ve bunun yanında suyun akifere ulaşması da uzun sürebilir. Dolayısıyla, kapalı ve derin akiferler için uygun bir yöntem değildir.

1.9. Suni Besleme

Suni besleme, yeraltı su seviyesini artırarak deniz suyu girişimini önlemede yaygın olarak kullanılan bir metottur. Suni beslenme metodunda serbest akiferlerde yüzeysel yayılma ve kapalı akiferler için deşarj kuyuları yöntemi uygulanarak yeraltı su seviyesi

artırılmaktadır. Bu metotta yüzeysel sular, arıtılmış atıksular, denizden arındırılmış sular su kaynağı olarak kullanılabilir. Bu metotta yüzeysel sular, arıtılmış atıksular, denizden arındırılmış sular su kaynağı olarak kullanılabilir.

1.10. Tuzlu Suyun Boşaltması

Bu metotta yeraltındaki acı sular çekilerek denize tekrar boşaltılmaktadır. Böylelikle yeraltı tuzlu su hacminin azalmasıyla tatlı-tuzlu su arasındaki denge sabit tutulabilmektedir. Bu yöntemin en büyük avantajı koni oluşumunun engellenmesidir. Ancak en önemli sorun ise acı suyun bertaraf edilmesidir. Acı sular sadece belirli bitki türleri için uygundur ve endüstrilerde soğutma proseslerinde korozyona sebep olmaktadır. Bununla birlikte denize deşarj edilmesi de denizdeki yaşayan canlılar, balıkçılık ve turizm faaliyetlerini etkileyebilir.

1.11.Kombinasyon Teknikler

Yukarıdaki yöntemlerden iki veya daha fazlasının birlikte kullanılmasına kombinasyon teknikler denir. Kombinasyon tekniğinin avantajı, diğer yöntemlerdeki dezavantajların ortadan kaldırılması ve deniz suyu girişiminin önlenmesinde daha çok etkili olmasıdır. Örneğin, yeraltı acı sularının çekimi ve aynı zamanda akiferin diğer arıtılmış atıksular ile beslenmesi gibi kombinasyon teknikler, tuzlu su seviyesini düşürürken tatlı su seviyesini artırılabilir ve bu şekilde tatlı-tuzlu su arasındaki dengenin sabit tutulmasında daha etkili olabilir.

1.12. Deniz Suyu Girişiminin Araştırma ve Kontrol Metotları

Kıyı bölgelerde yeraltı suları en önemli su kaynaklarından biridir. Bu alanlarda nüfusun sürekli artışıyla su talebi de artmaktadır ve buna paralel olarak pompaj oranı da gün gittikçe yükseliş göstermektedir. Kıyı bölgelerde aşırı pompaj deniz suyu girişiminin ana sebeplerinden biridir. Normal şartlarda, tatlı sular denize doğru ilerlemektedir. Ancak aşırı su çekiminden dolayı bu olayın tersine deniz suyu, tatlı su akiferlerine doğru ilerleyip yeraltındaki tatlı su akiferlerinin kirlenmesine sebep olabilmektedir. Denizdeki tuzlu suyun yeraltındaki tatlı su akiferlerine girmesi deniz suyu girişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu olay kıyı bölgelerde yaygın olarak görülmektedir. Çünkü bu bölgelerdeki akiferler deniz ile hidrolik temas halindedir. Deniz suyu girişimi, tatlı-tuzlu su arasındaki kütle değişikliğinde ters orantılı bir rol oynar yani tuzlu su miktarı artarken tatlı su miktarı azalmaktadır. Yeraltı sularının tuzlanması özel kirlilik sınıfına girmektedir. Çünkü az miktarda tuzlu suyun (%2 ile 3) yeraltı su ile karıştırılması tatlı su kaynaklarını kullanılmaz hale getirebilir. Böylelikle tuz

konsantrasyonunun içme suyu standartlarını aşabilir ve tatlı su kuyularının kapatılması ile sonuçlanabilir. Bu nedenle, kıyı bölgelerde deniz suyu girişi önlenmelidir ve yeraltı su kaynaklarımızı tehdit eden bu gibi sorunları en aza indirmek için tedbirler alınıp etkin metotlar geliştirilmelidir.

Deniz suyu girişiminin önlenmesi için, denizdeki tuzlu su ile akiferdeki tatlı su arasında bulunan doğal hidrolik dengeyi sabit tutmak gerekmektedir. Bu bölümde, deniz suyu girişi ile ilgili önce sebepleri, girişim mekanizmaları ve sayısal benzetim modellemesi (simülasyon) hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra DSG kontrolü için var olan metotlardan bahsedilecektir.

1.13. Deniz Suyu Girişiminin Araştırma Yöntemleri

Kıyı bölgelerde tuzlanma sürecini analiz edebilmek için akiferin hem jeolojik hem de hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması gerekmektedir. Kıyı akiferlerde deniz suyu girişi, jeofizik ve jeokimyasal yöntemler de dâhil olmak üzere birçok yöntemle araştırılmaktadır. Bu konu ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır ve farklı analitik ve sayısal modeller geliştirilmiştir. Bütün çalışmalar iki amaç doğrultusunda yapılmıştır; tatlı-tuzlu su arayüzünün konumunu tespit etmek ve su seviyesi ile tuzluluk oranındaki değişiklikleri tahmin etmektir. Burada deniz suyu girişi ile ilgili kullanılan araştırma yöntemleri hakkında kısaca bilgi verilecektir.

1.13.1 Jeofizik araştırmalar

Denizdeki tuzlu su, yüksek oranda toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) içermektedir. Dolayısıyla bu suyun tatlı suya doğru ilerlerken deniz suyu girişi kolayca anlaşılabilir. Tuzluluk derecesi, yeraltında bulunan tatlı-tuzlu su arasındaki geçiş bölgesinde değişmektedir. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin olup olmadığını belirlemek için izohips (eş yükselti eğrisi) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. İzohips yöntemine göre, yeraltı suyu tuzluluk derecesini ölçerken, TÇKM =1000 mg/L olması durumu deniz suyu girişiminin etkisi altındaki alanı işaret etmektedir. TÇKM konsantrasyona göre su tipleri Amerika Jeolojik Araştırma Merkezi tarafından aşağıdaki tabloda verilmiştir. Toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) içeriğine göre su tipleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1: Toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) içeriğine göre su tipleri

TÇKM (ppm) veya (mg/L)	Su Tipi
<1000	Tatlı su
1000 - 3000	Az tuzlu
3000 - 10000	Orta tuzlu
10000 - 35000	Çok tuzlu
> 35000	Deniz (brine)

Jeofizik yöntemler, sismik hızın kütle iletkenliği gibi yeryüzündeki fiziksel özelliklerinin mekânsal dağılımını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Hidrojeolojik araştırmalar için çeşitli jeofizik yöntemler kullanılabilir (Bear ve ark., 1999). Bu yöntemler sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- 1) Yüzey jeofizik yöntemleri;
 - Elektrik yöntemleri: Örneğin DC öz direnç, frekans etki alanı elektromanyetik yöntemleri, hava kaynaklı EM, ilmek döngü EM, zaman alanlı elektromanyetik sondaj ve çok düşük frekans EM,
 - Sismik yöntemler: örneğin sismik kırılma ve sismik yansıma,
 - Yere nüfuz eden radar.
- 2) Sondaj yöntemleri;
 - Elektrik kayıtları (Electric logs),
 - Radyometrik kayıtları (Radiometric logs),
 - Sondaj kayıtlarının entegre kullanımı (Integrated use of borehole logs).
- 3) Entegre jeofizik araştırmaları.

Birçok araştırmacı, deniz suyu girişi ile ilgili çalışmalarında jeofizik yöntemlerini kullanmıştır. Melloul ve Goldenberg (1997), kıyı akiferlerinde tuzlu su girişimini farklı yöntemlerle araştırmıştır. Yeraltı suyu tuzluluk profili ile gözlem ve pompaj kuyularındaki yeraltı suyu örnekleme için doğrudan yöntemleri kullanırken, dolaylı yöntemler için jeoelektromanyetik ve zaman alanı elektromanyetik yöntemini kullanmıştır. Mulrennan ve Woodroffe (1998), gelgitlerin etkisinden kaynaklı tuzlu su girişiminin sürecini incelemiştir. Nowroozi ve ark. (1999), Virginia'nın doğu kıyısındaki tatlı-tuzlu su ara yüzeyinin belirlenmesinde Schlumberger sondaj öz direnç metodunu kullanmıştır. Willert ve ark. (2001), DC-jeoelektrik ölçümleri ile Almanya'da Bermerhaven ve Cuxhaven arsındaki tuzlu su girişimi ile bölgedeki su kalitesi ve miktarını tahmin edebilmek için kıyı akifer test alanı (CAT-Field) kullanarak 3-boyutlu sayısal bir model geliştirmiştir. Thomas ve ark. (2001), tuzlu su girişiminin kontrolü için enjeksiyon kuyuları ile enjekte edilecek artırılmış atık suların kısmi yer değiştirmesinin uygulanabilirliğini değerlendirmek ve belirlemek için bir dizi çalışmalar yapmıştır. Maimone (2001), tuzlu su girişini simüle etmek için sayısal bir model

geliştirmiş ve girişim ara yüzeyinin yerini belirlemek ve model sonuçlarının doğruluğunu teyit etmek için zaman alanı elektromanyetik tekniğini kullanmıştır. Fitterman ve Deszcz-Pan (2001), Florida Everglades Ulusal Parkı'nda tuzlu su girişiminin haritasını oluşturmak için hava kaynaklı elektromanyetik tekniği kullanılmıştır. Ekwurzel ve ark. (2001), Fas'taki Souss Massa havzasında tuzlanma kaynağını belirlemek için izotopları kullanarak hidrojeolojik bir araştırma yürütmüştür. Tulipano ve Fidelibus (2002), İtalya'nın güneyindeki Salento Yarımadası'nın Puglia bölgesinde son 30 yıl boyunca bulunan tuzlu su girişiminin tarihini incelemiştir ve aşırı pompaja maruz kalan karstik akiferlerde tuzlanmayı tanımlamak ve ölçmek için yeni bir metodoloji geliştirmiştir. Rao ve Rao (2004), Hindistan'ın Krishna deltasında tatlı-tuzlu su ara yüzeyinin hareketini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada arıtılmış atıksu ve endüstriyel atık su bariyerlerini kullanarak tuzlu su girişiminin kontrolünü incelemiştir. Pina ve ark. (2004), Santiago adasına tuzlu su girişi riski altında olan alanları belirlemek için yeraltı su kalitesini incelemiş ve deniz suyu girişimini azaltmak için hafifletici önlemler geliştirmiştir. Lazar ve ark. (2004), elektriksel iletkenlik ölçümleri ile tatlı-tuzlu su ara yüzeyi boyunca gelgitlerinden dolayı meydana gelen dalgalanmaları karakterize etmiştir. Bocanegra ve Massone (2004) Latin Amerika ve Karayipler'deki orta ve büyük şehirlerde kıyı akiferlerini analiz etmişler ve Küba, Meksika, Kolombiya, Brezilya ve Arjantin'de meydana gelen tuzluluğun ilerlemesini önlemek için bir model geliştirmişlerdir. Qurtobi ve ark. (2004), Fas'ın güneybatısındaki Souss-Massa havzasında izotop teknikleri kullanarak akifere ve tuzluluk bölgesine deşarj mekanizmasını ve bunun yeraltı su kaynaklarına olan etkisini belirlemeye yönelik araştırma yapmışlardır. Levi ve ark. (2010), deniz suyu ile yeraltı suyu arasındaki ilişkileri incelemek için birleşik yüksek çözünürlüklü elektrik dirençli tomografi ve doğru zaman alanlı elektromanyetik ölçümler kullanarak jeofizik bir çalışma yürütmüştür. Yaptıkları çalışmada, yüksek çözünürlük ve doğru jeoelektrik/jeoelektromanyetik yöntemlerle, denizden en yakın tatlı su akiferine beklenen tuzlu su girişiminin boyutunun belirlenmesini hedeflemişlerdir. Sherif ve ark. (2010) jeofizik teknikleri kullanarak akiferdeki deniz suyu girişiminin yapı ve boyutunu belirlemek için saha araştırmaları yapmıştır. Yaptıkları saha çalışmasında, toprak öz dirençle görüntüleme araştırma sonuçları ile su örneklerinin kimyasal analizlerini kullanarak, toprak direnci ile toplam çözünmüş katı madde miktarı arasında ampirik bir ilişki elde etmişlerdir.

1.13.2. Jeokimyasal araştırmalar

Kıyı bölgelerde, deniz suyu girişiminin birçok mekanizması vardır. Bu mekanizmaların çeşitli sınıflara ayrılması gerekmektedir. Böylece kıyı akiferlerinde tuzlanmanın kökeni, yönü ve oranı kolay bir şekilde belirlenmiş olacaktır. Kıyı akiferlerinde, deniz suyu girişiminin kaynağını belirlemek için çeşitli jeokimyasal kriterler kullanılabilir (Bear ve ark., 1999):

- b) Cl-konsantrasyonu: Yeraltı sularında 200 mg/L'lik Cl konsantrasyonu, tuzlu su girişiminin indeksi olarak kullanılmaktadır.
- c) Cl/Br oranları: Bromür iyonu tuzlu su girişiminin iyi bir göstergesi olarak bilinmektedir. Tatlı sularda bromür konsantrasyonu 0,01 mg/L'den azdır.
- d) Na/Cl oranı.
- e) Ca/Mg, Ca/(HCO₃+SO₄) oranı.
- f) O ve H izotopları.
- g) Bor izotopları.

Deniz suyu girişiminin araştırılmasında, jeokimyasal yöntemlerin kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Zubari (1999), kıyı akiferlerde hem tuzlanma kaynağını hem de etki alanını belirlemek için hidrokimyasal çalışma yapmıştır. Edet ve Okereke (2001), Nijerya'nın güneydoğusunda sığ akiferler için dikey elektrik sondaj ve hidrokimyasal verileri kullanarak deniz suyu girişiminin boyutunu incelemiştir. Gaye (2001), yeraltı sularında tuzluluk kaynağının belirlenmesi ve önlenmesi için entegre edilmiş jeokimyasal ve izotopik yöntemlerinin kullanılmasında gerekli aşamaları incelemiştir. Vallejos ve ark. (2004), yeraltı suyu bileşimindeki değışikliklere neden olan süreci değıerlendirmek için iletkenlik ve su sıcaklık diyagramları ile hidrokimyasal verileri incelemiştir. Demirel (2004), zamana bağılı deniz suyu girişiminin boyutunu ve tarihini incelemek için kimyasal analiz ve elektriksel iletkenlik ölçümlerini kullanmıştır. Christensen ve ark. (2001), Danimarka'nın Shanshage kentinde sığ bir akiferde tuzlu su girişiminin jeokimyasal ve fiziksel yönlerinin yanında bunların etkileşimlerini de incelemiştir. Allen ve ark. (2001), Kanada Körfezi'ndeki tuzlu su girişiminin yer altı sularında oluşumu ve yapısını incelemek için hidrokimyasal örnekleme ve sondaj jeofiziğı içeren çok disiplinli bir çalışma sunmuştur. Sherif ve ark. (2005), deniz suyu girişiminin belirlenmesi için 2-D toprak özdirenç araştırmalarını yapmıştır. Yapılan çalışmada, izleme kuyularında tuzlu su girişiminin yatay ve dikey değışimleri ölçülerek toprak özdirenç görüntülemesiyle ilgili veriler elde etmişlerdir. Daha sonra dikey elektrik sondajlarının sonuçlarını ve su numunelerinin kimyasal elektrik analizlerini kullanarak toprak

özdirenci ile toplam çözünmüş katı madde miktarı arasındaki ampirik bir ilişki elde etmişlerdir. Bu ilişki, su taşıyıcı formasyonunun (taze, acı ve tuzlu su bölgeleri) her üç bölgesini tanımlamak için 2 boyutlu özdirenç verilerinin inversiyonundan kaynaklanan gerçek özdirenç bölümleri ile birlikte kullanılmıştır. EL Moujabber ve ark. (2006), Lübnan'ın Choueifat-Rmeyle bölgesinde, deniz suyu girişimini araştırmak için alınan su numuneleri üzerinde fiziko-kimyasal analizler yapmıştır.

1.14. Deneysel Çalışmalar

Bazı araştırmacılar deniz suyu girişimini araştırmak için deneysel çalışmalar yapmıştır. Koch ve Starke (2001), laboratuvarında 10 m uzunluğunda, 1,2 m yüksekliğinde ve 10 cm genişliğinde plastik bir tank (pleksiglass) inşa etmişler ve heterojen bir akifer ortamının stokastik bir gerçekleşme içinde yoğunluğa bağlı akışın 2-boyutlu izleyici makro dispersiyonunu gözlemlemişlerdir. Van Meir ve ark. (2004), arazide inşa ettikleri laboratuvarlarında anlamlı bir heterojenlik seviyesine sahip entegre edilmiş birtakım araçlar geliştirerek sert kayalık akiferlerde deniz suyu girişiminin sürecini karakterize etmişlerdir. Çalışmada jeofizik ve hidrolik incelemelerin nihai hedefi, belirli deniz suyu girişim deneylerini analiz etmek için 3-boyutlu gözeneklilik ve geçirgenlik modelleri girdi olarak uygulanmıştır. Mukhopadhyay ve ark. (2004), suni beslemenin gözeneklilik ve geçirgenlik gibi akifer özelliklerine etkisini belirlemek için laboratuvar çalışmaları yapmıştır. Motz (2004), akiferin tuzlanmış kısmı ile ara yüzeyi boyunca akışsız bir sınır bulmak için aktif olmayan hücreleri kullanmıştır. Çalışmada tatlı su bölgesinde yeraltı suyu akış modeliyle, hidrolik yükün doğru değerlerini elde ederek tatlı-tuzlu su ara yüzeyine nasıl yaklaşılabileceğini araştırmak için bir dizi sayısal deneyler gerçekleştirmiştir.

1.15. Matematiksel Modeller

Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini incelemek için çeşitli analitik ve sayısal modeller geliştirilmiştir. Mohsen ve ark. (1990), kıyı akiferlerde aşırı pompajın piyezometrik çizginin düşmesine olan etkisini araştırmak için 2-boyutlu sonlu elemanlar kullanan bir model geliştirmişlerdir. Panday (1995), analitik büyütme çözümleri ve modellenen fiziksel sistemle ilgili sayısal çözümler hakkında yeni bir bakış açısı sağlamıştır. Gafouri ve Parsa (1998), deniz suyu girişiminin istenmeyen etkilerini azaltmak amacıyla, haliçlerde akış ve tuz hareketinin hidrodinamiğini simüle etmek için farklı bir sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Tsutsumi ve ark. (2001), tatlı/tuzlu suların hareketini ve kıyı akiferlerindeki tatlı/tuzlu su ara

yüzeyinin derinliğini tahmin etmek için yeraltı suyu modülü ile sayısal bir model geliştirmiştir. Teatini ve ark. (2001), sığ kapalı akiferlerde deniz suyu girişimini simüle etmek için sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Qahman ve Zhou (2001), Filistin'in kuzey bölgesinde deniz suyu girişimini simüle etmek için bilgisayar kodu olan SUTRA (Değişken Yoğunluktaki Yeraltı Suyu Akım ve Taşınım) uygulamıştır. Prieto ve ark. (2001), İsrail'in Nitzamin bölgesinde, deniz suyu girişimi dinamiğinin, bağlı pompaj ile yapay ve doğal beslemenin mevsimsel değişim etkilerini analiz etmek için SUTRA kodunu uygulamıştır. Zhang (2002), üç boyutlu, sürekli tek boyutlu problemlere bölünebilen sonlu eleman dönüşümlü ve yönelimli şemaları karakterize etmiştir. Bu şema, üç boyutlu deniz suyu girişimini analiz etmek için kullanılmıştır. Oude Essink ve Schaars (2002), MOCDENS3D kodunu kullanarak, yoğunluğa bağlı yeraltı suyu akışını, ısı ve tuzluluk dağılımını ve yüzey suyu sistemine sızıntı ve tuz yükünün akışını simüle etmek için bir model geliştirmişlerdir. Model, iklim değişikliği, deniz seviyesi artışı, arazi çökmesi ve insan faaliyetleri gibi gelecekteki olayların yeraltı suyu sisteminin nitelik ve nicelikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. İsih ve Karahanoğlu (2004), deniz seviyesindeki madencilik işletmesinin altındaki bulunan kıyı akiferde deniz suyu girişimini simüle etmek için yarı üç boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanmıştır. Vazquez ve ark. (2005), İspanya'nın Barselona şehrindeki Llobregat deltasında deniz suyu girişimini araştırmak için sayısal bir model geliştirmiştir. Lee (2004), SUTRA kodunu kullanarak çeşitli senaryolar ile deniz suyunun kıyı boyunca hareketini ve susuzlaştırma etkilerini incelemiştir.

Matematiksel modeller, kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimi ile ilgili süreçlerin belirlenmesinde etkili bir yöntemdir (Bear ve ark., 1999). Yıllardır tatlı-tuzlu su ara yüzeyinin yerini ve hareketini tahmin etmek için çok sayıda analitik ve sayısal model kullanılmıştır. Sayısal modeller keskin ara yüzey modelleri (sharp interace) veya difüzyon ara yüzey modelleri (diffusive or dispersive) olarak sınıflandırılabilir. Deniz suyu girişimini modellemek için ilk çalışmalar Ghyben (1888) ve Herzberg (1901) tarafından yapılmıştır. Tatlı ve tuzlu suların birbirine karışmadığını ve keskin bir ara yüzey ile ayrıldığını varsayan bu model Ghyben-Herzberg modeli olarak bilinmektedir. Keskin ara yüzey varsayımına dayanarak Hubbert (1940; Henry, 1959), kıyı akiferlerinde sürekli deniz suyu girişiminin sayısal çözümlerini elde etmişlerdir.

Bu varsayım, tatlı-tuzlu su arasındaki ara yüzeyin kesin olarak birbirinden bir doğru üzerinde ayrılmasına dayanmaktadır. Hâlbuki pratikte ara yüzey keskin olarak davranmaz ve tuzlu su, mekanik dispersiyonla tatlı su ile kademeli olarak birleşmektedir. Dispersiyon zonunun genişliği, akiferin özelliklerine ve gelgitler nedeniyle suyun içindeki partiküllerinin

hareketi veya deşarj nedeniyle oluşan dalgalanmalara bağlı olarak değişmektedir (Cooper, 1959). Keskin ara yüzey varsayımı, bazı alan koşullarında, geçiş bölgesi nispeten dar ise, tatlı su desenine (freshwater pattern) bir ilk yaklaşım elde etmek için uygulanabilir. Aksi halde bu olayın öğrenilmesi için dispersiyon işlemi dikkate alınarak tuzlu suyun, hareketli tatlı su içinde davranışlarının belirlenmesi gerekmektedir (Kohout, 1960). Yıllardır tatlı-tuzlu su arasındaki ara yüzey veya geçiş bölgesini tahmin etmek için birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Rifai ve ark. (1956; Ogata, 1959) dispersiyon katsayısının hız ile orantılı olduğunu ve yanal yönüne göre hız yönünde daha çok büyük olduğunu belirtmişler. Henry (1964), kararlı koşullar altında kapalı kıyı akiferinde dispersiyon etkisi de dâhil olmak üzere ilk analitik çözümü geliştirmiştir. Daha sonra Henry'nin problemi akım fonksiyonları açısından Lee ve Cheng (1974) tarafından çözülmüştür. Segol ve ark. (1975), Galerkin sonlu elemanlar metodunu kullanarak hıza bağlı dispersiyon katsayısına dayanan ilk geçici çözümü geliştirmiştir. Pinder ve Cooper (1970; Frind, 1982; Huyakorn ve ark.,1987) gibi birçok araştırmacı difüzyon ara yüzey yaklaşımı ile tuzlu su girişiminin simülasyonunda sayısal modeller geliştirmişlerdir.

Kıyı bölgelerde yeraltı su kaynaklarının korunması için deniz suyu girişim mekanizmalarının belirlenmesi ve kontrollü için yeni yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla dünyanın pek çok yerinde kapsamlı araştırmalar yürütülmektedir. Şimdiye dek geliştirilen sayısal modeller farklı kavramlara dayanmaktadır ve var olan bu metotlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- 1- Keskin arayüzey veya difüzyon arayüzey (yoğunluğa bağlı) modelleri,
- 2- Doymuş veya doymamış akış modelleri,
- 3- Geçici veya karalı akış modelleri.

1.15.1. Keskin arayüzey ve difüzyon arayüzey modelleri

Keskin arayüzey varsayımına dayalı olarak deniz suyu girişimini simüle etmek için bir dizi matematiksel model geliştirilmiştir. Son zamanlarda, araştırmacılar daha çok gerçekçi olan difüzyon arayüzey (yoğunluğa bağlı) modellerine odaklanmaktadır.

1.15.2. Keskin arayüzey modelleri

Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin modellemesi yeni bir konu değildir. Bu konu ile ilgili yıllardır çalışmalar devam etmektedir. Deniz suyu girişimiyle ilgili ilk model Ghyben (1988; Herzberg, 1901) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu basit model Ghyben-Herzberg modeli olarak bilinir. Model, tatlı-tuzlu su arasındaki hidrostatik bir

dengeye dayanmaktadır (Şekil 1.9). Ghyben-Herzberg matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir. Tatlı-tuzlu su arasındaki hidrostatik dengeyi gösteren şematik gösterimi Şekil 1.8’de gösterilmiştir.

$$h_s = \left(\frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \right) h_f \quad (1.1)$$

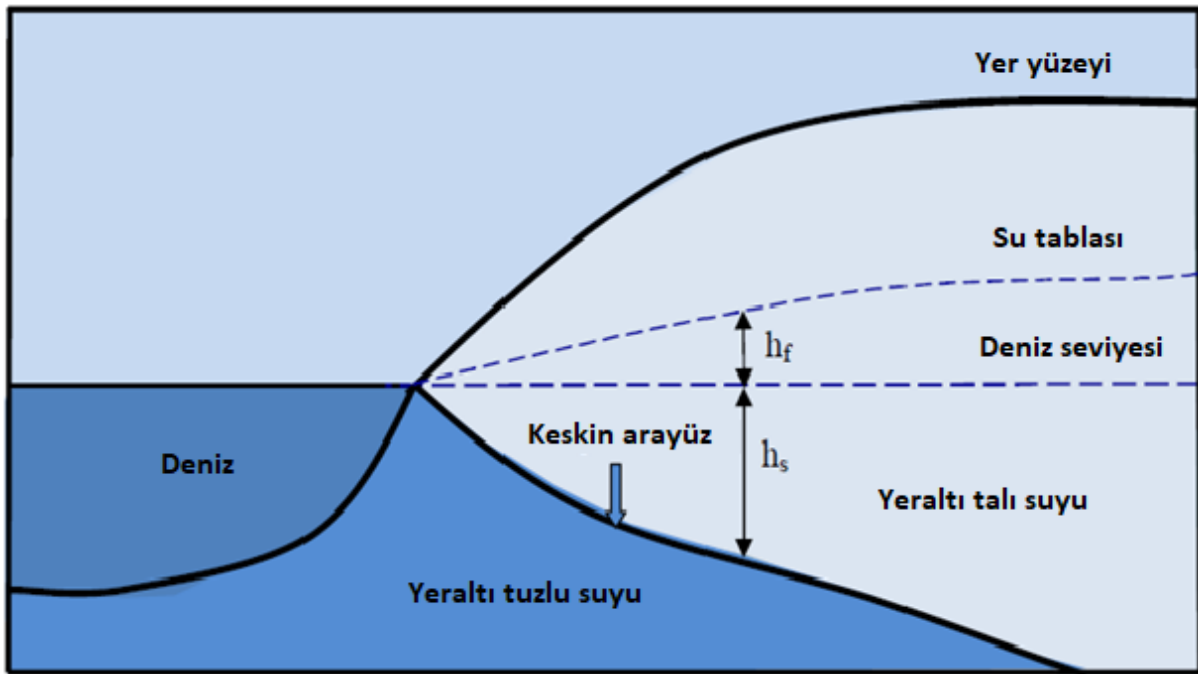
Burada;

ρ_s : deniz suyu yoğunluğu,

ρ_f : tatlı suyu yoğunluğu,

h_s : ortalama deniz seviyesinin altındaki arayüzey derinliği,

h_f : ortalama deniz seviyesinin üzerindeki tatlı su piyezometrik yüksekliği, göstermektedir.



Şekil 1.9: Tatlı-tuzlu su arasındaki hidrostatik dengeyi gösteren şematik gösterimi (Abd-Alhamid, 2010)

Ghyben-Herzberg denkleminde göre denizdeki tuzlu su yoğunluğu 1025 kg/m^3 ve yeraltı tatlı su yoğunluğu 1000 kg/m^3 alınır; $h_s = 40 h_f$ bulunur. Bir başka deyişle, ara yüzeye olan derinliğin, deniz seviyesi üzerindeki su tablası yüksekliğinin 40 katı olacağı öngörülmektedir.

Keskin ara yüzey varsayımı dayalı olarak deniz suyu girişimini simüle etmek için çeşitli matematiksel ve sayısal modeller geliştirilmiştir. Sbai ve ark. (1998), tatlı su ile tuzlu suyun karışmadığı keskin ara yüzey varsayımına dayanarak kararlı durum ve geçici koşullar altında deniz suyu girişiminin tahmini için sonlu elemanlar metodunu kullanmıştır. Izuka ve

Gingerich (1998), kısmi nüfuz eden bir kuyu sondajı sırasında alınan su yükseklik ölçümleri kullanılarak dikey yük eğimlerini hesaplaması için yeni bir metot geliştirmiştir. Daha sonra eğim Ghyben-Herzberg ilişkisine dayanan ara yüzey derinliğini tahmin etmek için kullanıldı. Naji ve ark. (1998), tuzlu su ile tatlı su arasındaki keskin ara yüzeyin yerini belirlemek için bir optimizasyon tekniği kullanmıştır. Kullanılan algoritma, doğrusal olmayan programlama ve h-adaptif sınır elemanı yönteminin birleşimine dayanmaktadır. Bower ve ark. (1999), kapalı bir akiferde deniz suyunun koni oluşumu ile ilgili analitik bir modelini geliştirmiştir. Geliştiren bu metot tatlı su ile tuzlu su arasındaki keskin bir ara yüzey olduğunu kanıtlamaktadır. Kıyı akifer sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ile ilgili konuları anlamak için birbiriyle ilişkili olan bir dizi kolar geliştirilmiştir. Bunlar yeraltı suyu akışı, çözünen taşıma, keskin ara yüzey ve akümle akış ve taşıma modelleme kodlarıdır. Tüm bu kodlar 3-boyutludur ve ortak veri tabanı (giriş/çıkış) dosyaları bağlantı halindedir. Çoklu akifer sistemindeki yeraltı suyu akışının simülasyonu ile akifer depolama ve geri alma, enjeksiyon bariyer kuyuları, pompalama yeri optimizasyonu ve derinlik gibi uygulamalarda bu kodlar kullanılarak değerlendirilebilir. Brunke ve Schelkes (2001), kıyı akiferlerindeki zamana bağlı davranışları simüle etmek için SIM-COAST adlı programı geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda, tatlı su ve tuzlu su arasındaki ara yüzey sadeleştirilmiştir. Marin ve ark. (2001), Karstik akiferinde tatlı su ile tuzlu su akışı keskin bir ara yüzey ile ayrıldığı varsayımına dayanarak, tatlı-tuzlu su akışını simüle etmek için yarı üç boyutlu farklı sonlu bir model kullanmıştır. Aharmouch ve Larabi (2001), aşırı yeraltı suyu çekiminden kaynaklanan deniz suyu girişiminin ara yüzeyinin yerini, şeklini ve boyutunu tahmin etmek için keskin ara yüzey varsayımına dayanan sayısal bir model geliştirmiştir. El Fleet ve Baird (2001), kıyı akiferlerinde aşırı su çekiminin tuzlu su girişimi üzerindeki etkisini tahmin etmek için 2-boyutlu 2 tabakalı keskin bir ara yüzey modeli geliştirmiştir ve modeli Libya'nın Tripoli' deki kıyı akiferine uygulamışlardır. Taylor ve ark. (2001) Henry'nin problemine uygulanan farklı kodların sonuçları arasında bir karşılaştırma yapmış ve her bir kodun hassasiyetini parametrelerdeki değişkenlere göre analizlerini yapmışlardır.

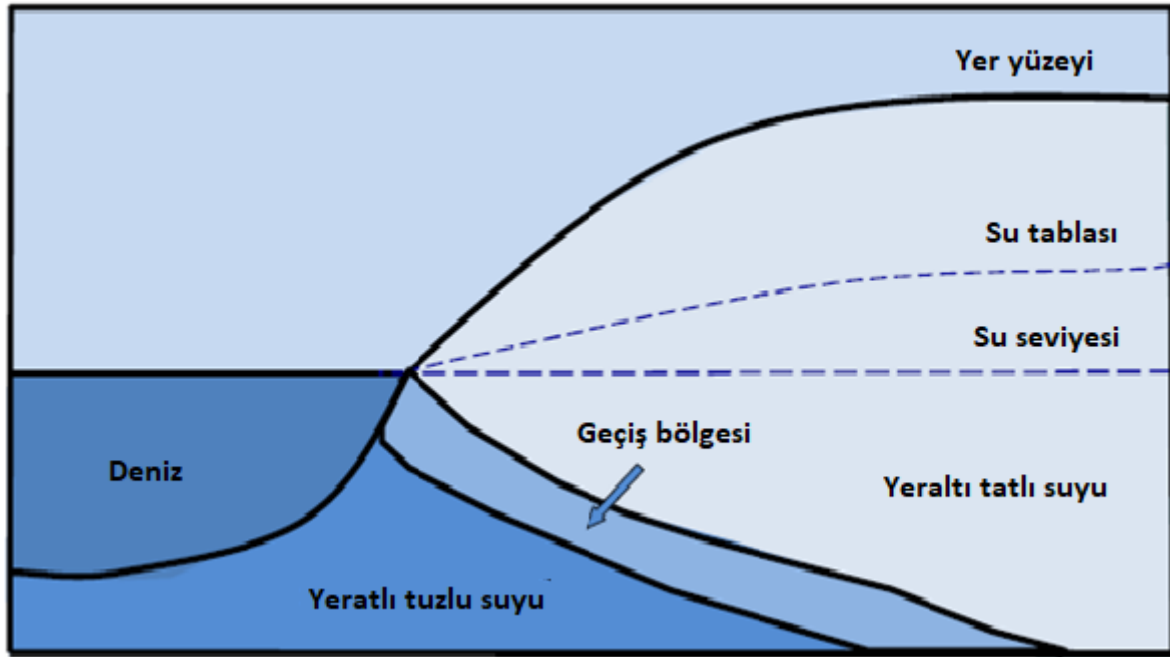
1.15.3. Difüzyon arayüzey modelleri

Tuzlu su ile yeraltı tatlı suyu, keskin bir ara yüzey veya geçiş bölgesi ile birbirinden ayrılmaktadır. Şekil 1.10'da gösterildiği gibi hidrodinamik dispersiyon ve difüzyon sonucu olarak ara yüzeyde iki farklı akışkan birbirine karıştırılıp bir geçiş bölgesi oluşturmaktadır. Bu geçiş bölgesi, deniz suyu girişiminin boyutuna ve akiferin özelliklerine bağlıdır.

Çözünmüş maddelerin hidrodinamik dağılımının bir sonucu olarak meydana gelen geçiş bölgesi, akiferin derinliğine göre geniş veya dar olabilir. Sabit akış, geçiş bölgesinin kalınlığını en aza indirirken, pompalama, yeniden besleme, gelgitler ve diğer etkenler bu bölgenin kalınlığını artırmaktadır. Aşırı pompaja maruz kalan akiferlerde, geçiş bölgesinin kalınlığı bir metreden birkaç kilometreye kadar değişebilir. Geçiş bölgesinin kalınlığı aşağıdaki faktörler bağlıdır (Todd, 1974):

- 1- Akiferin yapısı,
- 2- Akiferdeki su çekimin oranı,
- 3- Belenme değişkenliği,
- 4- Gelgitler,
- 5- İklim değişikliği.

Geçiş bölgesinin lokasyonu Şekil 1.9’da gösterilmiştir.



Şekil 1.10.: Geçiş bölgesinin lokasyonu (Abd-Alhamid, 2010)

Deniz suyu girişimini simüle etmek difüzyon ara yüzeye dayanan birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Tasi ve Kou (1998), yoğunluğa bağlı akış ve taşınımı göz önüne alarak, iki boyutlu sonlu elemanlar kodunu geliştirmiştir. Geliştirdiği simülasyon modeli, hidrolik gradyan ve hidrolik iletkenlik gibi hidrolojik ve jeolojik parametrelerin deniz suyu girişimine etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Benson ve ark. (1998), çözünmüş maddenin taşınım sırasında hız gradyanının etkisini incelemiş ve hızın çok yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla hız gradyanının çözünmüş madde hareketinin etkilediği ortaya çıkmıştır. Cheng ve ark. (1998), doymuş ve doymamış topraklar üzerine deneysel çalışmalar yaparak yoğunluğa

bağlı akış ve çözünmüş madde taşınımı için 2 boyutlu sonlu eleman modeli geliştirmiştir. Sakr (1999), yoğunluğa bağlı çözünmüş madde taşınımını simüle etmek için bir sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Geliştirdiği model, kıyı akiferlerindeki keskin ara yüzeyin hem sabit hem de kararsız hallerde limitini araştırmak için kullanmıştır. Bazı araştırmacılar tuzlu su girişimini simüle etmek için bilgisayar kodlarını kullanmışlardır. Paniconi ve ark. (2001), Tunus'un kuzeyinde yer alan Korba ovasındaki deniz suyu girişimi oluşumunu araştırmak için yoğunluğa bağlı değişken olarak doymuş akış ve karışabilir çözünmüş madde taşınımının simülasyonu yapan CODESA-3D kodunu kullanmıştır. Oude Essink (2001a, b), yaptığı çalışmada, her yüzyılda 0,5 metrelik nispi deniz seviyesi yükselmesini göz önüne alarak Texel adasında ve aynı zamanda Hollanda'nın Noord-Holland bölgesinde tuzlu su girişimini simüle etmek için üç boyutlu, yoğunluğa bağlı yeraltı suyu akış modelini (MOCDENS3D) kullanmıştır. Payne ve ark. (2001), kıyı şeridi boyunca çeşitli pompalama senaryolarının yer altı su kaynakları üzerindeki etkilerini belirlemek için SUTRA programını kullanmıştır.

Bear ve ark. (2001), yaptığı çalışmada, zamana bağlı geçiş bölgesinin oluşumu ile sıvı yoğunluğunun değişimini dikkate alarak 3 boyutlu sonlu elemanlar modelini geliştirmişlerdir. Geliştirdiği model ile İsrail'in kıyı bölgelerinde akiferin üst tabakasında açılan kuyulardan su çekiminin deniz suyu girişimine etkisini incelemiştir. Oswald ve ark. (2001), 3-boyutlu değişken yoğunluklu akış modelini geliştirerek Çin'deki bir adada çeşitli pompaj senaryolarının akiferdeki su kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Moe ve ark. (2001), Filistin'deki Gazze şehrinde kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini, tuzlu su hareketleri ve acı suyun taşınımını simüle etmek için 3-boyutlu eşdeğer yoğunluğa bağlı akış ve taşınım modelini geliştirmiştir. Lecca ve ark. (2001), Fas'ın Atlantik kıyısındaki Sahel bölgesindeki tuzlu su girişimini simüle etmek için üç boyutlu yoğunluğa bağlı sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Sabi ve ark. (2001), sabit ve geçici koşullar altında ara yüzeyin yerini tahmin etmek için sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Model, yeniden besleme ve toplam pompalama oranında meydana gelen değişimlerle akiferde oluşacak tepkileri görmek ve bunların tuzlu su girişimindeki etkilerini incelemek için Fas'ın Martil bölgesinde kıyı akiferine uygulanmıştır.

Jung ve ark. (2002), yoğunluğa bağlı yeraltı akışı ve doymamış zeminlerde çözünmüş madde taşınımını incelemek için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Gingerich and Voss (2002), Voss'un 1984 yılında geliştirdiği yeni metot sayesinde 2-boyutlu modeli 3-boyutlu modele çevirmiştir. Model, değişken yoğunluklu akış ve çözünmüş madde taşınımının yeraltı su akışına, tatlı-tuzlu su bölgesine ve tuzluluk dağılımına etkisini belirlemek için

kullanılmıştır. Abarca ve ark. (2002), üç boyutlu yoğunluğa bağlı yeraltı suyu akışı ve taşınım modelini kullanarak akiferin alt tabakasındaki topografi yapısının deniz suyu girişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Lecca ve ark. (2004), İtalya'nın Muravera kıyısında, karmaşık hidrodinamik sistem içindeki yeraltı su seviyesinin düşmesi ile ilgili mekanizmanın tam olarak kavranabilmesi için 3 boyutlu yoğunluğa bağlı akış ve kirletici taşınım kodunu kullanmıştır. Hamza (2004), tatlı su ve tuzlu su arasındaki dağılım bölgesini dikkate alarak sayısal bir model geliştirmiştir. Model, kıyı boyunca açılan kuyulardan su çekimi ile akiferin alt kısımlarında (kuyu çevresinde) meydana gelen koni oluşumunun, yeraltı suyunun tuzluluk artışı üzerindeki etkisini tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışmada, hidrodinamik dağılım ile hıza ve yoğunluğa bağlı akışın etkisi dikkate alınarak çekilen suyun kalitesini etkileyen önemli parametreler incelenmiştir. Stuyfzand ve ark. (2004), su kaynakları indeksi için tuzlanma potansiyeliyle (SAPORE) ilgili yaptığı çalışmada, ters ozmos ile yeraltı tuzlu suyu arıtılarak içme suyu olarak kullanılması ve bunun koni oluşumu üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Voudouris ve ark. (2004), Yunanistan kıyı bölgelerinde akiferden alınan su örnekleri üzerinde kimyasal analizler yaparak deniz suyu girişiminin tuzluluk dağılımı ile ilgili yöntemlerini tanımlamıştır. Bakkar ve ark. (2004), deniz suyu girişimini modellemek için MODFLOW paketini geliştirmiş ve bu modeli, zaman içerisinde yoğunluktaki değişimleri göz önünde bulundurarak, üç boyutlu tuzluluk dağılımının oluşumunu simüle etmek için kullanmıştır. Lakfifi ve ark. (2004), Fas'ın Chaouia kıyısındaki akiferde yeraltı su akışını ve tuzlu su girişimini incelemek için SEWAT koduna dayanan sayısal bir model geliştirmiştir. SEWAT kodu, hidrolik yükün ve çözünmüş madde konsantrasyonunun uzaysal ve zamansal dağılımını simüle etmek için kullanılmıştır. Doulgeris ve Zissis (2005), tatlı su ve deniz suyu arasındaki geçiş bölgesinin oluşumunu ve buna bağlı olarak da yoğunluğa bağlı akış ve taşınım etkenlerini göz önüne bulundurarak kapalı bir akiferde deniz suyu girişimini simüle etmek için üç boyutlu bir sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Shalabey ve ark. (2006), kıyı boyunca açılan kuyuların alt kısımlarından tuzlu suyun kısmi nüfuzu dikkate alınarak advectif ve dispersif tuzlu su taşınımının sayısal bir modelini geliştirmişlerdir. Sayısal model, iki farklı akış ile çözünmüş madde taşınım denklemlerinin çözümünü içermektedir. Canot ve ark. (2006), gözenekli ortamlarda geçici yoğunluklu akışın çözümü için 2-boyutlu sayısal bir model geliştirmiştir.

1.15.4. Kararlı hal ve geçici akış modelleri

Bugüne kadar, gözenekli ortamlarda eş akışkan akımı ve çözünmüş madde akım ve taşınım hareketini incelemek için çok sayıda modelleme çalışması yapılmıştır. Geçici akış modellerinin simülasyonu için yüksek hesaplamalar gerekmektedir. Bu yüzden çoğu araştırmacı daha çabuk sonuç elde etmek için kararlı hal akış modellerini tercih etmektedir. Bixio ve ark. (1998), İtalya'nın Venedik akiferinde maksimum tuzlu su girişim miktarını tahmin etmek için tamamen kararlı hal akışı ve çözünmüş madde taşınımının sonlu eleman modelini geliştirmiştir. Sadeg ve Karahanoğlu (2001) iki aşamalı sonlu elemanlar simülasyon modelini geliştirdiler. İlk aşamada, hidrostatik sistemin fiziksel parametreleri ve sınır koşulları için kararlı hal kalibrasyonunu gerçekleştirmek üzere alansal 2-boyutlu model için bir formül geliştirilmiş, ikinci aşamada ise deniz suyu girişimini, kesitsel sonlu eleman modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Sbair ve ark. (1970), kararlı hal ve geçici akış koşulları altında tuzlu su girişiminin tahmin edilmesi için sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Sakr (1999), kararlı ve kararlı olmayan koşullar için kıyı akiferlerindeki keskin ara yüzey yaklaşımının sınırlarını araştırmak için, yoğunluğa bağlı çözünmüş madde hareketini simüle etmek üzere 2 boyutlu bir sonlu eleman modeli geliştirmiştir. Liu ve ark. (2001) kıyı akiferlerinde tuzlu su girişimini simüle etmek için 2-boyutlu sonlu hacim modelini geliştirmiştir. Çalışmada, akış geçici kabul edilmiş ve sıvı yoğunluğunun değişkenliği göz önüne alınmıştır. Bear ve ark. (2001) sonlu elemanlar sistemini kullanarak 3 boyutlu bir model geliştirmiş ve modelleri, geçiş bölgesinin büyümesini ve zamanla sıvı yoğunluğunun değişimini dikkate almıştır. Shalabey ve ark. (2006), kısmen nüfuz eden pompalama kuyularının altında, advectif ve dispersif olarak tuzlu su girişimi için sayısal bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği model, eş akış ve çözünmüş madde taşınım denklemlerinin bir çözümüdür ve pompaj kuyulardan su çekimi yapılırken zaman ve mekâna bağlı akiferin tuz konsantrasyonunu hesaplamaktadır.

1.15.5. Doymuş ve doymamış akış modelleri

Doymuş zeminlerde, çözünmüş madde akım ve taşınım hareketini simüle etmek için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Yalnız doymamış bölgede bu konu ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Teatini ve ark. (2001), sıkı kapalı akiferlerde tuzlu su girişimini simüle etmek için doymuş akım ve taşınım hareketini dikkate alarak sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Cau ve ark. (2002), doymuş gözenekli ortamlarda eş akış ve çözünmüş madde taşınımını dikkate alınarak tuzlu su girişiminin nedenlerini araştırmak için CBS destekli

3 boyutlu bir model geliştirmiştir. Model, tatlı ve tuzlu suyun karışım bölgesinde farklı senaryolar ile hareketlerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Jung ve ark. (2002) doymamış zeminlerde yoğunluğa bağlı yeraltı suyu akışını ve çözünen taşınımı incelemek için 3 boyutlu bir model geliştirmiştir. Cheng ve ark. (1998), tuzlu su girişimini simüle etmek için doymuş ve doymamış gözenekli ortamlarda yoğunluğa bağlı çözünmüş madde akım ve taşınımı için bir 2-boyutlu sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Paniconi ve ark. (2001), yoğunluğa bağlı akış ve karışabilir tuz taşınımını incelemek için bir model geliştirmiş ve geliştirilen model, Tunus'un kuzeyinde Korba ovasındaki deniz suyu girişimini araştırmak için kullanılmıştır. Ayrıca, pompaj oranı, suni besleme, toprak ve akifer özellikleri ile doymamış bölge arasındaki etkiyi ve etkileşimi incelemişlerdir. Çalışmada üç boyutlu doymuş-doymamış sonlu eleman kodu olan CODESA-3D kullanılmıştır. Voss (1984), doymuş ve doymamış zeminlerde yoğunluğa bağlı akışkanın ve çözünmüş madde taşınımının akışını simüle etmek için sonlu fark tekniği ile bütünleştirilmiş 2 boyutlu karışık (hybrid) sonlu bir eleman modeli kullanmıştır. Voss ve Provost (2001), bir dizi gerçek vaka çalışmasında deniz suyunun girişimini incelemek için uygulanan kıyı akiferlerindeki değişken yoğunluklu akış ve tuzlu su girişiminin simülasyonunu yapan 3-D SUTRA kodunu kullanmıştır. Gingerich ve Voss (2005), bir CBS uygulaması kullanarak Voss'un 1984 yılında geliştirdiği kesitsel 2-boyutlu modeli 3 boyutlu model olarak geliştirmiştir. Bu 3 boyutlu model, değişken yoğunluklu akışa ve çözünmüş madde taşınımına bağlı olarak yeraltı suyu akışının genel davranışını ve tuzluluk dağılımını belirlemektedir.

1.16. Deniz Suyu Girişiminin Simülasyonunda Kullanılan Bilgisayar Kodları

Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişi ile ilgili çalışmalar yıllardır devam etmektedir. Bu süreç içinde çok çeşitli modeller ve bilgisayar kodları geliştirilmiştir. Bunlar analitik ve sayısal modeller olmak üzere ikiye ayrılır. Bu alanda sonlu değişkenler ve sonlu elemanlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişimini iyice kavrayabilmek ve eş akış ile çözünmüş madde taşınımını analiz edebilmek için bir dizi bilgisayar kodları kullanılmıştır. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişi araştırmalarında kullanılan bilgisayar kodları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

1.16.1. SUTRA kodu

2 ve 3-boyutlu sonlu eleman kodları olarak bilenen SUTRA, yoğunluğa bağlı yeraltı su akışı ile enerji veya çözünmüş madde hareketini simüle etmek için kullanılmaktadır (Voss,

1984). Bu kod değişken yoğunluklu yeraltı su akışı için de yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Gotovac ve ark. (2001), kıyı akiferlerindeki geçiş bölgesinin büyümesine jeolojik heterojenliğin etkilerini incelemek için SUTRA'yı kullanmıştır. Sonuçlar, heterojenliğin, geçiş bölgesinin yer değiştirmesinde ve tuz konsantrasyonunun değişkenliğinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Gurdu ve ark. (2001), Mersin ili Silifke ilçesinin Göksu deltasında tuzlu su girişimini simüle etmek için SUTRA'yı kullanmıştır. Yaptıkları çalışmada Burdekin deltasındaki akiferlerde çeşitli pompaj ve yeniden besleme koşulları altında deniz suyu girişiminin hem mevcut durumu hem de gelecekteki potansiyelini belirlemek için SUTRA kodu kullanılmıştır. Çalışmada, yeraltı su pompajı ile yapay besleme şemalarını içeren alan için 2 boyutlu dikey kesit modeli geliştirilmiştir. Yeraltı pompaj oranı ile yapay ve doğal besleme oranlarının mevsimsel değişimleri, tuzlu su girişiminin dinamikleri üzerinde etkilerin olduğunu belirlememiştir. Alf ve ark. (2002), kıyı akiferlerinde tuzlu su girişimini incelemek için SUTRA ve hidrokimyasal araştırmaların bir kombinasyonunu sunmuştur. Ojeda ve ark. (2004), SUTRA kullanarak Yucatan yarımadasındaki akiferin tuzlu su ara yüzeyini modellemişlerdir. Sonuçlar, ara yüzey pozisyonunun tepe değişikliklerine çok hassas olduğunu göstermiştir.

1.16.2. SEAWAT

SEAWAT, MODFLOW ve MT3DMS'nin birleşimidir. 3-boyutlu, değişken yoğunluklu yeraltı suyu akışını ve çözünen madde hareketini simüle etmek için tasarlanmıştır (Zheng ve Wang, 1999). Bu kod, deniz suyu girişimini simüle etmek için birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Rao ve Rao (2004), akiferlerde açılan kuyuları dikkatte alarak tuzlu su girişimini kontrol etmek için bir simülasyon optimizasyon yaklaşımı geliştirmiştir. SEAWAT, tuzlu su girişiminin dinamiklerini simüle etmek için kullanılmış ve optimizasyon probleminin çözümü için simüle edilmiş tavlama algoritması kullanılmıştır. Tiruneh ve Motz (2003), deniz seviyesi yükselmesinin tatlı-tuzlu su ara yüzeyine etkisini araştırmak için SEAWAT programını kullanmıştır. Lakfifi ve ark. (2004), Fas'taki Chaouia kıyı akiferinde yeraltı suyu akışını ve tuzlu su girişimini incelemek için SEAWAT'ı kullanmıştır. Qahman ve Larabi (2004), Gazze akiferindeki (Filistin) hidrolik yükün ve yeraltı suyunun çözünmüş konsantrasyonlarının mekânsal ve zamansal evrimini simüle etmek için SEAWAT kodunu kullanmışlardır. Sonuçlar, mevcut yeraltı suyu pompaj oranlarının devam etmesi halinde, deniz suyu girişiminin akiferde daha şiddetli hale geleceğini göstermiştir.

1.16.3. CODESA-3D

CODESA-3D, 3 boyutlu sonlu bir eleman modelidir. Bu model doymuş ve değişken doymuş gözenekli ortamlarda, konvektif-dispersif taşınım denklemlerinin çözülmesiyle tuzlu su ara yüzeyini simüle etmek için kullanılmaktadır. Barrocu ve ark. (2005), İtalya'daki Sardunya'da farklı pompaj ve yapay besleme şemaları kullanarak kirleticilerin hareketini ve arazi yönetiminin etkisini incelemek için CBS ile CODESA 3-D'yi kullanmıştır. Paniconi ve ark. (2001), Kuzey Tunus'ta Korba ovasındaki deniz suyu girişiminin oluşumunu araştırmak için CODESA-3D kullanmıştır. Yaptığı çalışmada, bazı etmenler (Pompaj, yapay besleme, toprak akifer özellikleri ve doymamış bölge) arasındaki etkiyi ve etkileşimi incelemiştir.

1.16.4. SWIFT

SWIFT, gözenekli ve kırılmış ortamlarda yeraltı suyu akışını, ısı transferini ve tuzlu su ve radyo-nükleit taşınımını simüle etmek için kullanılan 3 boyutlu bir koddur (Ward ve Benegar, 1998; Ward, 1991). Ma ve ark. (1997), tuzlu su koni oluşumu ve pompalanan suyun tuzluluk üzerindeki etkisini simüle etmek için SWIFT kullanmıştır.

1.16.5. MOCDENS3D

MOCDENS3D, yoğunluğa bağlı yeraltı suyu akışını ve çözünmüş madde taşınımını simüle etmek için kullanılan 3 boyutlu bir koddur (Oude Essink, 1998). Oude Essink (2001c), adveksiyon ve dispersiyon özelliklerini de hesaba katarak kıyı akiferlerinde tatlı ve tuzlu yeraltı sularının hareketini modellemek için MOCDENS3D kodunu kullanmıştır.

1.16.6. SHARP

Barreto ve ark. (2001), akiferlerdeki yeraltı suyu akışını simüle etmek için sonlu fark modelini (SHARP) kullanmış ve pompalama akışı, kuyuların konumu, kuyuların sayısı, tatlı su seviyenin düşmesi ve ara yüzeyin hareketi arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

1.16.7. Yarı üç boyutlu sonlu eleman

Zhou ve ark. (2003) üçlü-akifer sistemindeki yeraltı su seviyelerinin mekânsal ve zamansal dağılımını simüle etmek için yarı-üç boyutlu sonlu eleman kullanmıştır. Mahesha (1996c), deniz suyu girişiminin kontrolünde enjeksiyon kuyularındaki pilin etkinliğini incelemek için yarı üç boyutlu sonlu eleman kullanmıştır.

1.16.8. SHEMAT

Scholze ve ark. (2002), kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini simüle etmek için SHEMAT uygulamıştır. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini simüle etmek için yukarıda bahsedilen bilgisayar kodları yanında başka kodlar da bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla; FEFLOW, HST3D, FAST-C (2D/3D) ve OCDENSE (Beer ve ark., 1999).

1.17. Çalışmanın Amacı

Türkiye’de kıyı şehirlerinde yeraltı su kaynaklarının bazıları ya tamamen tuzlanmış ya da tuzlanmaya yeni başlamıştır. Bunun sebebi ise bu bölgelerde yeraltı sularının farklı amaçlar için aşırı çekilmesidir. Dolayısıyla yeraltı sularının plansızca aşırı kullanılması kıyı akiferlerinde tatlı su ile tuzlu su arasında bulunan doğal ve hassas dengeyi bozarak tuzlu deniz suyunun karaya doğru ilerlemesine ve tatlı suların tuzlanmasına sebep olmaktadır.

Türkiye’nin yakın zamana kadar temiz kalan kıyı şehirlerindeki yeraltı su kalitesinin bozulmasının sebeplerinden birisi de deniz suyu girişimidir. Bu doğrultuda öncelikle çalışma alanı olarak Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinde yer alan toplam 15 il (İstanbul, Tekirdağ, Edirne, Kocaeli, Yalova, Bursa, Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Aydın, Muğla, Antalya, Mersin, Adana, Hatay) belirlenmiştir. İllerin topoğrafik ve hidrojeolojik özelliklerine bakılarak kirlenmiş veya kirlenme potansiyeli olan akiferlerde, hidrolik bariyer oluşturularak, tatlı-tuzlu su arasında denge sağlanabilir. Bu tez çalışmasında, Türkiye’nin kıyı şehirlerinde deniz suyu girişimini engellemek için tesis edilebilecek enjeksiyon kuyularında arıtılmış atıksuların kullanım potansiyeli araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Deniz Suyu Girişimi ile İlgili Dünyada Yapılan Çalışmalar

Kıyı akiferlerindeki tatlı–tuzlu su girişimi ile ilgili yapılan en eski çalışmalardan biri 1880’lerin sonlarında Avrupa’nın kuzey kıyı bölgesinde yapılmıştır. İki bilim adamı Ghyben (1888) ve Herzberg (1901) birbirinden habersiz olarak serbest bir akiflerdeki tatlı su ile tuzlu su arasındaki keskin ara yüz yüksekliği ile yeraltı su tablasının yüksekliği arasındaki ilişkiyi veren formülü geliştirmişlerdir. 1930’larda Muskat (1937; Hubbert, 1940), akım alanındaki basıncın sürekliliğinin varsayılan ara yüzeyde sabit olması gerektiğini göstermişlerdir. Böylece, tatlı ve tuzlu su akım alanları genel bir keskin sınırla birleşmektedir. Bu formülasyon sadece su tablası ölçümleri kullanan Badon Ghyben–Herzberg denklemi kullanılarak yapılan yetersiz uygulamaların sonunu getirmiştir.

Yeraltı sistemlerindeki tuzlu–tatlı su ilişkisiyle ilgili yapılan çalışma sayısı 1965’e kadar sınırlı kalmış, konu üzerindeki bazı gelişmelerden sonra çalışma sayısı artmıştır (Reilly ve Goodman, 1985). Çalışmalar konularına göre şöyle sınıflandırılabilir; iki boyutlu kesit ve alansal analiz, üç boyutlu analiz, çok katlı akifer analizleri, koni yükselimi (upconing) uygulamaları ve sayısal yöntemler ve arazi çalışmaları için yapılan öneriler. Dagan ve Bear (1968), keskin ara yüzeyde oluşan konik yükselmenin zamana bağlı tahmini çözümünü elde etmiştir. Düzgün geometriye sahip homojen akiferdeki sık bir kuyudan çekilen tatlı suyun keskin ara yüzeye etkisi incelenmiştir. Analitik çözümler ile kum tankı modelinden elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Kum tankı modelinin %50 tuzluluk değerleri esas olarak alınmış ve bu şekilde keskin ara yüzey yaklaşımlı analitik sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ara yüzey ile su alma ağzı arasında oluşan tepe noktası, başlangıç mesafesinin 1/3 oranında su alma ağzına doğru yükseldiği durumda keskin sınır ara yüzey yaklaşımının yaklaşık sonuçlarının geçerli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu 1/3 oranı kritik değer olarak kabul edilmiştir.

Schmorak ve Mercado (1969) hidrodinamik dispersiyon kavramını Dagan ve Bear (1968) tarafından geliştirilen model denklemlerine eklemişlerdir. Pompalanan suyun tuzluluğu ile tatlı–tuzlu su sınırının konumu arasındaki ilişkiyi tespit etmişlerdir. Pinder ve Cooper (1970) karakteristikler yöntemini kullanarak deniz suyu girişiminin zamana bağlı değişimini, dört köşeli bir akiferde dispersiyon etkisini de göz önüne alarak araştırmışlardır. Elde ettikleri çözümü Henry (1959) tarafından geliştirilen analitik çözüm ile

karşılaştırmışlardır. Henry (1959) ile aynı sınır koşullarında yaptıkları çözümün çok başarılı sonuçlar verdiğini ileri sürmüşlerdir.

Shamir ve Dagan (1971), kıyı akiferlerindeki keskin ara yüzey hareketini simüle eden nümerik model geliştirmişlerdir. Bu model basınçlı ve serbest akiferler için geçerlidir. Çalışmada düşey kesit seçilmiş ve düşey boyutta integral alınarak denklemler bir boyuta indirgenmiştir. Elde edilen denklemler sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Nümerik sonuçlar hipotetik lineer ara yüzey probleminin sonuçlarıyla uygunluk göstermiştir. Fakat Hele–Shaw (1898) modelinden elde edilen deneysel bulgularla arasında aynı başarı elde edilememiştir.

Çok katlı kıyı akifer sistemlerinde deniz suyu girişi birçok araştırmacı tarafından gözlemlenmiştir. Collins ve Gelhar (1971) iki tabakadan oluşan çok katlı bir akiferde dengeli akım koşulları ve keskin girişim sınırı kabulleri ile ikinci tabakadaki deniz suyu girişimini araştırmıştır. Her iki seviye için çözüm elde etmiş ve sonuçları Hele–Shaw (1898) modeli ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmalardan tatlı su–tuzlu su sınırının değişimi ile ilgili başarılı sonuçlar elde edilmiş ancak bu sınırın topuk kısmında aynı başarı elde edilememiştir. Bu uyumsuzluk, çözümde kullanılan Dupuit (1863) varsayımlarına bağlanmıştır.

Figuro (2003) yapmış olduğu çalışmada; Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile birleştirilmiş Visual MODFLOW yeraltı suyu modelleme programını kullanarak atık suların Brad sahilindeki yeraltı su seviyesine etkilerini incelemiştir. Ortuno ve ark. (2010) Catalan Water Agency ile birlikte İspanya'nın Barcelona şehrinde akiferlere deniz suyu girişimini engelleyebilmek için 14 enjeksiyon kuyusuyla çalışabilecek pozitif bariyer tasarlamıştır. Allow (2012) Suriye'de SEAWAT modeli ile yaptığı çalışmada, yeraltı bariyeri kurulduktan sonra tuzlu su girişimin durduğunu ve bazı yerlerde tuzlu suyun geri çekildiğini gözlemlemiştir.

Betero ve ark. (2015) Kolombiya'da homojen şartlardaki deneysel bir çalışmada sandbox metodunu kullanarak deniz suyu kontrolü için enjeksiyon hızı ve yerini de dikkate alarak hidrolik bariyerleri incelemiştir. Aboulhalik ve ark. (2017) İngiltere'de Mix Physical Barrier (MPB) metodunu geliştirmiştir. Bu metot tuzlu su girişimini engellemek için yeni bir metot olup iki bölümden (geçirimsiz kesme duvarı ve yarı geçirgen yeraltı barajından) oluşmaktadır. Diğer fiziksel bariyerlerle kıyaslandığında maliyeti düşük ve verimi yüksektir.

2.2. Deniz Suyu Girişimi ile İlgili Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Değirmenci ve Altın (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, Mersin-Erdemli arasında yaklaşık 30 km’lik kıyı şeridi boyunca deniz suyunun mevcut durumu incelenmiştir. İnceleme alanında bulunan yazlık siteler içinde açılmış sondaj kuyularından su örnekleri alınarak laboratuvarda, su kalitesi ve kirlenme ile ilgili sorunların belirlenmesine yönelik kimyasal analizler (Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, NH₃, NO₃, PO₄, Fe, Mn, sertlik, ağır metaller (Co, Ni, Li, Rb, Pb, Cu, Zn, Sr)) yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada 84 ayrı numune noktasından alınmış su örnekleri üzerinde yapılan analizlerde bazı kuyularda elektriksel iletkenlik (EC) değerinin yani sıra Cl, Na ve toplam çözünmüş maddenin yüksek çıkması, deniz suyu girişimini göstermiştir. Tuzlanmanın olduğu kuyuların denize olan uzaklıkları 50 ila 150 metre arasında değişmekte olduğu görülmüştür.

Karakılçık ve Ünlügenç (2002), Doğu Akdeniz bölgesinde Mersin’in Silifke ilçesinin 40 km batısında yer alan Ovacık ovasında, yeraltı su akiferlerinde deniz suyu girişi olup olmadığını araştırmıştır. Çalışma alanının denize yakın olması ve ovada sulama kooperatiflerine ait açılmış sondaj kuyularından aşırı su çekimi nedeniyle, deniz suyu girişiminin varlığını saptanmak için Düşey Elektrik Sondaj (DES) metodu kullanmıştır. 2.2 km² alana sahip inceleme alanında 20 DES noktası için görünür özdirenç değerleri baz alınarak AB/2 (yarı açılım uzaklığı)’nin 10, 50, 100, 160 metrelerinde kat haritaları hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, görünür özdirenç değerleri çok yüksek çıkmıştır. En düşük görünür özdirenç değeri 50 ohm-m olduğu ve bulunan bu değer in Mülâyim (1979; Tuncel, 1979; Yençilek, 1979; Aydın, 1995) çalışmalarında tuzlusu girişimli seviyeler için buldukları, 2-5 ohm-m değerinde karşılaştığında çok yüksek çıkması deniz suyunun girişimin olmadığını göstermiştir.

Ekmekçi ve ark. (2008), Muğla iline bağlı Gökova karst kaynaklarında görülen tuzluluğun kökenini belirlemek için hidro-kimyasal yöntemler ve izotop hidrolojisi teknikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada Gökova karst kaynaklarının hidrolojisi ve deniz suyu karışımının incelenmesi amacıyla 2006 – 2008 yılları arasında bir aylık aralıklı ölçümler ve hidro-kimyasal ile izotop örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler üzerinde majör iyon, eser element ve çevresel izotoplardan Oksijen-18, Döteryum, Tritiyum izotoplarının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Çalışma alanında tuzluluğa neden olabilecek kaynaklardan deniz suyunun göstergesi olarak oksijen 18 izotopunun yanı sıra, bor (B), stronsiyum (Sr) elementleri ile klorür (Cl), sülfat (SO₄), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca) ve bunların birbirlerine oranları ve ilişkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçları karst akiferinin

bir kısmının kirlilik kaynaklı tuzlanma gösterdiğini, kıyı kaynaklarının karst akiferinin yanı sıra, ovayı oluşturan alüvyon akiferle de hidrolojik ilişki içinde olduğunu ortaya koymuştur.

Özmürüt (2008), Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu kısmında yer alan, Balıkesir iline bağlı Ayvalık ilçesindeki Ayvalık Ovası'nın akiferinde tatlı su-tuzlu su arasındaki ilişkiyi inceleyerek deniz suyu girişiminden etkilenen bölgelerin saptanması için hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışma alanındaki kuyulardan alınmış su örneklerinde jeokimyasal analizler ve Piper, Schoeller, Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramı analizleri yapılmış ve bölgedeki hidrojeolojik özellikler değerlendirilmiştir. Bunların yanında, laboratuvarla yapılan ağır metal analizlerinde suların yüksek miktarda Al, Zn, Fe, Cd ve Pb içerdikleri de tespit edilmiştir. İnceleme alanının kıyı kenarında olması nedeniyle birçok yerde deniz suyu girişimine bağlı olarak tuzlanma gözlenmiştir. Ancak, denizden uzaklaştıkça girişimin şiddetinin azaldığı, fakat bazı iç kesimlerde de EC değerleri ve toplam çözünmüş madde konsantrasyonunun yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak çalışma alanının özellikle kıyı kesimlerinde, artan su ihtiyacına bağlı olarak çok sayıda sondaj kuyusu açılması ve aşırı çekim yapılmasının yanı sıra akiferde beslemeden daha fazla boşalım olmasından dolayı deniz suyunun kıyı akiferlerine doğru ilerleyerek, suların bazı bölgelerde tuzlanmasına sebep olmuştur.

Çobanlar (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, Mersin'in Silifke ilçesinde yer alan Göksu Deltasında deniz suyu girişiminin önlenmesi için bir model geliştirilmiştir. Ortadoğu ve Avrupa'nın en önemli sulak alanlarından biri olan Göksu Deltasındaki deniz suyu girişim mekanizmasını incelemek için üç boyutlu değişken yoğunluklu SEAWAT programı kullanılarak yeraltı su akım ve taşınım simülasyonu yapılmıştır. Çalışma alanındaki akiferin modellenmesi için 2008 su yılına ait yeraltı su beslenme miktarı, açılan 26 gözlem kuyusundaki EC, Cl, ve yeraltı su seviyesi değerleri ile yeraltı suyu pompaj miktarları kullanılmıştır. Simülasyon, Göksu deltasındaki akiferin hem tatlı su-tuzlu su ara yüzeyinin yerini hem de deltadaki toplam çözünmüş madde konsantrasyonu değerlerinin dağılımını verilmektedir. Yapılan modellemeler, bölgenin, özellikle yeraltı suyu kullanım oranındaki artışa karşı hassas bir yapıya sahip olduğunu belirtmiştir. İklim değişikliğinin etkileri sonucu yüzeysel suların azalması ve sıcaklıktaki artışa bağlı içme-kullanma ve sulama suyu ihtiyacındaki artış, çalışmadaki senaryolarda kullanılan yeraltı suyu çekim miktarlarından çok daha fazla yeraltı suyu kullanımına sebep olacaktır. Bunun sonucunda, deniz suyu iç kısımlara doğru ilerleyecek ve iyi kalitedeki suların marjinal sular sınıfına girmesine sebep olabilecektir. Ayrıca deltadaki deniz suyu girişiminin olduğu bölgelerde yeraltı sularından

sağlanan sulama suları hem bitkilere hem de toprağa zarar verecektir. Çalışmada ayrıca tarımın sürdürülebilirliğinin riske atılacağı da vurgulanmıştır.

Arslan ve Demir (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, Karedeniz Bölgesinde yer alan Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde deniz suyun yeraltı suyu üzerine etkisini incelenmiştir. Çalışma sahası Samsun ilinin 23 km batısındaki Çakırlar mevkiinden başlayıp, batıda Yakakent ilçesine kadar uzanmaktadır. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin olup olmadığı hakkında fikir elde etmek veya tuzlu su girişiminin boyutunu belirlenmek için deniz suyu ile yeraltı suyu arasındaki karışım oranının Cl^- a göre matematiksel olarak hesaplanması yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, önce ovada çiftçiler tarafından sulamada kullanılan 32 adet yeraltı su kuyusu belirlenmiş daha sonra bu kuyulardan sulama mevsimi öncesi ve sonrası su numuneleri alınmış ve alınan su örneklerinde EC, pH, Na, Ca, K, Mg, CO_3 , HCO_3 , Cl ve SO_4 analizleri yapılarak ortalama, en düşük ve en yüksek değerler tayin edilmiştir (Çizelge 2.1). Klora göre hesaplanmış deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyunun EC, Na, HCO_3 , SO_4 ve SAR değerleri arasındaki korelasyonun %1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Deniz suyu girişiminin fazla olduğu kuyularda, yeraltı suyunun EC, Na gibi değerlerinin arttığı, sodyuma bağlı olarak SAR değerlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak Bafra ovasında son yıllarda çiftlik arazilerin artmasından dolayı su talebi de artmıştır ve aşırı su çekimi kıyıdaki tatlı su-tuzlu su dengesini bozularak deniz suyu girişimine sebep olunmuştur. Deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasında doğru orantı olduğu ve karışım oranının artması ile suyun özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir. Deniz suyu karışım oranlarının Kızılırmak nehrine yaklaştıkça ve denizden uzaklaştıkça azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde yeraltı suyuna aşırı derecede deniz suyu girişi olduğu belirlenmiştir. Yeraltı suyu örneklerine ait bazı istatistiksel değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Yeraltı suyu örneklerine ait bazı istatistiksel değerleri (Arslan ve Demir, 2011)

Parametre	Sulamadan Önce			Sulamadan Sonra		
	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
EC (Ds/m)	4,20	1,93	11,00	4,07	1,85	10,35
pH	7,65	7,20	8,40	7,59	7,30	8,00
Na (me/l)	31,11	10,26	111,60	28,34	10,44	101,10
K (me/l)	0,61	0,09	5,12	0,65	0,11	4,10
Ca (me/l)	4,63	1,90	8,70	5,09	1,48	8,52
Mg (me/l)	10,80	3,80	25,70	10,25	3,40	21,61
HCO ₃ (me/l)	15,10	6,90	26,50	14,39	6,90	26,60
Cl (me/l)	6,66	8,20	97,00	24,89	9,20	84,82
SO ₄ (me/l)	11,40	0,84	14,69	5,05	0,22	14,06
SAR		3,16	35,93	10,50	3,27	33,96

Sulama öncesi ve sulama sonrası dönemlerdeki deniz suyu karışım oranları ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasındaki ilişki Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2: Sulama öncesi ve sulama sonrası dönemindeki deniz suyu karışım oranları ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasındaki ilişki (Arslan ve Demir, 2011)

	Dönem	pH	EC	Na	HCO ₃	SO ₄	SAR	RSC
Deniz suyu karışım oranı (%)	Sulamadan önce	-0,096	0,972	0,958	0,563	0,507	0,824	0,061
	Sulamadan sonra	-0,075	0,973	0,954	5,591	0,642	0,805	0,108

Kaman ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, Antalya’nın en yoğun tarım bölgelerinden biri olan Köprü Çay sulama sahası içerisinde kalan Köprü Çay Irmağı ile Aksu Çayı arasında yer alan Acısu deresi boyunca denizden iç kısımlara doğru olası deniz suyu girişiminin olup olmadığını incelemiştir. Yapılan çalışmada deniz suyu girişimini ortaya koymak amacıyla Acısu deresinin denize mansaplandığı yerden membaaya doğru 10 km’lik bir mesafede her 200 m aralıklarda gözlem noktaları belirlenip su numuneleri alınmıştır. Toplam 48 noktadan deniz hariç alınan su numunelerinde EC (dS m^{-1}), NO₃ (mg l^{-1}) ile pH tayin edilmiştir. EC değerleri en düşük 1.18 ve en yüksek 9.37 dS m^{-1} ile geniş bir değişim aralığı göstermiştir. Acısu Deresinin denize döküldüğü noktada deniz suyu EC değeri 44.20 dS m^{-1} olarak kaydedilmiştir. Benzer şekilde, NO₃ değerleri, 2.20 ile 9.24 mg l^{-1} ile oldukça geniş bir değişim aralığına sahip olmuştur. Ortalama NO₃ değeri 3,01 mg l^{-1} ölçülmüştür. pH değerleri ise 7,89–8,09 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 2.3).

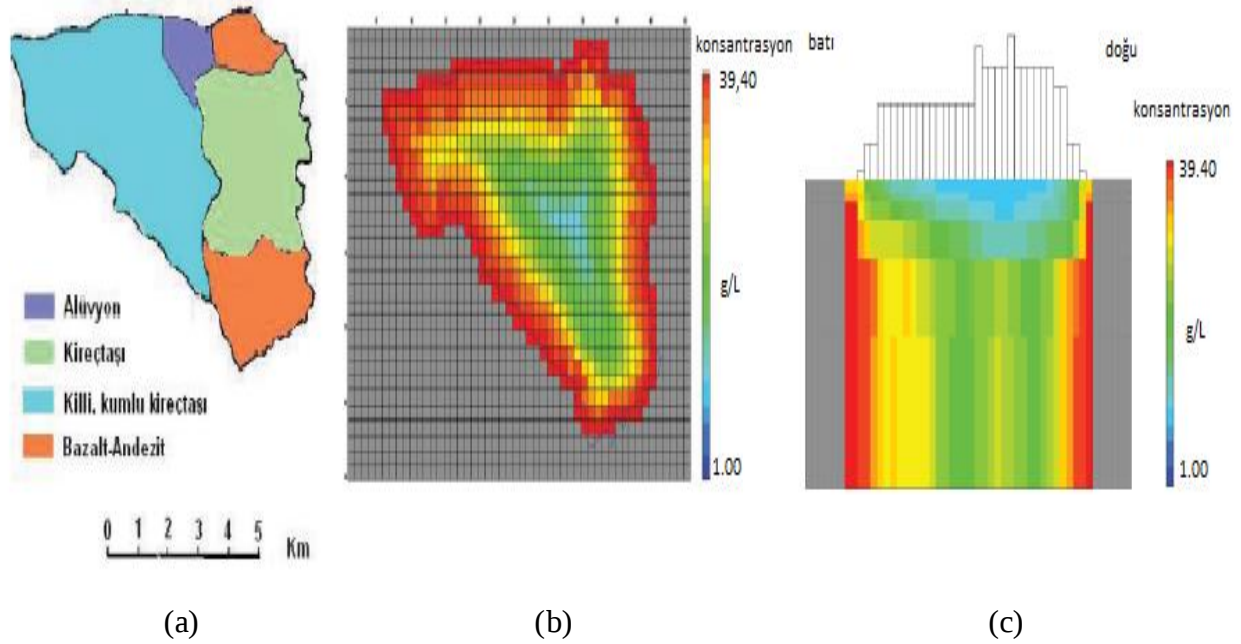
Acısu deresinin denize karıştığı noktada EC değeri 44,20 dS m⁻¹ iken denizden 6.5 km'lik mesafeden sonra EC değeri 3 dS m⁻¹ daha küçük olduğu tespit edilmiştir. pH ve NO₃ ise denizden uzaklaştıkça zayıf bir artmış göstermiştir. Yapılan çalışmalar sonucu olarak Acısu dersi boyunca denizden içeri doğru önemli oranda tuzlu su girişim varlığı tespit edilmiştir. Su numunelerinden (deniz suyu hariç) EC, NO₃, pH için istatistik verilerin sonucu Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3: Su numunelerinden (deniz suyu hariç) EC, NO₃, pH için istatistik verilerin sonucu (Kaman ve ark., 2011)

İstatistikler	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	pH
Örnek sayısı	48	48	48
Minimum	1.18	2.20	7.89
Maksimum	9.17	9.24	8.09
Aritmetik ortalama	4.70	3.01	7.98
Standart sapma	2.72	0.97	0.05
Tepe değeri	8.94	2.64	7.96
Ortanca değeri	4.04	2.64	7.99
Çarpıklık	0.51	5.97	0.13
Basıklık	-1.25	37.28	-0.43

Kilit (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, Akdeniz ile çevirili olan Ada akiferindeki tatlı su-tuzlu su girişim ara yüzeyinin yerini ve konsantrasyon dağılımını belirlemek için üç boyutlu değişken yoğunluklu yeraltı suyu akımının simülasyonu yapan SEAWAT programı kullanmıştır. Zamana bağlı üç boyutlu değişken modeli SEAWAT yardımıyla akiferin hem hidrolik özellikleri ile parametreleri hem de beslenme-boşalım ilişkileri ile tatlı su-tuzlu su girişiminin konumu hakkında fikir elde edilmiştir. Yapılan çalışmada ilk olarak, yeraltı suyu beslenme miktarı ve model üzerindeki dağılımı tahmin edebilmek için jeoloji haritalarından yola çıkarak Bozcaada dört zemin grubuna ayrılmış (1. hidrolik iletkenlik değeri yüksek olan alüvyon bölgesi. 2. Killi, siltli kumlu kireçtaşı bölgesi. 3. Nispeten geçirimsiz bazalt, granit bölgesi. 4. başka zemin grubunu içerisinde barındırmayan saf kireçtaşı bölgesi) ve tuzlu su girişiminin model içerisinde kolaylıkla görülebilmesi için akiferi altı ayrı tabakaya göre modellemiştir. 41.5 km²'lik bir alana sahip ada akiferinin yeraltı suyu akım ve taşınım modeli oluşturabilmek için 2000 yılına ait verileri; yeraltı suyu beslenme miktarı, kullanım miktarı ve gözlem kuyularındaki konsantrasyon değerleri kullanmıştır. Model akiferin her noktasında TDS konsantrasyonu ve hidrolik yükünü hesaplamaktadır. Model tarafından gözlenen ve hesaplanan yeraltı suyu seviye değerleri ve TDS değerleri arasında sırasıyla 10.50 m ile 2.18 m ve -5.75 g/L ile -3,15 g/L fark gösterilmiştir. Ada akiferindeki kıyı şeridi boyunca 25 g/L – 39.4 g/L arasında TDS değeri hesaplanmıştır. Su çekiminin yoğun olduğu bölgelerde tuzluluğun daha da arttığını ve

kıyı boyunca 2-2,5 km kadar içeriye deniz suyu girişim olmuştur. Deniz suyu girişim sonucunda tuzlu su konsantrasyonu kıyı boyunca değişmekle beraber ortalama 3 g/L ile 33 g/L arasında değişmekte ve bazı bölgelerde aşırı su çekimi nedeniyle akiferin altı tabakaya kadar tuzlu su girişimi olmuştur. Sonuç olarak yeraltı tatlı su çekiminin artışı ile orantılı olarak tuzlu su girişiminin arttığı tespit edilmiş ve tatlı su çekimindeki azalışın tuzlu su girişimine etkisinin az olduğu belirlenmiştir. (a) Çalışma alanı jeolojik yapısı, (b) beşinci tabakaya ait kalibre edilmiş modelin TDS yayılım haritası, (c) ada akiferine deniz suyu girişimi görüntüsü Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: (a) Çalışma alanı jeolojik yapısı (Kalafatçıoğlu, 1963). (b) beşinci tabakaya ait kalibre edilmiş modelin TDS yayılım haritası (Kilit, 2011). (c) ada akiferine deniz suyu girişimi görüntüsü (Kilit, 2011)

Türkiye’de kıyı akiferlerine deniz suyu girişimi ile ilgili yapılan çalışmaların zeti

Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4: Türkiye’de kıyı akiferlerine deniz suyu girişimi ile ilgili yapılan çalışmaların zet tablosu

Çalışmayı Yapanlar	. Yılı	. Yeri	Yöntem	zet
Mustafa Değirmenci ve Altın	1999-2000	Mersin-Erdemli	Kimyasal analizleri	Yapılan çalışmada 84 su noktasından alınmış su örnekleri üzerinde yapılan analizlerden sonra bazı kuyularda elektriksel iletkenliğı (EC) değerinin yani sıra Cl, Na ve toplam çözünmüş maddenin yüksek çıkması deniz suyu girişimi göstermekte ve tuzlanmanın olduğu kuyuların denize olan uzaklıkları 50 ila 150 metre arasında değişmektedir.
Karakılçık ve nlen	2002	Mersin-Ovacık Ovası	Düşey Elektrik Sondajı (DES)	Yapılma alışmalar sonucu, görünür özdirenç yüksek çıkması nedeniyle bölgedeki kıyı akiferlerine deniz suyu girişiminin olmadığını göstermiş (deniz suyu girişim için 2-5 ohm-m olması gerekiyor hlbuki bu çalışmada en düşük değer 50 ohm-m çıkmıştır).
Ekmekçi ve ark.	2008	Muğla-Gökova	Hidrokimyasal ve İzotop Hidrolojisi	Yapılan çalışmada, hidrokimyasal ve izotop tekniklerinin yanı sıra oksijen 18 izotopu ile bor, sülfat ve klorür iyonlarının birlikte kullanımı ile bölgedeki görülen tuzluluğun kökenini aydınlanmaya çalışmıştır.
zmrt	2008	Balıkesir-Ayvalık Ovası	Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal	Sonuç olarak, bölgenin kıyı kısımlarında artan su ihtiyaına bağlı çok sayıda sondaj kuyusu açılması ve aşırı su çekimi nedeniyle EC ve TDS değerlerin yüksek çıkması deniz suyu girişim olduğunu kanıtlamıştır.
obanlar	2009	Mersin-Göksu Deltası	SEAWAT-2000	üç boyutlu değişken yoğunluklu SEAWAT programı kullanarak bölgedeki yeraltı suyu akım ve taşınımı modellenmiştir. Modelleme sonucu deniz suyunun iç kısımlara ilerlemesine ve iyi kalitedeki suların marjinal sular sınıfına girmesine sebep olmuştur.
Arslan ve Demir	2011	Samsun-Bafra Ovası	Kimyasal analizleri (EC, pH, Na, Ca, K, Mg, CO ₃ , HCO ₃ , Cl ve SO ₄).	Deniz suyu karışım oranı ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasında doğru orantı olduğu ve karışım oranının artması ile suyun özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir. Yapılan alışma sonucunda Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde yeraltı suyuna aşırı derecede deniz suyu girişimi olduğu belirlenmiştir
Kaman ve ark.	2011	Antalya-Acısú deresi	Kimyasal analizleri (EC dS m ⁻¹ , NO ₃ mg l ⁻¹ ile pH	Acısú deresinin denize karıştığı noktada EC değeri 44.20 dS m ⁻¹ iken denizden 6.5 km’lik mesafeden sonra EC değeri 3 dS m ⁻¹ daha küçük olduğu tespit edilmiştir. pH ve NO ₃ ise denizden uzaklaştığa zayıf bir artmış göstermiştir. Yapılan alışmalar sonucu olarak Acısú dersi boyunca denizden içeri doğru önemli oranda tuzlu su girişim varlığı tespit edilmiştir.
Kilit	2011	Çanakale-Bozcaada	SEAWAT-2000	Yapılan alışmalar sonucu, Su çekiminin yoğun olduğu bölgelerde tuzluluğun daha da arttığını ve kıyı boyunca 2-2.5 km kadar içeriye deniz suyu girişim olmuştur. Deniz suyu girişim sonucunda tuzlu su konsantrasyonu kıyı boyunca değişmekle beraber ortalama 3 g/L ile 33 g/L arasında değişmekte ve bazı bölgelerde aşırı su çekimi nedeniyle akiferin altı tabakaya kadar tuzlu su girişimi olmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanında arıtılmış atıksuların potansiyeli

Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin önlenmesinde 1951'den biri değişik ülkelerde enjeksiyon kuyuları metodu kullanılmaktadır. Bu metotta kıyı akiferlerdeki tatlı-tuzlu su arasında hidrolik bir bariyer oluşturmak için su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanılmaktadır. Bu konu ile ilgili ABD'nin California eyaletinde Los Angeles Taşkın Kontrol Bölgesi (LACFCD) tarafından yürütülen 3 büyük projeleri (West Coast, Dominguez Gap ve Alamitos Gap) ve İspanya'nın Barcelona Şehrinde Catalan Water Agency tarafından inşa edildiği pozitif hidrolik bariyer projesini örnek verebiliriz (Johnson, 2007; Ortuño ve ark., 2010).

Türkiye, 3 tarafı denizler ile çevrilmiş olan bir bölgede yer aldığı için yeraltı su kaynakları deniz suyu girişi gibi tehditlere maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinde yer alan toplam 15 ilde deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atıksuların potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, debisi 5000 m³/gün 'den büyük ve kıyıya ortalama mesafesi 0–5 km olan Atıksu Arıtma Tesisleri (AAT), incelenmiştir. Ayrıca, AAT'lerden çıkan sular kalite olarak üç gruba ayrılmıştır. Bunlar, ileri arıtma prosesinden geçen sular, biyolojik arıtma prosesinden geçen sular ve fiziksel arıtma prosesinden geçen sulardır. Böylelikle, çalışma alanında yer alan bütün iller için atıksularının önce potansiyeli belirlenmiş daha sonra kalite açısından değerlendirilmiş, her bir il için AAT'lerin konumu, potansiyeli ve kalitesi çizelgeler ve şekiller ile anlatılmıştır.

3.1.2. İllere Göre Arıtılmış Atıksuların Potansiyeli

Çalışma alanında yer alan bütün iller için atıksuların önce potansiyeli belirlenmiş daha sonra kalite açısından değerlendirilerek her bir il için AAT'lerin konumu, potansiyeli ve kalitesi grafikler ve resimlerle anlatılmıştır.

3.1.2.1. Antalya

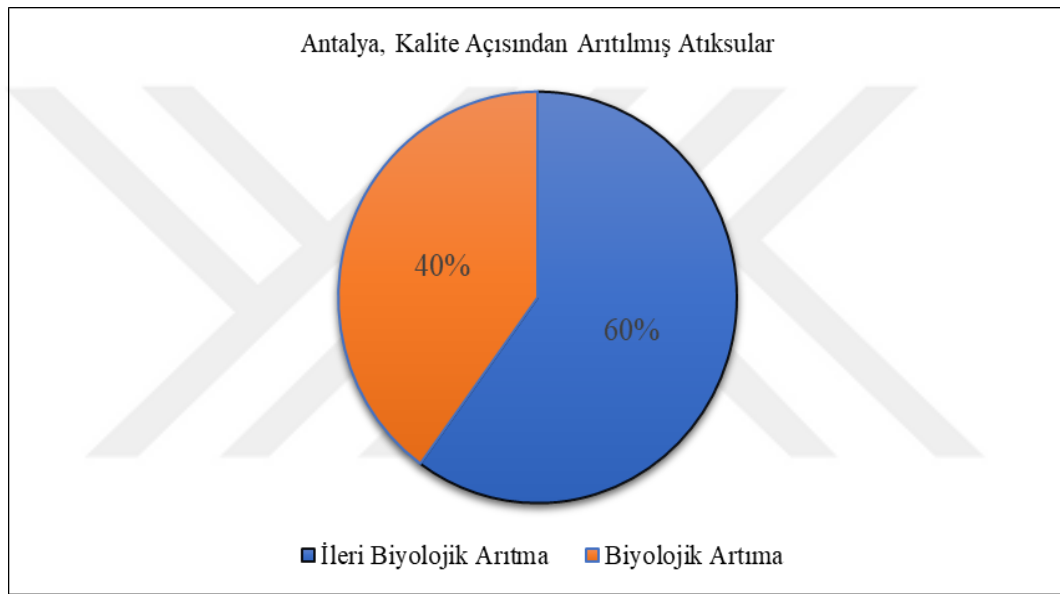
Antalya ilinde atıksu debisi 5000 (m³/gün) büyük ve kıyıya ortalama mesafesi 0-5 km olan tesis sayısı 24 olup bunların 7 adedinin ileri biyolojik arıtma ve 17 adedinin

biyolojik arıtma uyguladığı görülmektedir. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için toplam arıtılmış atıksuların potansiyeli 528920 (m³/gün) olarak belirtilmiştir. Antalya iline ait DSG için arıtılmış atıksuyun potansiyeli Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Antalya iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	7	317471
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	17	211449
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		24	528920

Antalya ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Antalya ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Grafikten anlaşıldığı gibi Antalya ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilmiş olan arıtılmış atıksuların %60’ı illeri biyolojik arıtma ve %40’ı ise biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir.

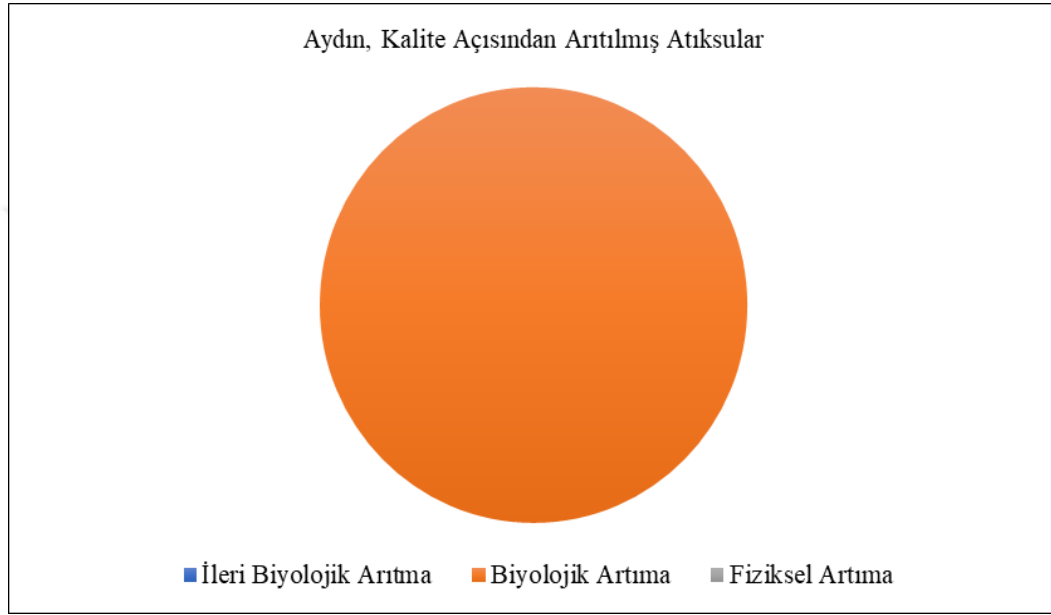
3.1.2.2. Aydın

Aydın ilinde atıksu debisi 5000 (m³/gün) ’den büyük ve kıyıya ortalama mesafesi 0-5 km sadece 1 tesis bulunmaktadır. Tesise gelen atıksular biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. Dolayısıyla, Aydın ilinde mesafe ve debi kriterlere göre deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atıksu potansiyeli 12000 (m³/gün) belirlenmiştir. Aydın iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Aydın iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	0	0
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	1	12000
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		1	12000

Aydın ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

**Şekil 3.2:** Aydın ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Aydın ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atıksular %100 biyolojik procesten geçmektedir. Dolayısıyla kalite açısından ikinci kalite grubuna girmektedir.

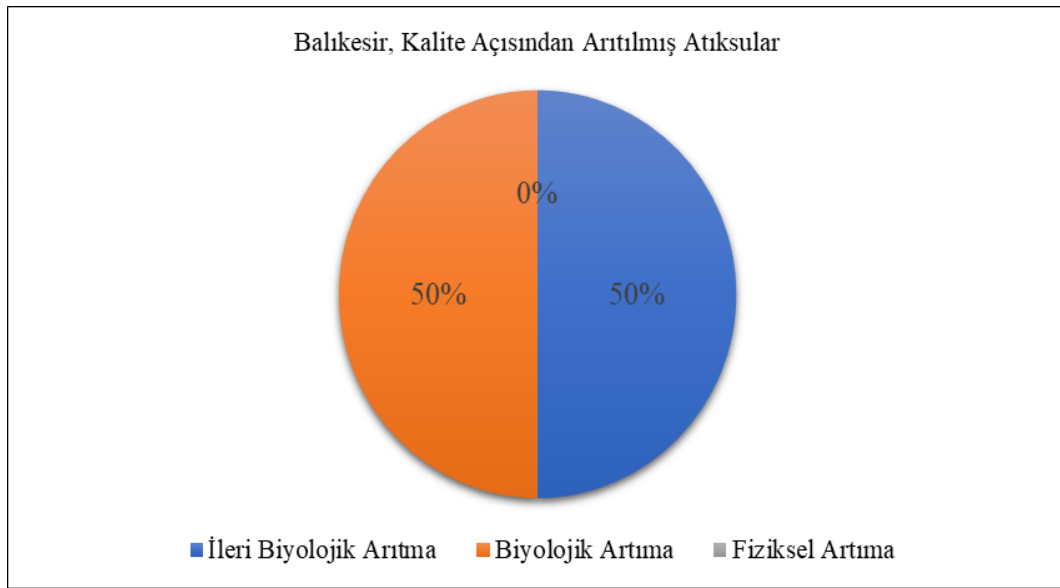
3.1.2.3. Balıkesir

Balıkesir şehrinde, belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre 2 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Deniz suyu girişiminin kontrolü için toplam arıtılmış atıksuların potansiyeli 40000 (m³/gün) belirlenmiştir. Balıkesir iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3: Balıkesir iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	1	20000
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	1	20000
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		2	40000

Aydın ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3.3:** Aydın ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Tesislere gelen atıksular hem ileri hem de biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. Atıksuların %50'sinin ileri biyolojik arıtma ve %50'sinin biyolojik arıtma gördüğü yukarıdaki Şekil 3.3'ten anlaşılmaktadır.

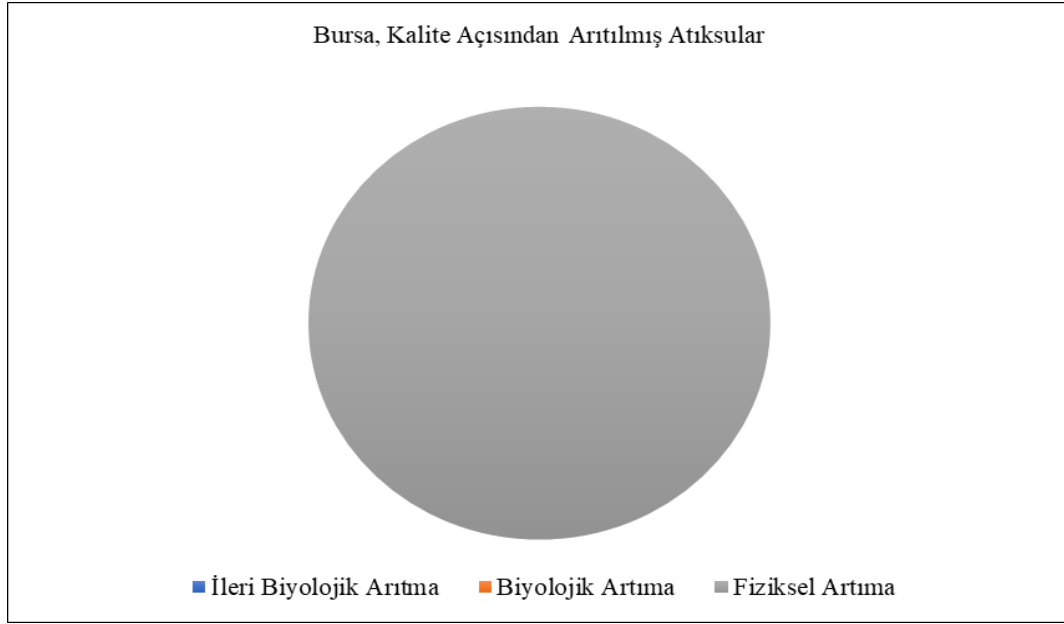
3.1.2.4. Bursa

Bursa ilinde, kıyıya ortalama mesafesi 0 – 5 km ve debisi 5000 (m³/gün) den büyük tesisi sayısı 3 adettir. Tesislere gelen atıksular fiziksel arıtma prosesinden geçmektedir. Deniz suyu girişiminin önlenmesinde kullanılacak atıksu potansiyeli 46572 (m³/gün) olarak belirtilmiştir. Tesislerden çıkan arıtılmış atıksular kalite açısından 3. kalite grubuna girmektedir. Bursa iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4: Bursa iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	0	0
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	0	0
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	3	46572
Toplam		3	46572

Bursa ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

**Şekil 3.4:** Bursa ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

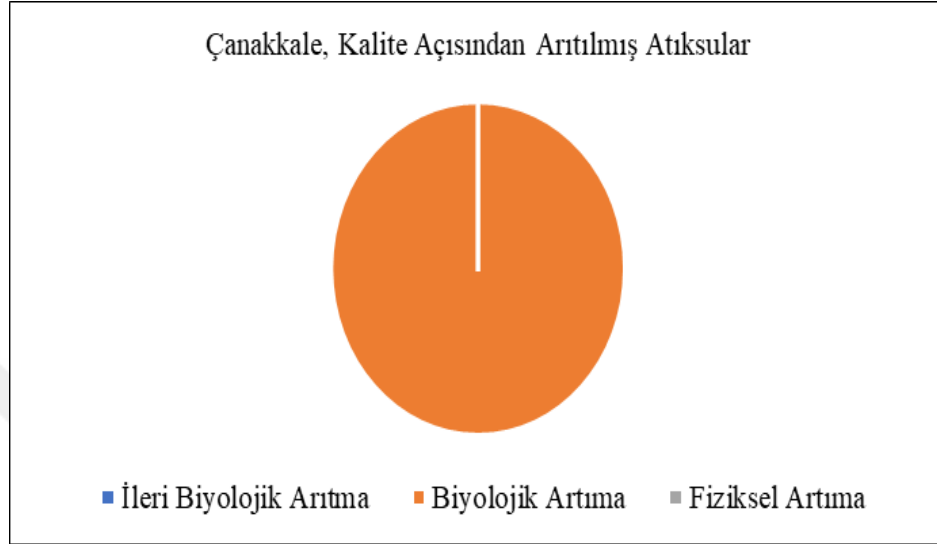
3.1.2.5. Çanakkale

Çanakkale şehrinde kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin kontrolü için belirtilmiş olan debi ve mesafe kriterlerine göre 3 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesislere gelen atıksular biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. Çanakkale iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5: Çanakkale iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	0	0
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	3	12742
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		3	12742

Deniz suyu girişiminin önlenmesi için şehirdeki arıtılmış atıksuların potansiyeli 12742 (m³/gün) olarak belirlenmiş olup kalite açısından 2. kalite grubuna girmektedir. Çanakkale ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Çanakkale ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

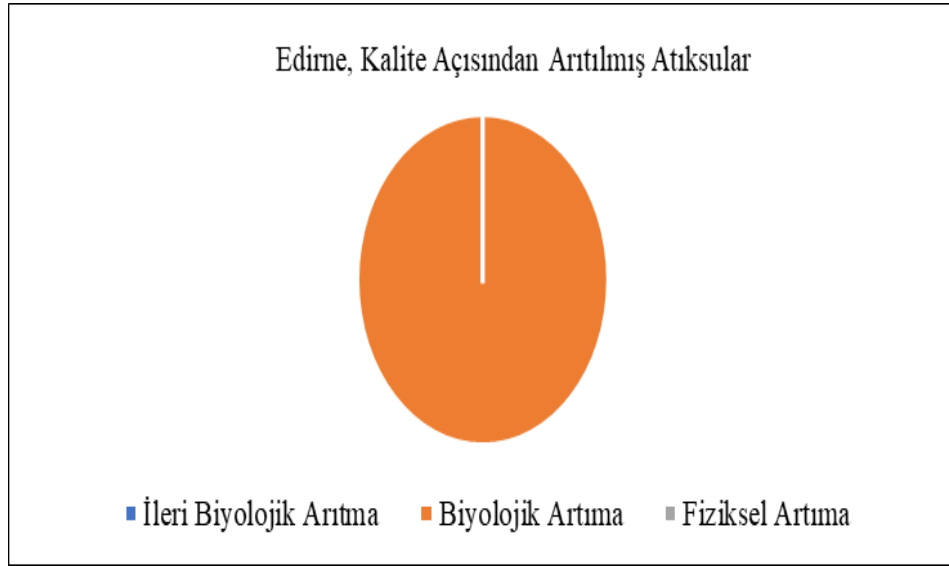
3.1.2.6. Edirne

Edirne ilindeki atıksu arıtma tesisleri, belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre incelendiğinde 1 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesise gelen atıksular biyolojik arıtmadan geçmekte olup kalite açısından 2. kalite grubuna girmektedir. Edirne iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6: Edirne iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	0	0
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	1	5200
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		1	5200

Edirne ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Edirne ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Şehirdeki kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atıksuların potansiyeli 5200 (m³/gün) olarak belirlenmiştir.

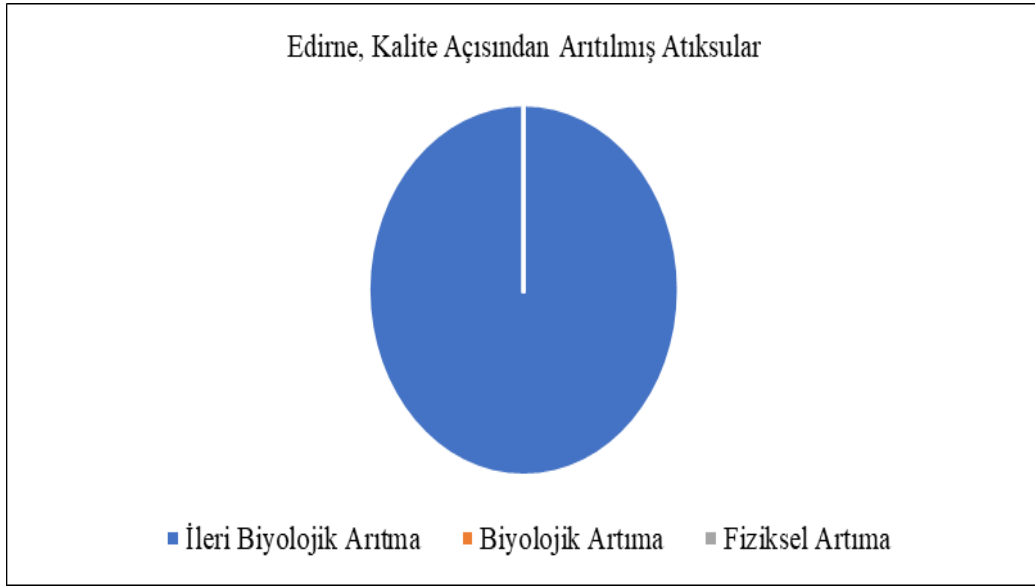
3.1.2.7. Hatay

Hatay ilinde belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 3 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesislere gelen atıksular ileri arıtma prosesinden geçmektedir ve kalite olarak da 1.sınıfa girmektedir. Edirne iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7: Edirne iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	3	45129
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	0	0
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		3	45129

Hatay ilinin arıtılmış atık sularının kalitesi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Hatay ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Hatay kıyısındaki akiferlerde deniz suyu girişiminin önlenmesi için toplam 45129 (m³/gün) olarak arıtılmış atıksu potansiyeli belirtilmiştir.

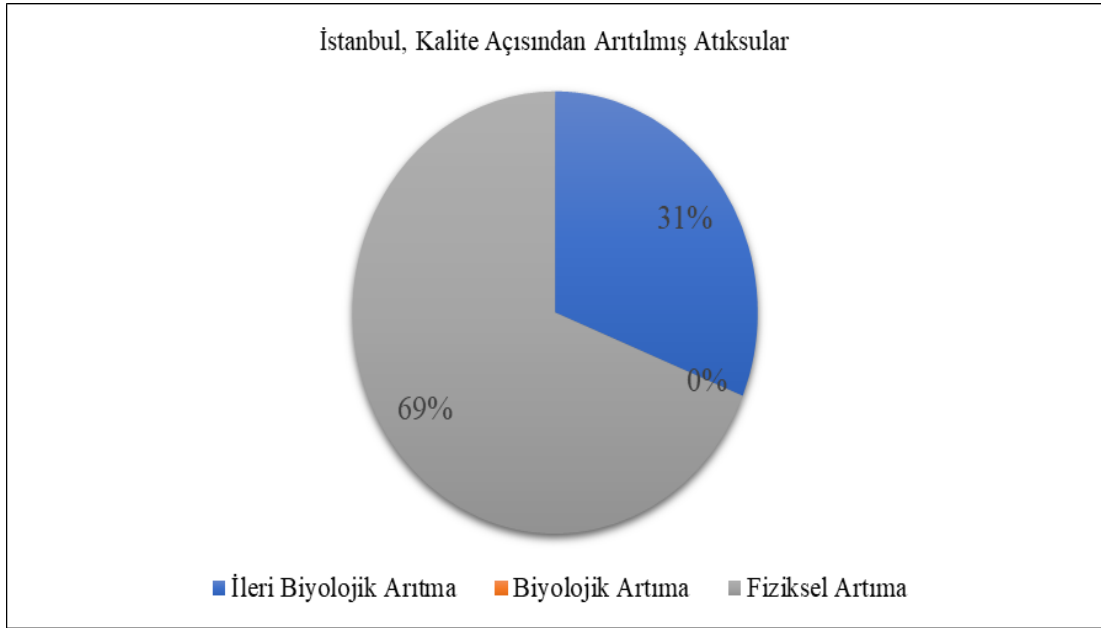
3.1.2.8. İstanbul

İstanbul ilindeki kıyı akiferlerde deniz suyu girişiminin önlenmesinde belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 13 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesislerin sadece 4'ü ileri biyolojik arıtma tesisi olup geri kalan 9'u biyolojik arıtma tesisidir. İstanbul iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8: İstanbul iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	4	993260
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	0	0
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	9	2194645
Toplam		13	3187885

İstanbul ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: İstanbul ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Tesislere gelen atıksuların %69'u fiziksel arıtma prosesinden geçerken sadece %31'i ileri biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. İstanbul ilindeki arıtılmış atıksuların 3/2'si kalite açısından üçüncü gruba girmektedir.

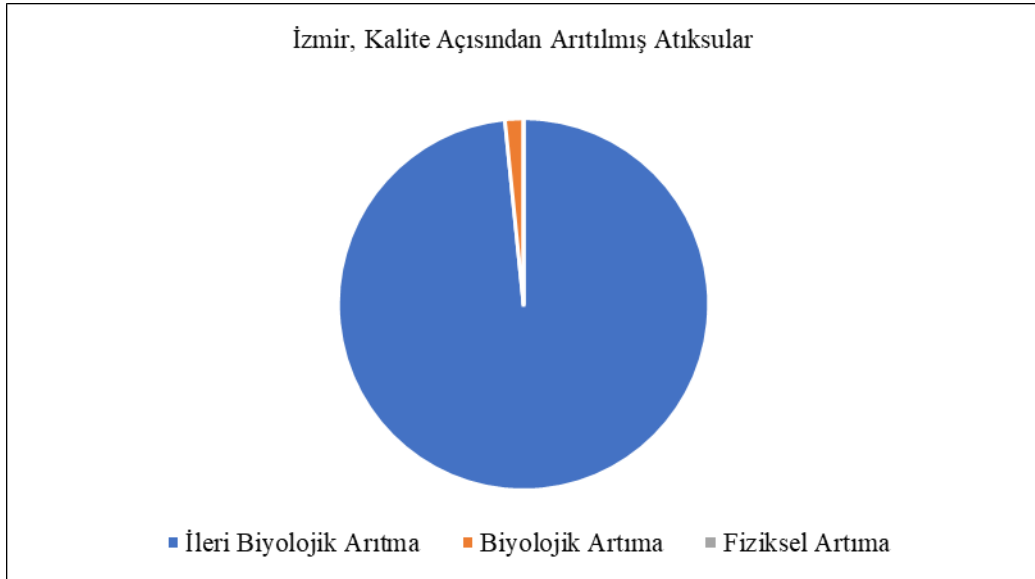
3.1.2.9 İzmir

İzmir ilinde, belirtilen kriterlere göre toplam 10 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Arıtma tesislerinin 9 adedi ileri biyolojik ve 1 adedi biyolojik arıtma prosesine sahiptir. İzmir iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9: İzmir iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	9	101186
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	1	1659
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		10	102845

İzmir ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: İzmir ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi

İzmir’deki kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimin önlenmesi için toplam 102845 (m³/gün) arıtılmış atıksu potansiyeli bulunmaktadır. Tesislere gelen atıksuların %98’i ileri biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. Kalite değerlendirme açısından suların büyük bir kısmı birinci kalite grubuna girmektedir.

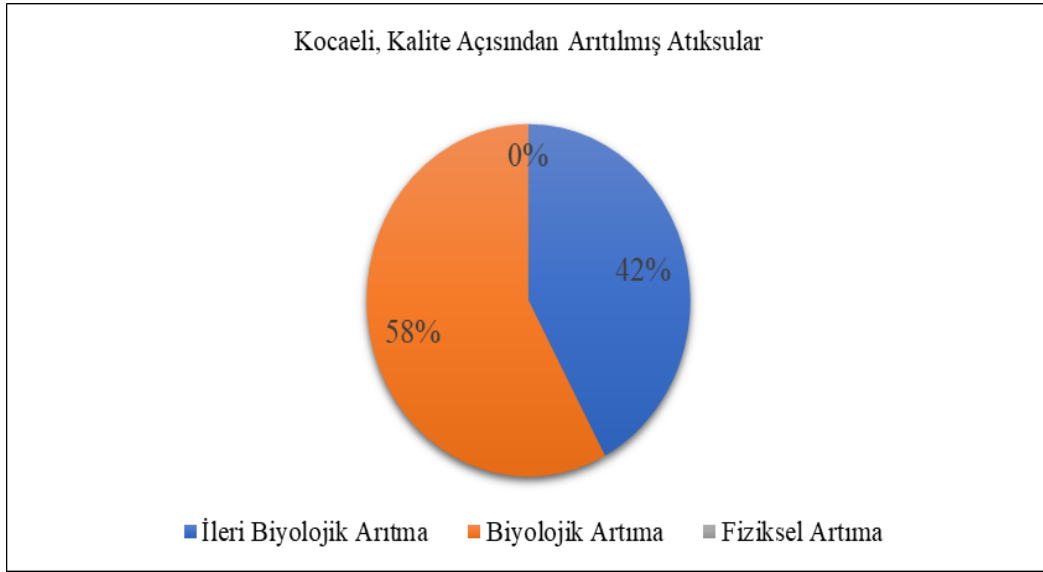
3.1.2.10. Kocaeli

Kocaeli ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesinde belirtilen debi ve mesafe kriterlere göre toplam 9 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesislerin 6 adedi biyolojik arıtma ve 3 adedi ileri biyolojik arıtma prosesine sahiptir. Kocaeli iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10: Kocaeli iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	3	158101
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	6	216849
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		9	374950

Kocaeli ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Kocaeli ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Deniz suyu girişiminin önlenmesi için kullanılabilecek arıtılmış atıksu potansiyeli toplam 374950 (m³/gün) olarak tahmin edilmiştir. Tesislere gelen atıksuların %58'i biyolojik ve %42'si ileri biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. Arıtılmış atıksular kalite olarak birinci ve ikinci gruba girmektedir.

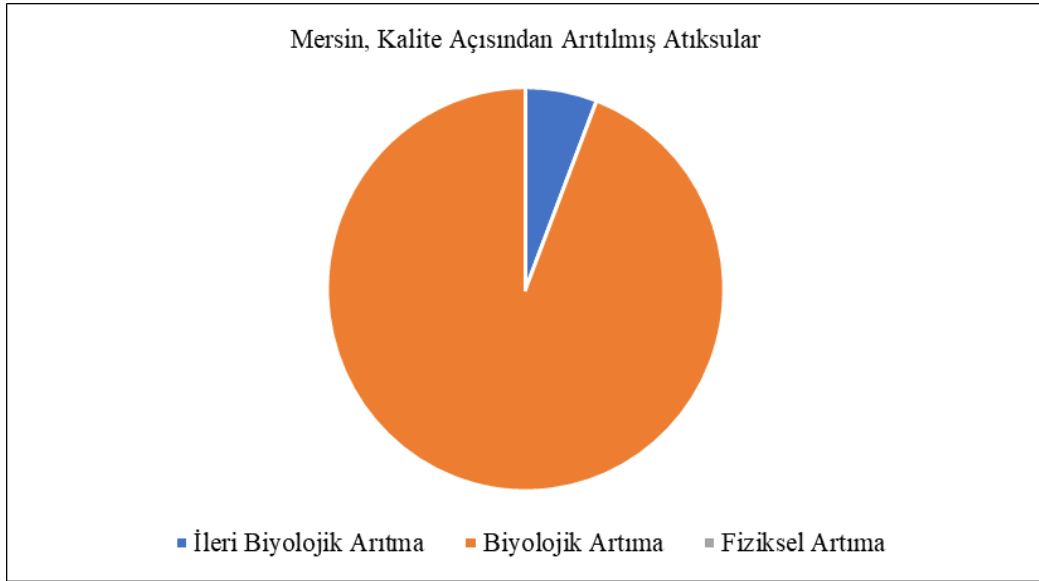
3.1.2.11. Mersin

Mersin ilinde belirtilen kriterlere göre atıksu arıtma tesislerinin toplam sayısı 4 olup bunların 3 adedi biyolojik arıtma ve 1 adedi ise ileri biyolojik arıtma prosesine sahiptir. Mersin iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11: Mersin iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	1	9852
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	3	159305
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		4	169157

Mersin ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Mersin ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Deniz suyu girişiminin önlenmesinde Mersin ilindeki arıtılmış atıksuların kullanım potansiyeli 169157 (m³/gün) olarak tahmin edilmiştir. Tesislere gelen atıksuların %94'ü biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir. Arıtılmış atıksular kalite açısından genel olarak ikinci gruba girmektedir.

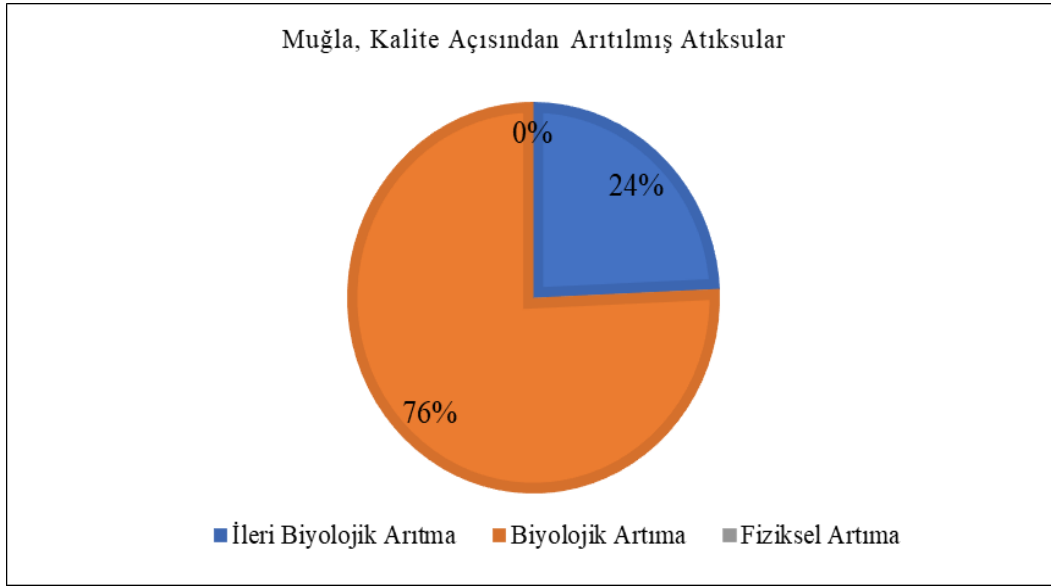
3.1.2.12. Muğla

Muğla ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 9 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesislerin 7 adedi biyolojik ve 2 adedi ise ileri biyolojik arıtma prosesine sahiptir. Mersin iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12: Mersin iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	2	36000
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	7	112286
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		9	148286

Muğla ilinin arıtılmış atıksularının kalitesi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Muğla ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Deniz suyu girişiminin kontrolü için kullanılabilecek toplam arıtılmış atıksuların potansiyeli 148286 (m³/gün) olarak belirlenmiştir. Muğla ilinde arıtılmış atıksular kalite olarak hem birinci hemde ikinci grubuna girmektedir. Tesislere gelen atıksuların %76'sı biyolojik ve %24'ü ise ileri biyolojik arıtma prosesine tabi tutulmaktadır.

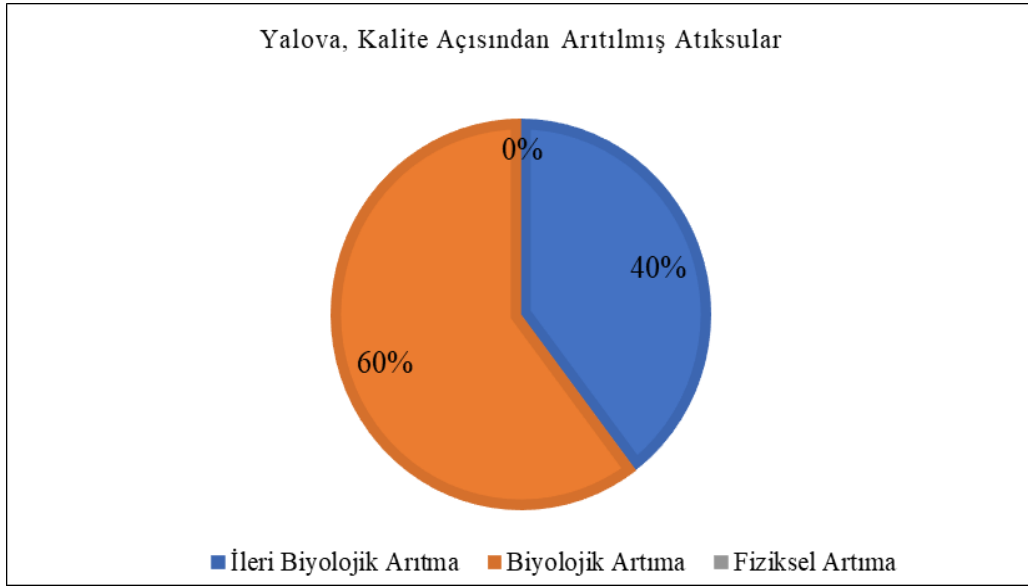
3.1.2.13. Yalova

Yalova şehrinde belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre sadece 2 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için her iki tesisin toplam arıtılmış atıksu potansiyeli 63000 (m³/gün) olarak belirlenmiştir. Yalova iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13: Yalova iline ait DSG için arıtılmış atıksu potansiyeli

Atıksu Kalitesi	Proses	AAT Sayısı	2015 Ortalama Günlük Debi (m ³ /gün)
1. Kalite	İleri biyolojik Arıtma	1	25000
2. Kalite	Biyolojik Arıtma	1	38000
3. Kalite	Fiziksel Arıtma	0	0
Toplam		2	63000

Yalova ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Yalova ilinin arıtılmış atıksuların kalitesi

Yalova'daki kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin önlenmesinde kullanılabilecek arıtılmış atıksular, kalite açısından birinci ve ikinci gruba girmektedir. Tesislere gelen atıksuların %60'sı biyolojik ve %40'ı ise ileri biyolojik arıtma prosesinden geçmektedir.

3.2.Yöntem

Deniz suyu girişiminin önlenmesinde enjeksiyon kuyuları ile hidrolik bariyerin oluşturulması en etkin metotlardan biridir. Yıllardır bu konu ile ilgili birçok bilim insanı ve araştırmacı tarafından çok sayıda çalışmalar yürütülmüştür ve farklı ülkelerde bu metot uygulanmıştır. Enjeksiyon kuyuları metodunda su kaynağı olarak arıtılmış atıksularını kullanan çok sayıda ülke bulunmaktadır.

Amerika'nın California eyaletindeki Los Angeles şehrinde kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini engellemek için 1950 yılından beri enjeksiyon kuyuları ile arıtılmış atıksular akifere enjekte edilerek hidrolik bir bariyer oluşturulmaktadır. Kıyıda yaklaşık 28 km boyunca toplam 290 adet enjeksiyon kuyusu kurulmuştur. Kıyıdaki akiferlere 2008 yılında 37.7 milyon m³ su enjekte edilmiştir ve aynı yılda işletme maliyetinin toplamı 18 milyon dolar olmuştur (Johnson, 2007).

İspanya'nın Barcelona'daki Llobregat deltasında deniz suyunun yeraltı su akiferlerine girişini engellemek için kıyıdan iç kısma doğru 1 km uzaklıkta olacak şekilde 6 km boyunca toplam 15 enjeksiyon kuyusu kurulmuştur. Deltadaki akiferlere günlük 15.000 m³ arıtılmış atıksu enjekte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu projenin kurulum maliyeti 23 milyon Euro olurken yıllık işletme maliyeti 190.000 Euro olmuştur (Ortuno ve ark., 2012).

El-alphy ve ark. (2018), Mısır'ın kuzeyinde, Akdeniz kıyısında bulunan El-Ariş kentinde kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini incelemiştir. Enjeksiyon kuyuları kullanılarak 20, 30, 50 ve 100 yıllık süreç zarfında toplam 14, 12.8, 9.7 ve 7,5 milyon m³ arıtılmış atıksuyun enjekte edilmesi halinde yeraltı tatlı-tuzlu su arasındaki hassas hidrolik denge sabit hale gelecektir ve enjekte edilecek suyun yıllık toplam maliyet sırasıyla 27.76, 25.4, 19.25 ve 14.9 milyon dolar olacaktır.

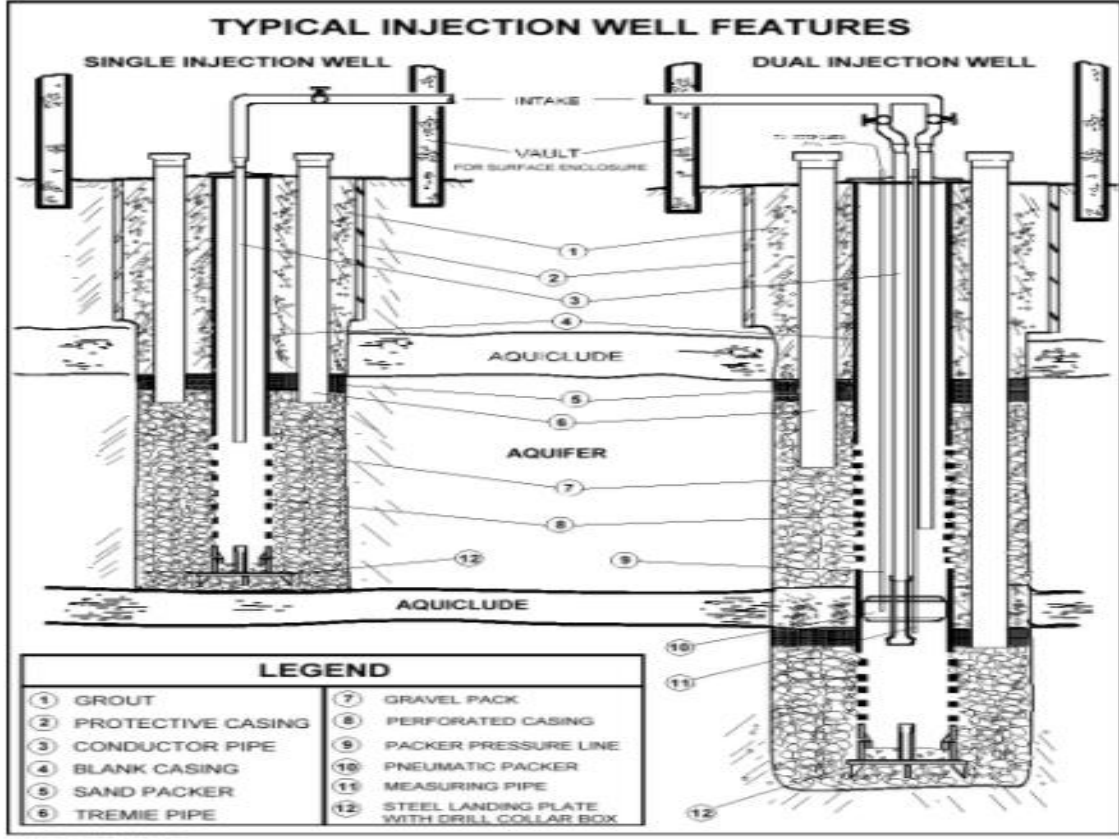
Arıtılmış atıksularla deniz suyu girişiminin önlenmesi için enjeksiyon kuyuları ile akifere enjekte edilmesi, bu suların hem çevreden uzaklaştırmasından hem de yeraltı su kaynaklarının korunmasından dolayı çevre dostu bir metottur. Bu bölümde, illere göre deniz suyu girişiminin önlenmesi için enjekte edilecek arıtılmış atıksu miktarı belirlenerek daha sonra kurulması gereken kuyu sayısını belirledikten sonra kurulum ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

3.2.1. Deniz Suyu Girişimi Önlenmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kuyusunun Genel Yapısı

Enjeksiyon kuyularının tasarımı, bölgedeki akifer ve zemin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Enjeksiyon kuyularının inşaatı zamana bağlı olarak transite (asbestli çimento), düşük karbonlu çelik, kaplanmış paslanmaz çelik veya perdelerden inşa edilmektedir. Kuyular, delikli plaka ve akış tüp gibi diferansiyel basınç akış ölçüm kısımları ile donatılmıştır. Genelde enjeksiyon kuyularının başlık parçaları (header appurtenances) betonarme bir yapı içine yerleştirilir. 6 inçlik bir yanal boru, bir kapama vanasıyla donatılmış olan dağıtım boru hattından ayrılır ve başlık montajına (header assembly) bağlanır. Enjeksiyon kuyularının çeşitli tasarımları bulunmaktadır. Bunların arasında iki ana kategori vardır ve bunlar sırasıyla; tek zonlu enjeksiyon kuyuları ve çift zonlu enjeksiyon kuyularıdır.

Tek zonlu enjeksiyon kuyuları, tek bir akifer için su enjekte amacıyla tasarlanmaktadır. Çift zonlu enjeksiyon kuyuları, iki yeraltı akiferine eşzamanlı veya bağımsız olarak suyu enjekte etmek üzere tasarlanmaktadır. Tipik bir enjeksiyon kuyusu örneği aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Şekil 3.14: Tek ve çift zonlu enjeksiyon kuyularının genel yapısı



(https://dpw.lacounty.gov/wrd/Barriers/full_injection.cfm)

Şekil 3.14'e bakıldığında her ikisi hem tek hem de çift zonlu enjeksiyon kuyuları aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

- | | |
|---|---|
| 1. Harç | (grout) |
| 2. Dış lastik ya da gövde koruyucusu | (protecting casing) |
| 3. İletken borusu | (conductor pipe) |
| 4. Boşluk gövdesi | (blank casing) |
| 5. Kum paketi | (sand packer) |
| 6. Tremie borusu | (tremie pipe) |
| 7. Çakıl paketi | (gravel pack) |
| 8. Delikli gövde | (perforated casing) |
| 9. Paketleyici basınç hattı | (packer pressure line) |
| 10. Pnömatik paketi | (pneumatic pack) |
| 11. Ölçüm borusu | (measuing pipe) |
| 12. Çelik iniş plakası ile matkap yaka kutusu | (steel landing plate with drill collar box) |

3.2.2. Maliyet Analizi

İllerdeki deniz suyu girişimini önlemek için kullanılan enjeksiyon kuyuları metodunda ilk önce kullanılacak atıksuyun miktarı belirlenmiştir. Daha sonra enjekte edilecek günlük debiden yola çıkarak kuyu sayısı hesaplanmıştır. Her bir enjeksiyon kuyusunun kurulum ve işletme maliyetini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{minf} = DR \times \beta_d + QR \times (\beta_r + \alpha) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki formülde, f Her bir kuyunun maliyeti, DR Enjeksiyon derinliği (m), β_d Kazılacak zeminin her bir metre maliyeti (\$/m), QR Enjekte edilecek suyun debisi (m³/s), β_r Enjeksiyon maliyeti (\$/m³) ve α Arıtılmış atıksuyun ederi (\$/m³) (Javadi ve ark., 2015). Enjeksiyon kuyularının kurulum ve işletme maliyeti hesaplanırken aşağıdaki yan kısaltmalar dikkate alınmıştır.

$$0 < QR \left(\frac{m^3}{s} \right) < 0.005 \quad (3.2)$$

$$0 < DR(m) < 100 \quad (3.3)$$

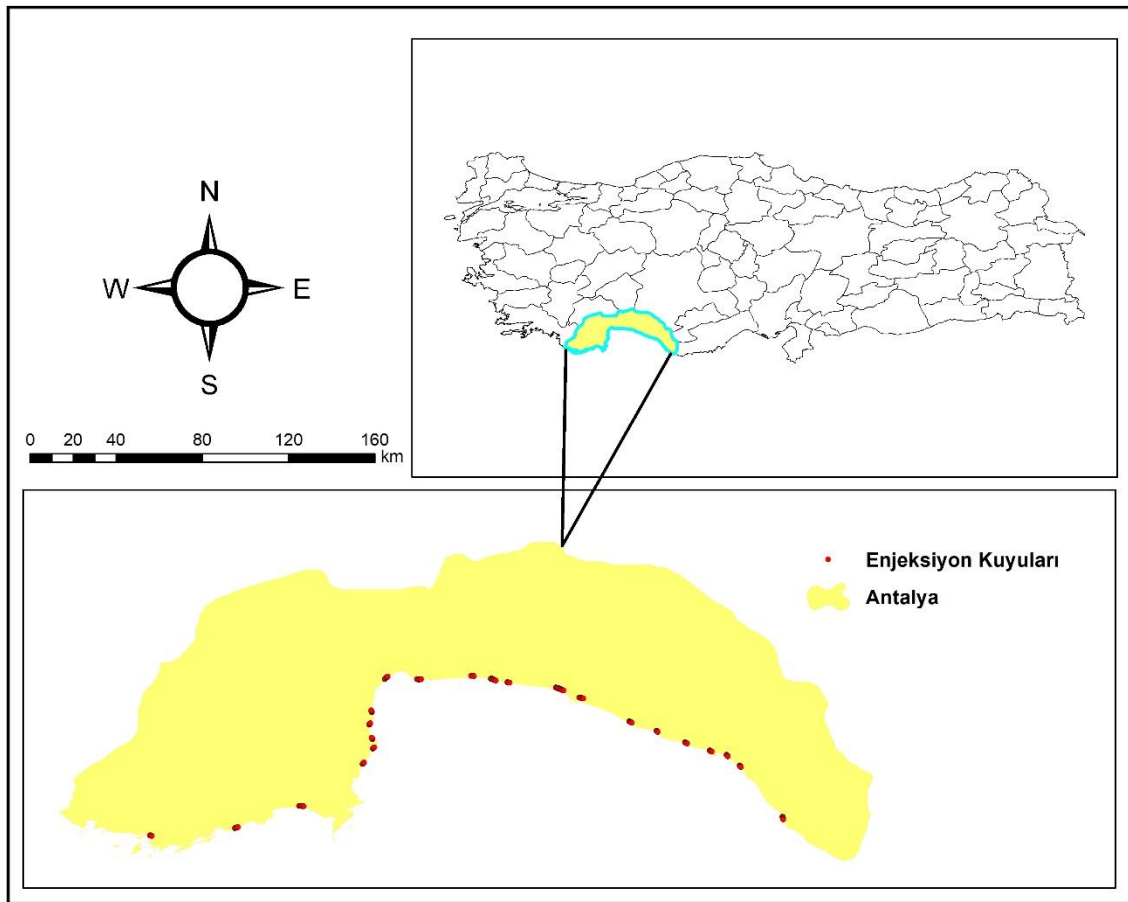
Enjeksiyon kuyusunun kurulumunda kazılacak zeminin her bir metre maliyeti (1000\$/m), Enjekte edilecek suyun maliyeti (0.48\$/m³) ve arıtılmış atıksuyun maliyeti (0.25\$/m³) olarak kabul edilmiştir (Chen ve ark., 2003; Asano ve Bahri, 2010; Javadi ve ark., 2012).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 İllere Göre Maliyet Analizi

4.1.1. Antalya

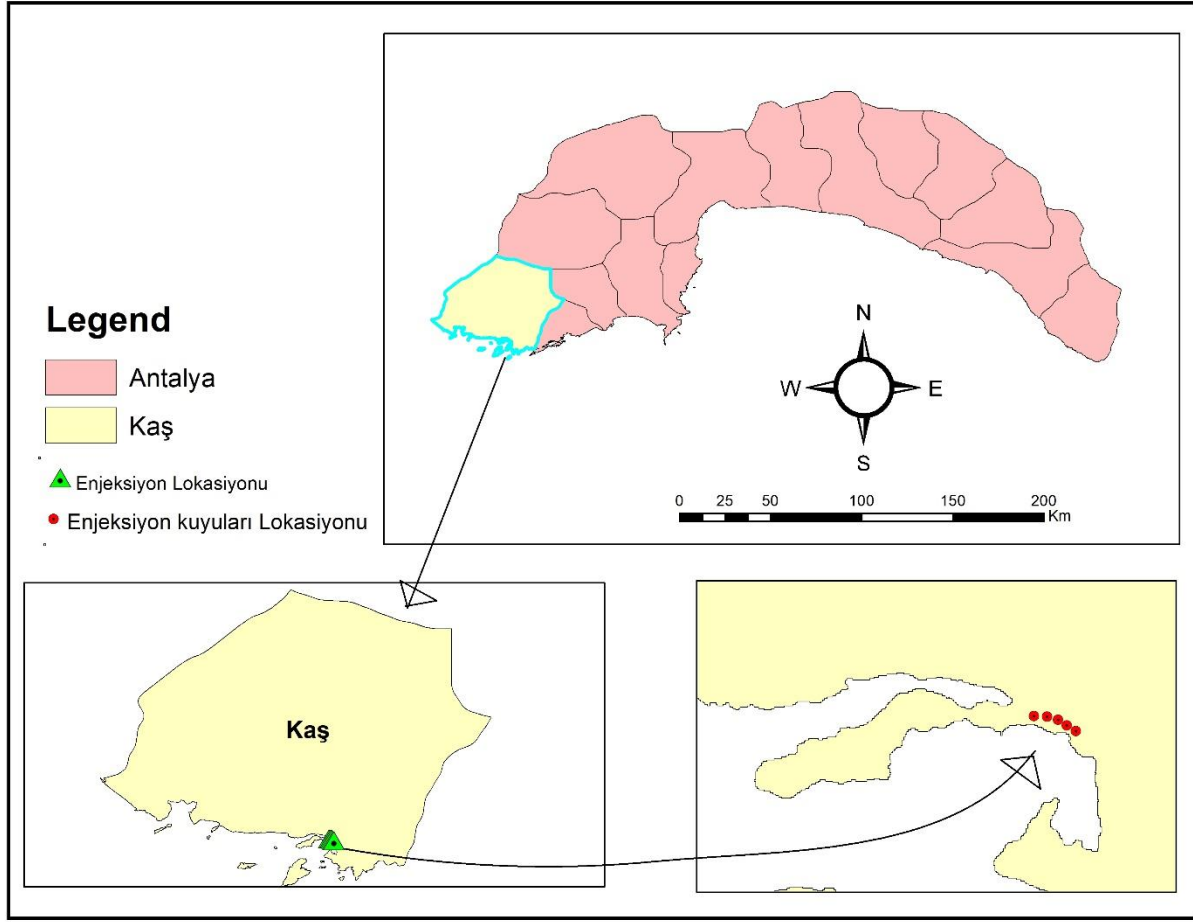
Bir önceki bölümde Antalya ili için deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atıksu potansiyeli 528920 m³/gün olarak belirtilmişti. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun %10'u, (52892 m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Antalya ili enjeksiyon kuyuları lokasyon haritası Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Antalya ili enjeksiyon kuyuları lokasyon haritası

Antalya'da kıyısı olan 9 ilçede 125 asil ve 25 yedek kuyu olacak şekilde toplam 150 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.1). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kapasiteye sahiptir.

Antalya'nın Kaş ilçesinde kıyaya paralel olarak 4 asıl 1 yedek toplam 5 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.2).



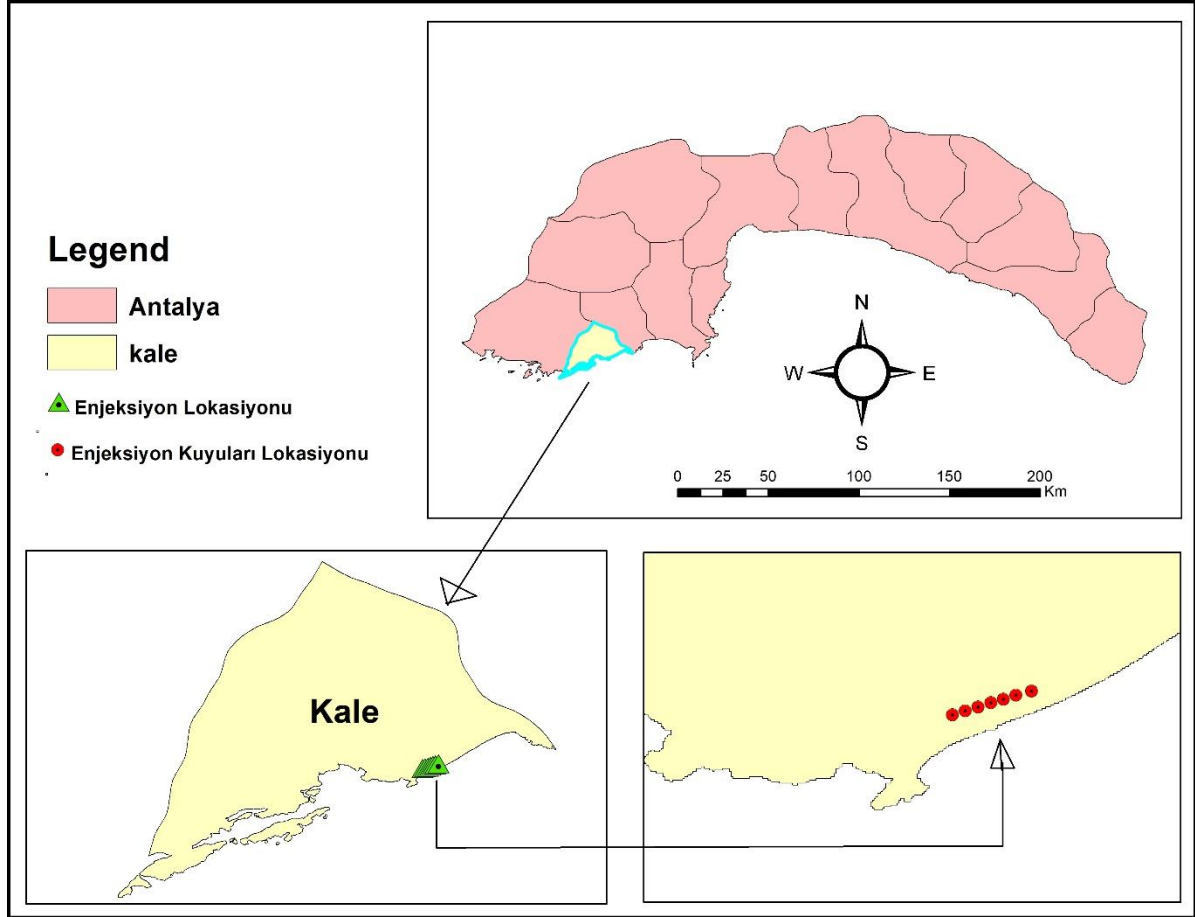
Şekil 4.2: Antalya Kaş ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

Kaş ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi 90 m'dir ve ilçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 1692 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 450.000\$ ve yıllık işletme maliyeti 4.508.833\$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: Kaş ilçesi maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	5
Asıl kuyu (N)	4
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	1692
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	617580
Kurulum maliyeti (\$)	17500
Günlük maliyet (\$)	1235
Yıllık maliyet (\$)	4508833

Antalya'nın Kale (Demre) ilçesinde kıyaya paralel olarak 6 asıl 1 yedek toplam 7 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.3). Enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 40 m'dir.



Şekil 4.3: Antalya Kale İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

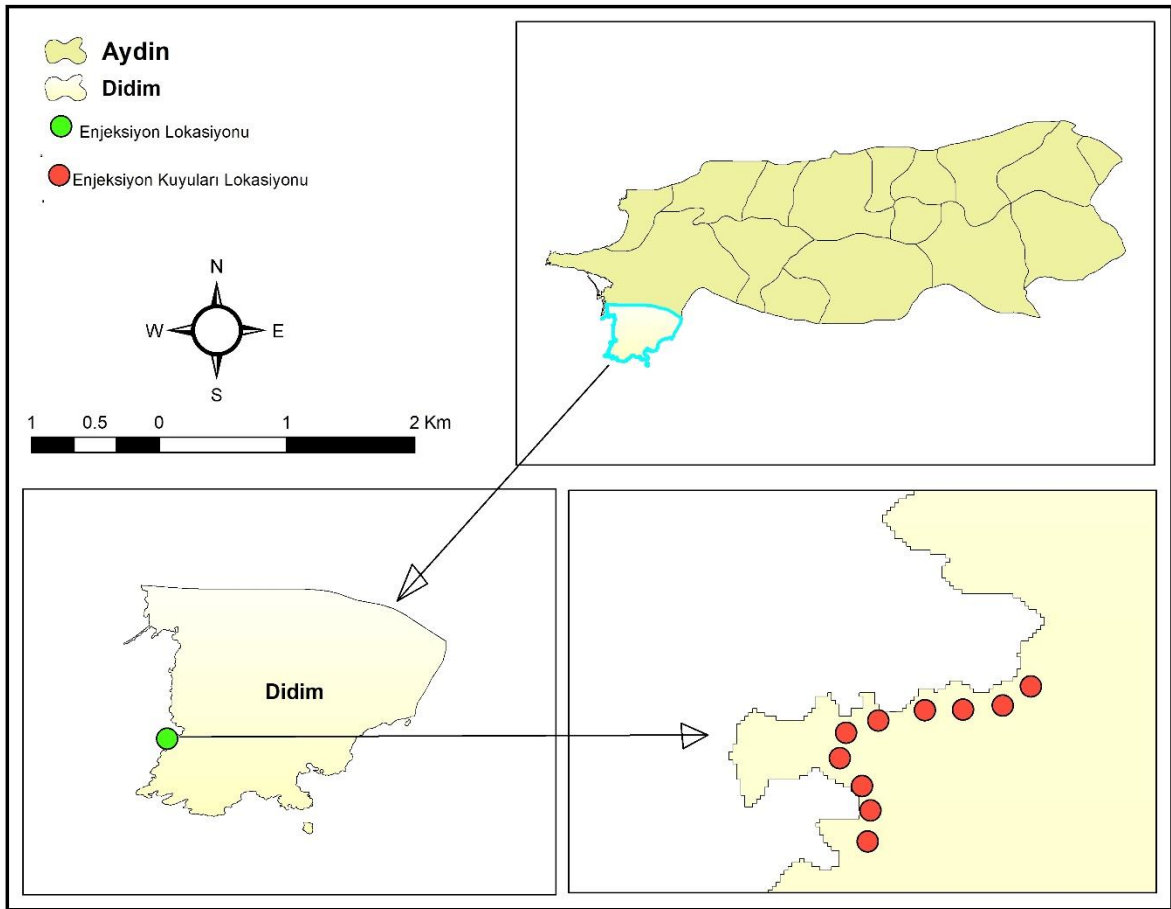
İlçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 2.538 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 280.000\$ ve yıllık işletme maliyeti 676.250\$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2: Kale İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	7
Asıl kuyu (N)	6
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	2538
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	926370
Kurulum maliyeti (\$)	140000
Günlük maliyet (\$)	1853
Yıllık maliyet (\$)	676250

4.1.2. Aydın

Aydın ilinde belirtilen debi ve mesafe kriterlere göre sadece 1 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesis Didim ilçesinde yer almaktadır ve deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atıksuyunun potansiyeli 12000 m³/gün olarak belirtilmiştir. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun %33'ü, 4000 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Aydın ilinin Didim İlçesindeki enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Aydın Didim İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Aydın'ın Didim ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyaya paralel olarak 9 asıl 1 yedek toplam 10 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür. Enjeksiyon kuyuları için belirtildiği noktada ortalama yeraltı su seviyesi 10 m'dir.

İlçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 4000 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 100000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1014335 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.10).

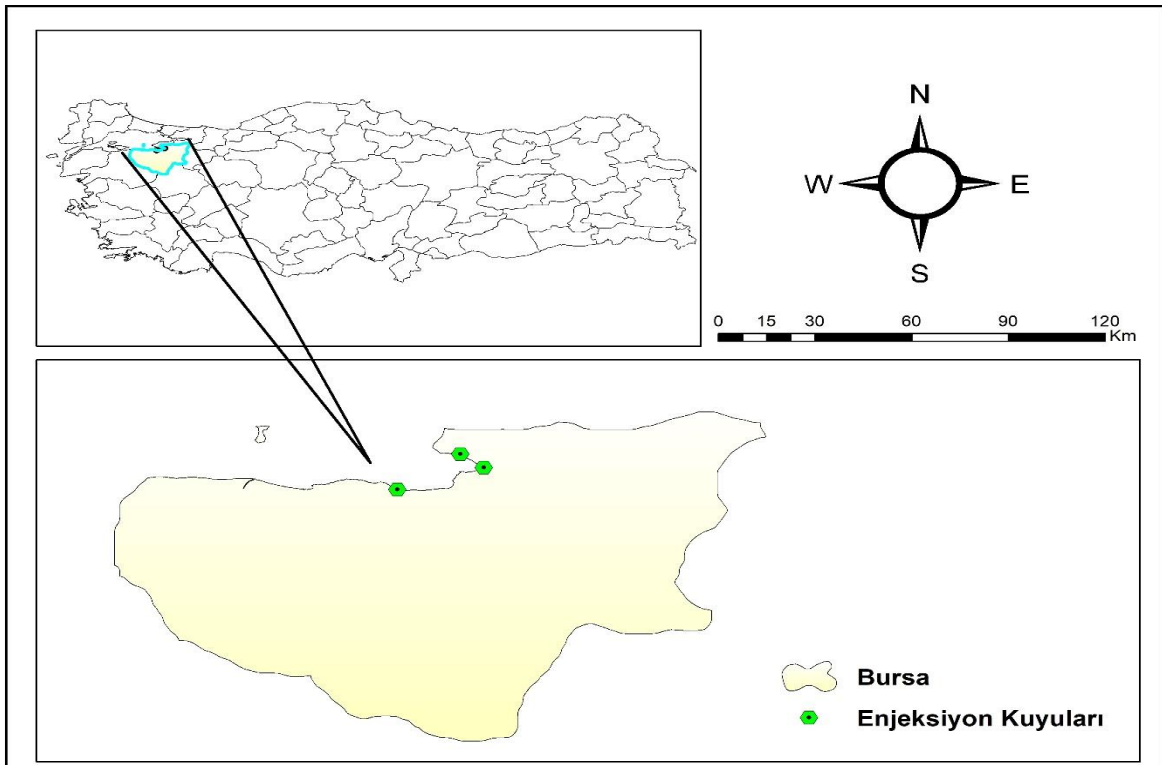
Çizelge 4.11: Balıkesir Ayvalık İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	20
Asil Kuyu (N)	18
Yedek Kuyu (N)	2
Günlük kullanılacak Maks. Debi Miktarı (m ³ /gün)	7700
Yıllık Kullanılacak Debi Miktarı (m ³ /gün)	2810000
Kurulum Maliyeti (\$)	205000
Günlük Maliyet (\$)	5558
Yıllık Maliyet (\$)	2028750

Enjeksiyon kuyuları için belirtildiği noktada ortalama yeraltı su seviyesi sırasıyla 11 ve 9.5 m'dir. İlçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 7700 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 205000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 2028750 \$ çıkmıştır.

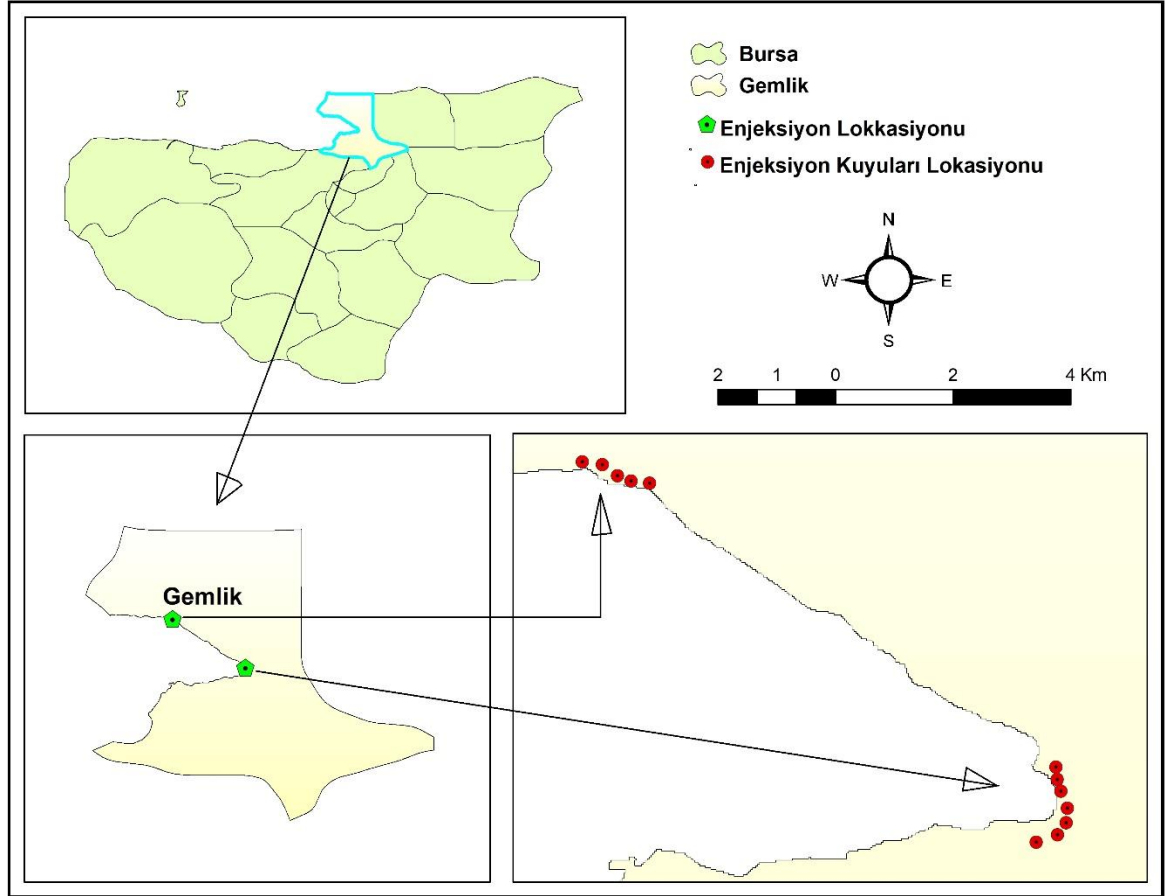
4.1.4 Bursa

Bir önceki bölümde Bursa ili için deniz suyu girişiminin önlenmesinde artırılmış atık suyun potansiyeli 46572 m³/gün olarak belirtilmişti. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için artırılmış atıksuyun %15'i 7100 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Antalya ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.13:** Bursa İli Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Bursa ilinde kıyısı olan 2 ilçede (Gemlik ve Mudanya) 17 asil ve 3 yedek kuyu olmak üzere toplam 20 adet enjeksiyon kuyusunun kurlumu uygun görülmüştür. Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kapasiteye sahiptir.

Bursa'nın Gemlik ilçesinde 2 farklı noktada (Dr. Ziya Kaya ve Büyükkumla mahallesi) kıyaya paralel olarak 10 asil 2 yedek toplam 12 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.14).



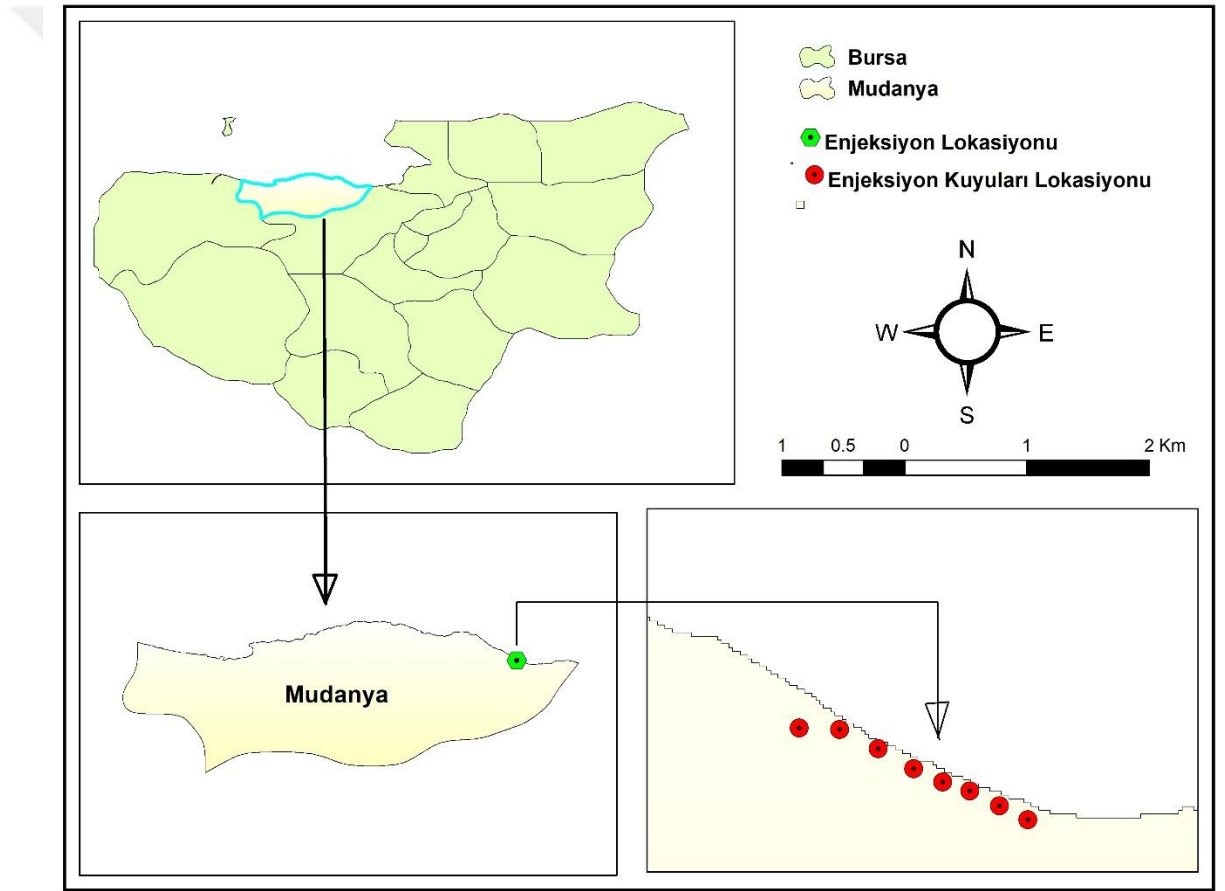
Şekil 4.14: Bursa Gemlik İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Gemlik ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi 4.5 m'dir. Gemlik ilçesindeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 7191 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 106000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1916040 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12: Bursa Gemlik İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	12
Asil Kuyu (N)	10
Yedek Kuyu (N)	2
Günlük kullanılacak Maks. Debi Miktarı (m ³ /gün)	7191
Yıllık Kullanılacak Debi Miktarı (m ³ /gün)	2624715
Kurulum Maliyeti (\$)	106000
Günlük Maliyet (\$)	3088
Yıllık Maliyet (\$)	1127120

Bursa'nın Mudanya ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyaya paralel olarak 7 asil 1 yedek toplam 8 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.15). Enjeksiyon kuyuları için belirtildiği noktada ortalama yeraltı su seviyesi 6.5 m'dir.

**Şekil 4.15:** Bursa Mudanya İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

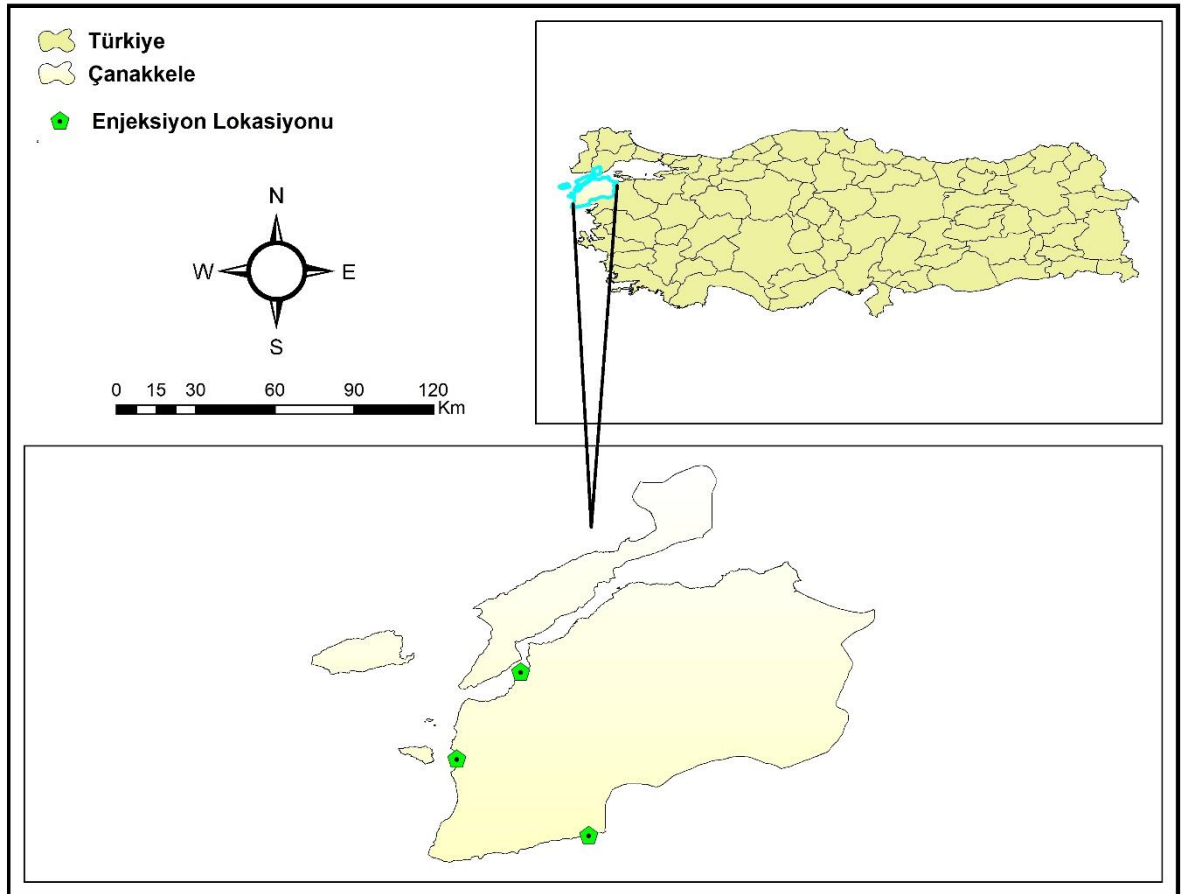
Mudanya ilçesindeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 2961 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 52000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 788958 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13: Bursa Mudanya İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	8
Asil Kuyu (N)	7
Yedek Kuyu (N)	21
Günlük kullanılacak Maks. Debi Miktarı (m ³ /gün)	2961
Yıllık Kullanılacak Debi Miktarı (m ³ /gün)	1080765
Kurulum Maliyeti (\$)	52000
Günlük Maliyet (\$)	2162
Yıllık Maliyet (\$)	788958

4.1.5 Çanakkale

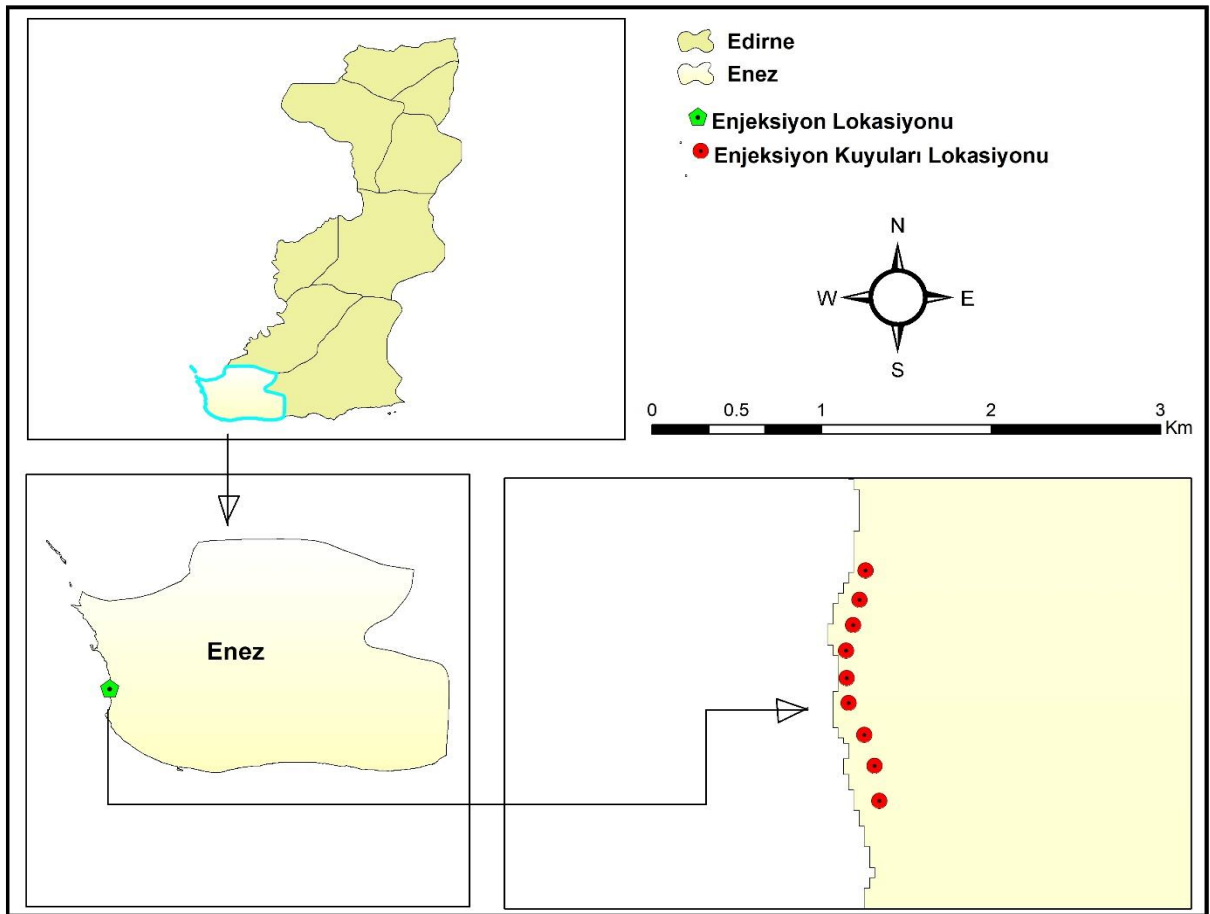
Çanakkale ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için bir önceki bölümde arıtılmış atıksuyun potansiyeli 12742 m³/gün olarak belirtilmişti. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun %75'i 9300 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Antalya ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.16'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.16:** Çanakkale İli Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Çanakkale ilinde denize kıyısı olan 3 ilçede (Ayvacık, Çanakkale Merkez ve Ezine) 22 asil ve 3 yedek kuyusu olmak üzere toplam 25 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür. Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

4.1.6 Edirne

Edirne ilinde belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre sadece 1 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesis Enez ilçesinde yer almaktadır. İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atık suyun potansiyeli 5200 m³/gün olarak belirtilmiştir. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atık suyun %65'i 3384 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Edirne ilinin Enez ilçesindeki enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20: Edirne Enez İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Edirne'nin Enez ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyaya paralel olarak 8 asil 1 yedek toplam 9 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (Çizelge 4.10).

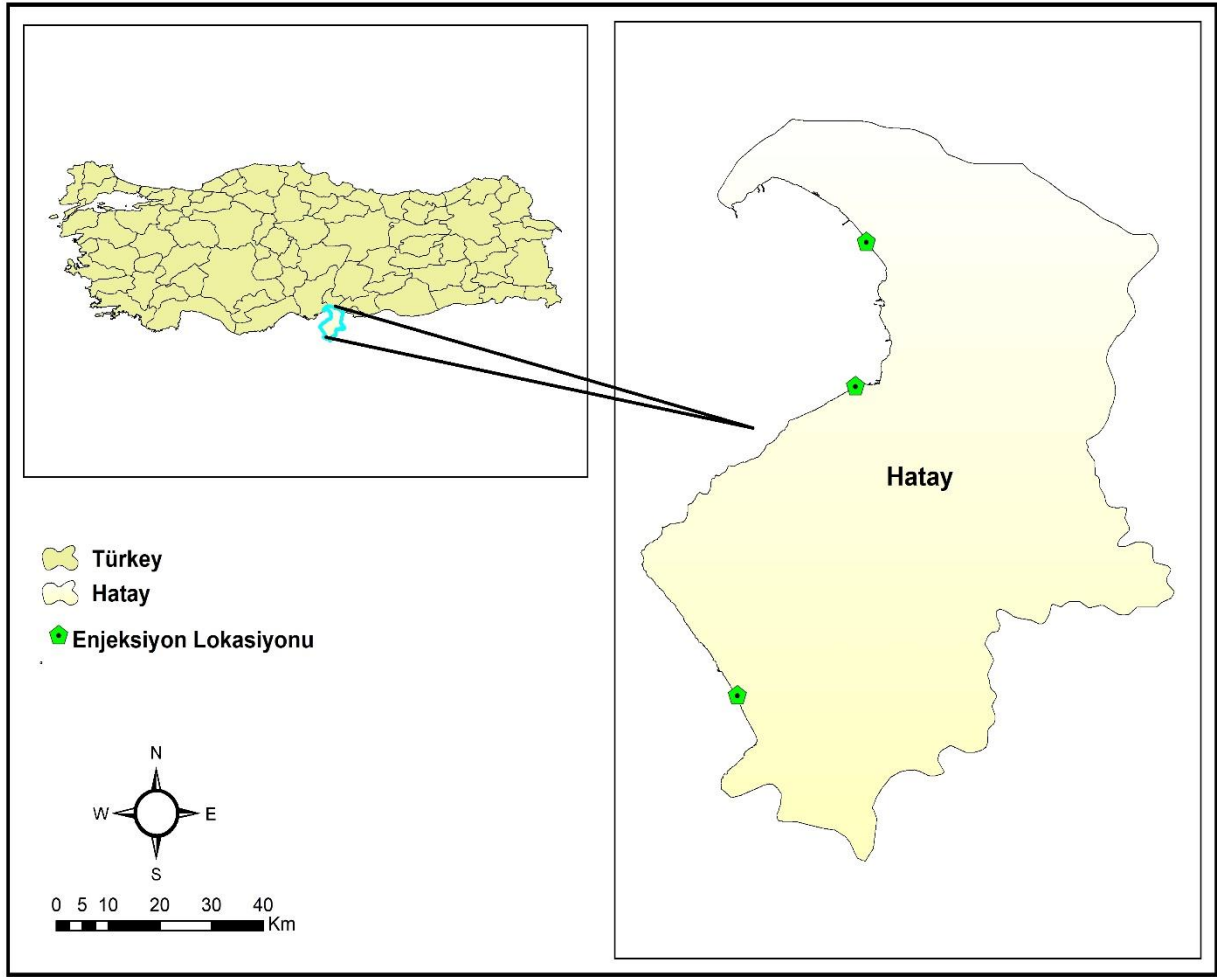
Çizelge 4.17: Edirne Enez İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	9
Asil Kuyu (N)	8
Yedek Kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak Maks. Debi Miktarı (m ³ /gün)	3385
Yıllık Kullanılacak Debi Miktarı (m ³ /gün)	1235525
Kurulum Maliyeti (\$)	180000
Günlük Maliyet (\$)	2470
Yıllık Maliyet (\$)	901667

İlçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 3385 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 180000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 901667 \$ çıkmıştır. Enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 20 m'dir.

4.1.7 Hatay

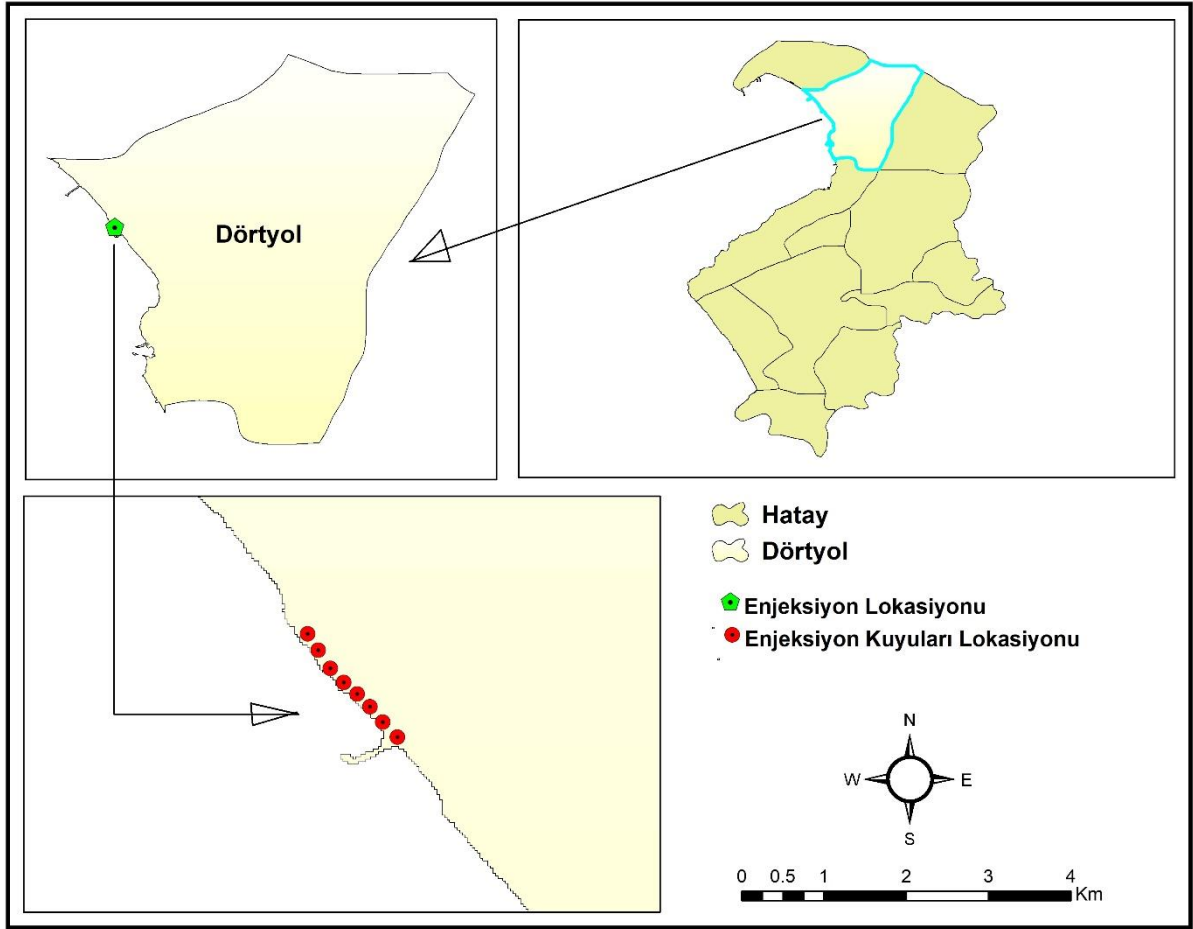
Hatay ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun potansiyeli 45129 m³/gün olarak belirtilmişti. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun %15'i 6800 m³/gün yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Hatay ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21: Hatay ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

Hatay ilinde debi ve mesafe kriterlerine göre 3 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesisler Dörtyol, İskenderun ve Samandağ ilçelerinde yer almaktadır. Kıyısı olan bu 3 ilçelerde 16 asil kuyu ve 3 yedek kuyu olmak üzere toplam 19 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.20). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

Hatay'nın Dörtyol ilçesinde kıyaya paralel olarak 7 asil 1 yedek toplam 8 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.21).



Şekil 4.22: Hatay Dörtöl ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

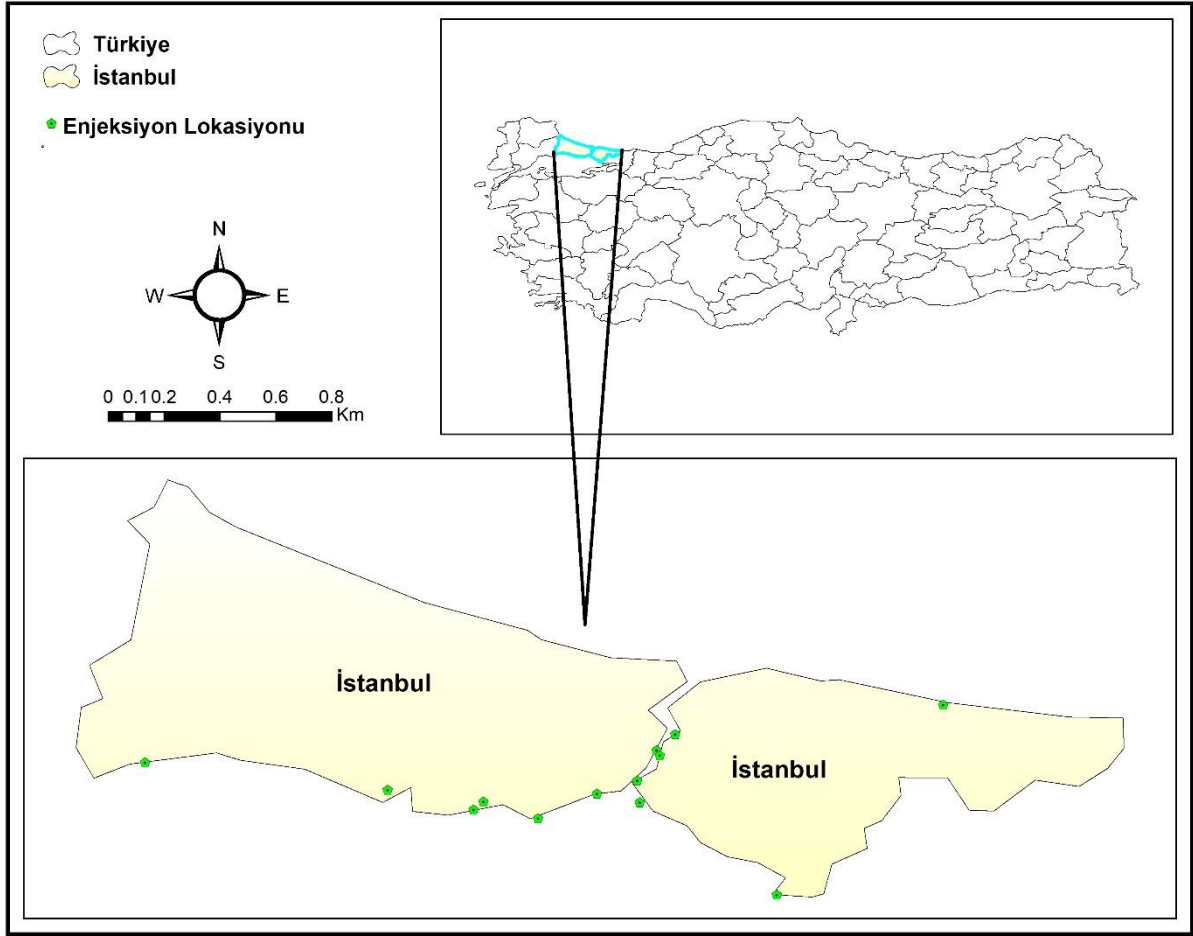
Dörtöl ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 35 m'dir ve ilçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 2970 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 280000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 788958 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18: Hatay Dörtöl maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	8
Asil kuyu (N)	7
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	2970
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	1084050
Kurulum maliyeti (\$)	280000
Günlük maliyet (\$)	2162
Yıllık maliyet (\$)	788958

4.1.8 İstanbul

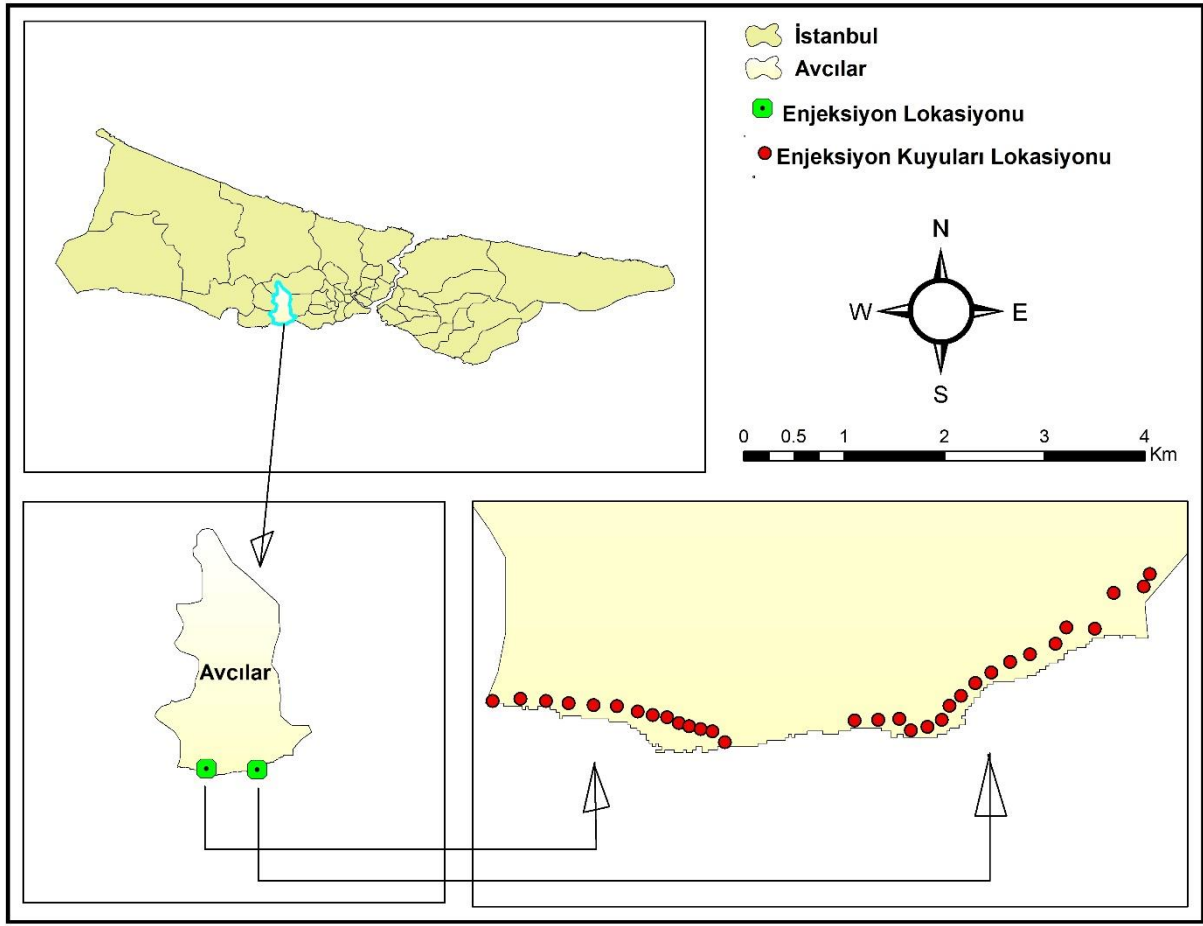
İstanbul ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 3187885 m³/gün arıtılmış atıksu potansiyeli mevcuttur. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun %2.3'ü, (72500 m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. İstanbul ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25: İstanbul ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

İstanbul ilinde denize kıyısı olan 11 ilçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilen 13 noktada 171 adet asil kuyu ve 20 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 191 adet enjeksiyon kuyunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.24). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

İstanbul'un Avcılar ilçesinde iki noktada kıyaya paralel olarak 29 asil ve 4 yedek kuyu olmak üzere toplam 33 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.25).



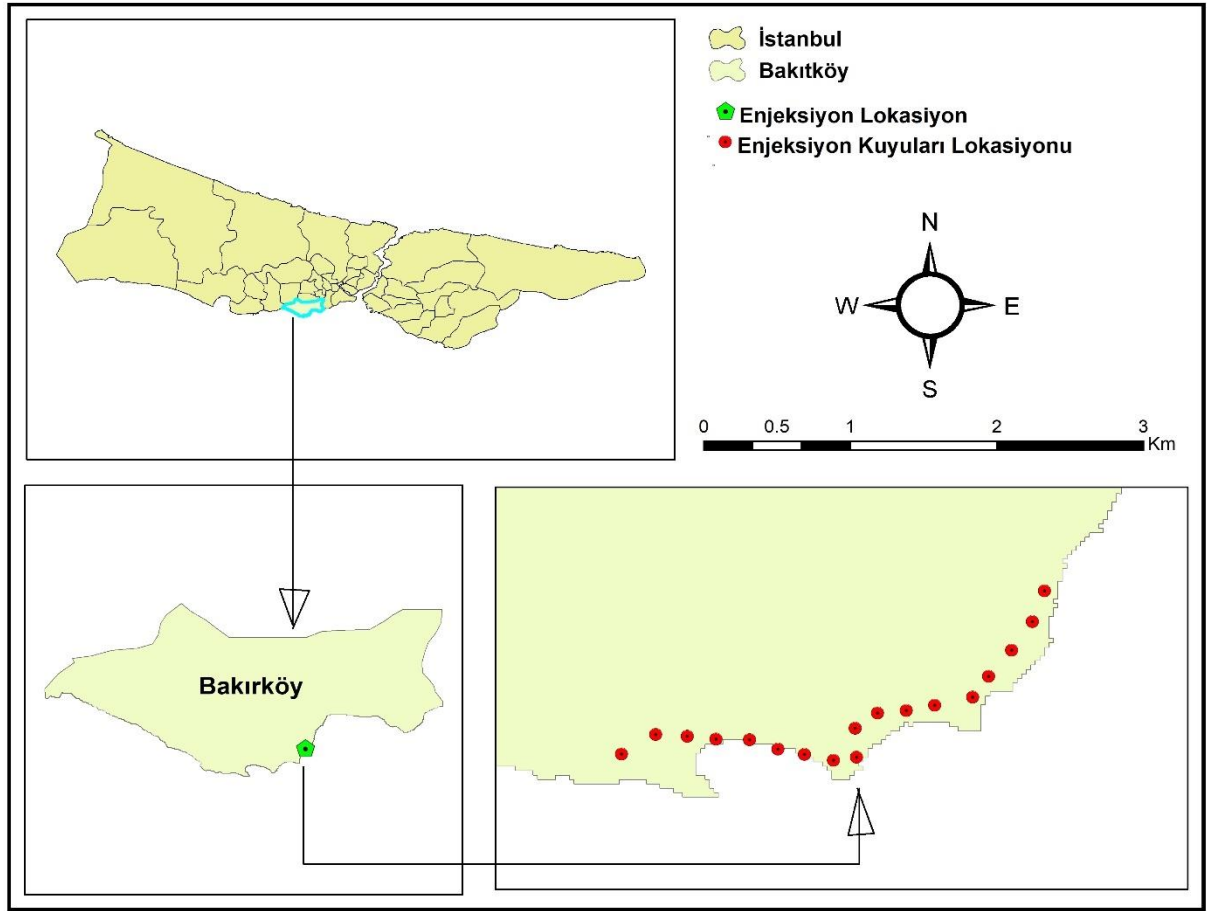
Şekil 4.26: İstanbul Avcılar ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

Avcılar ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi 6 m'dir. İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı $12267 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 198000 \$ ve yıllık işletme aliyeti 3268540 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21: İstanbul Avcılar ilçesi maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	33
Asil kuyu (N)	29
Yedek kuyu (N)	4
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı ($\text{m}^3/\text{gün}$)	12267
Yıllık kullanılacak debi miktarı ($\text{m}^3/\text{gün}$)	4477455
Kurulum maliyeti (\$)	198000
Günlük maliyet (\$)	8955
Yıllık maliyet (\$)	3268540

İstanbul'un Bakırköy ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi amaçlı kıyaya paralel olarak 17 asil 2 yedek toplam 19 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.26). Enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 5 m'dir.



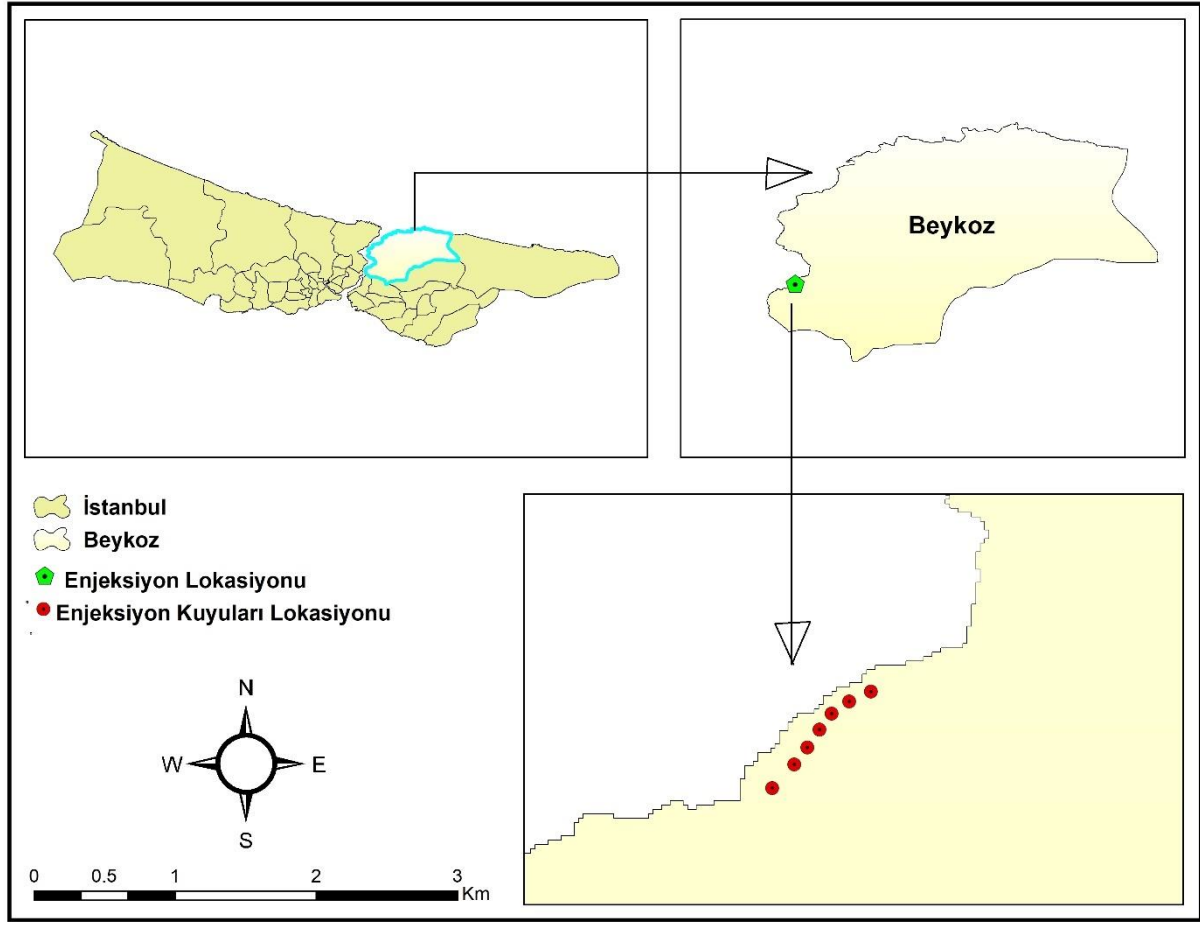
Şekil 4.27: İstanbul Bakırköy İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Bakırköy ilçesinde kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 7191 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 95000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1916042 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22: İstanbul Bakırköy İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	19
Asil kuyu (N)	17
Yedek kuyu (N)	2
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	7191
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	2624715
Kurulum maliyeti (\$)	95000
Günlük maliyet (\$)	5249
Yıllık maliyet (\$)	1916042

Beykoz ilçesinde kıyaya paralel olarak 6 adet asil kuyu ve 1 adet yedek kuyu olmak üzere toplamda 7 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.27). Beykoz ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 6.5 m'dir.



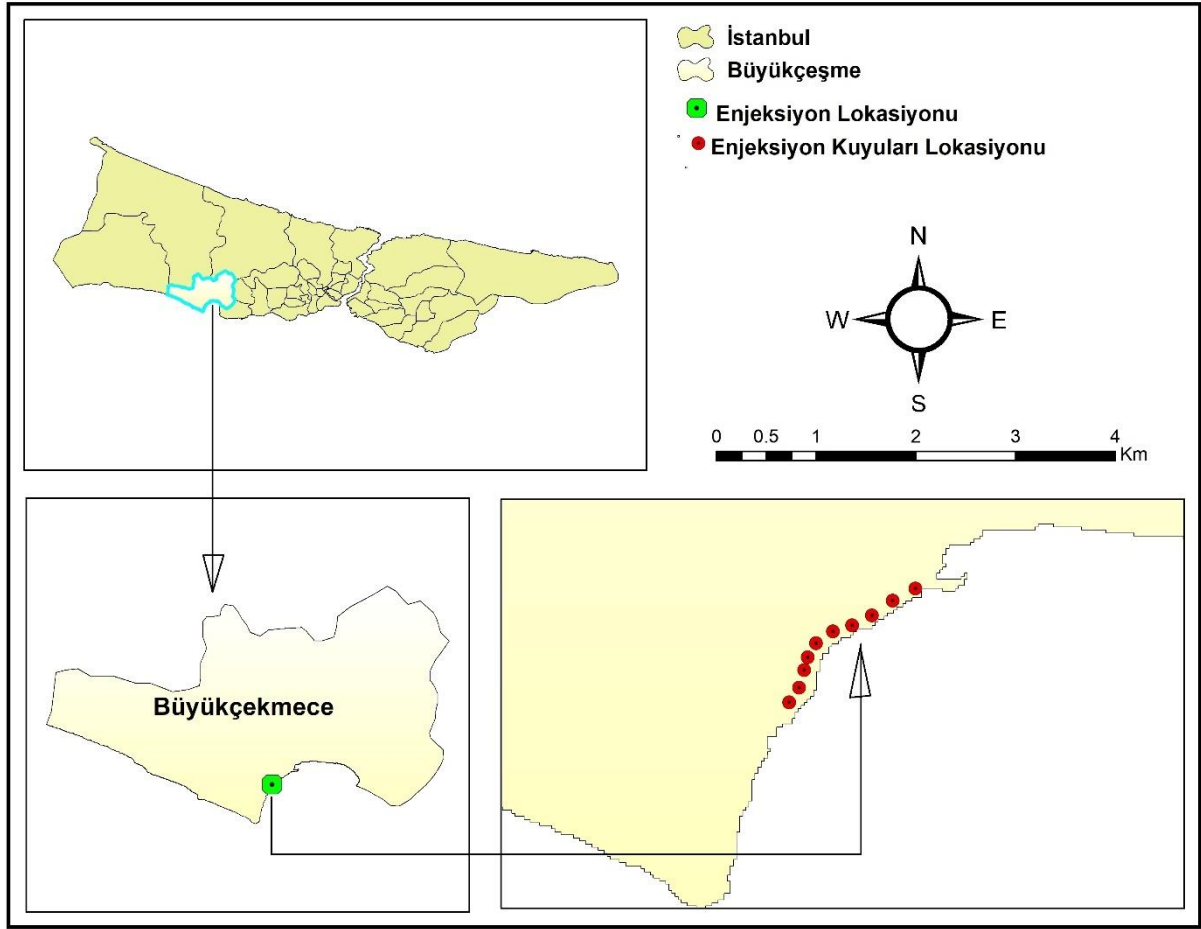
Şekil 4.28: İstanbul Beykoz İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı $2538 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 45500 \$ ve yıllık işletme maliyeti 676250 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23: İstanbul Beykoz İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	7
Asil kuyu (N)	6
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı ($\text{m}^3/\text{gün}$)	2538
Yıllık kullanılacak debi miktarı ($\text{m}^3/\text{gün}$)	926370
Kurulum maliyeti (\$)	45500
Günlük maliyet (\$)	1853
Yıllık maliyet (\$)	676250

Büyükçekme ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyıya paralel olarak 9 asil ve 1 yedek toplamda 10 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.28). Bu ilçede enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 8 m'dir.



Şekil 4.29: İstanbul Büyükçekmece İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Büyükçekmece ilçesindeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 3807 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 80000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1014375 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.24).

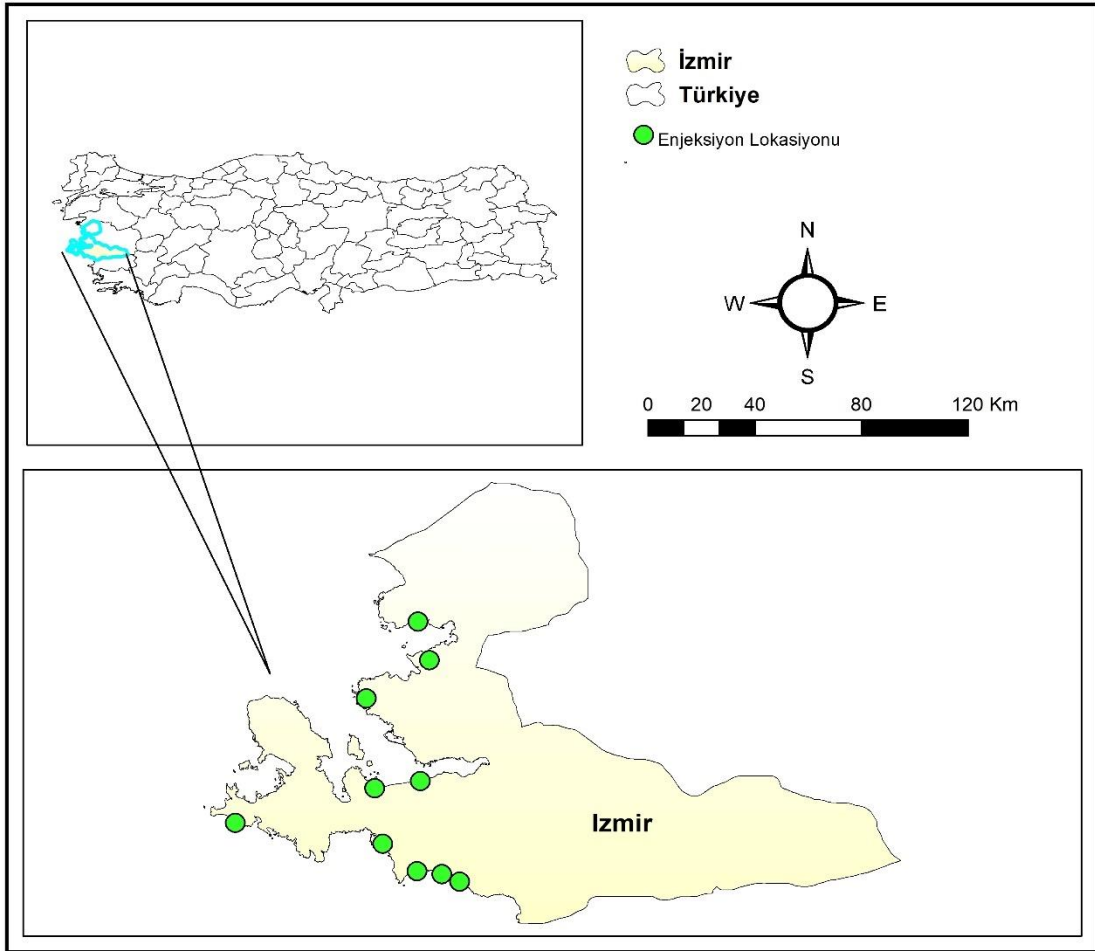
Çizelge 4.24: İstanbul Büyükçekmece İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	10
Asil kuyu (N)	9
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	3807
Yıllık kullanılacak debi (m ³ /gün)	1389555
Kurulum maliyeti (\$)	80000
Günlük maliyet (\$)	2779
Yıllık maliyet (\$)	1014375

4.1.9 İzmir

İzmir ilinde deniz suyu girişiminin kontrolü için belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 102845 m³/gün arıtılmış atıksu potansiyelimevcuttur. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun yaklaşık %21'i, (21150 m³/gün) yeterli olup maliyet

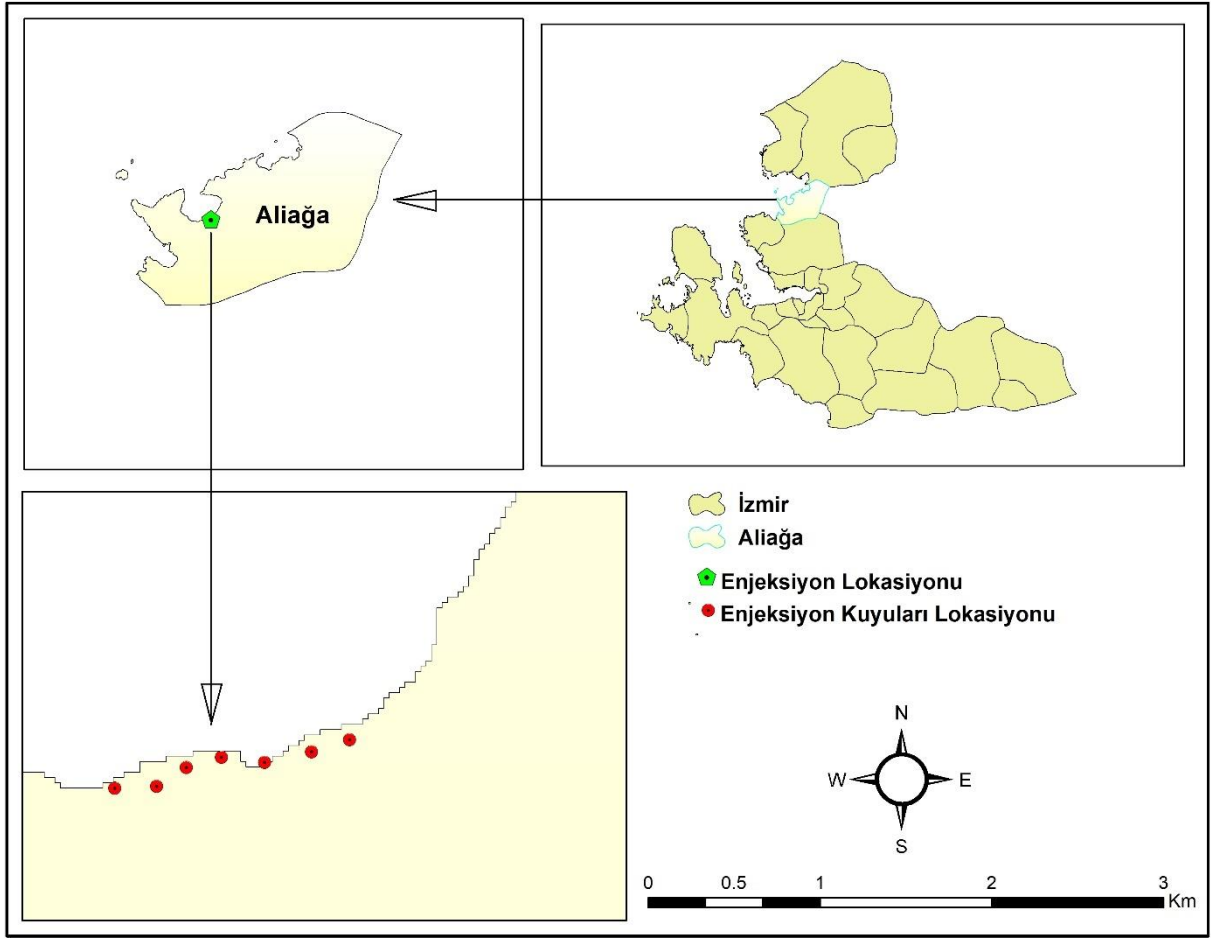
açısından da uygun görülmüştür. İzmir ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.37: İzmir ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

İzmir’de denize kıyısı olan 8 ilçede deniz suyu girişiminin önlenmesine karşı belirtilen 10 farklı noktalarda 50 adet asil kuyu ve 10 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 60 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.36). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

İzmir’in Aliağa ilçesinde kıyaya paralel olarak 6 adet asil kuyu ve 1 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 7 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.27).



Şekil 4.38: İzmir Aliaga ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

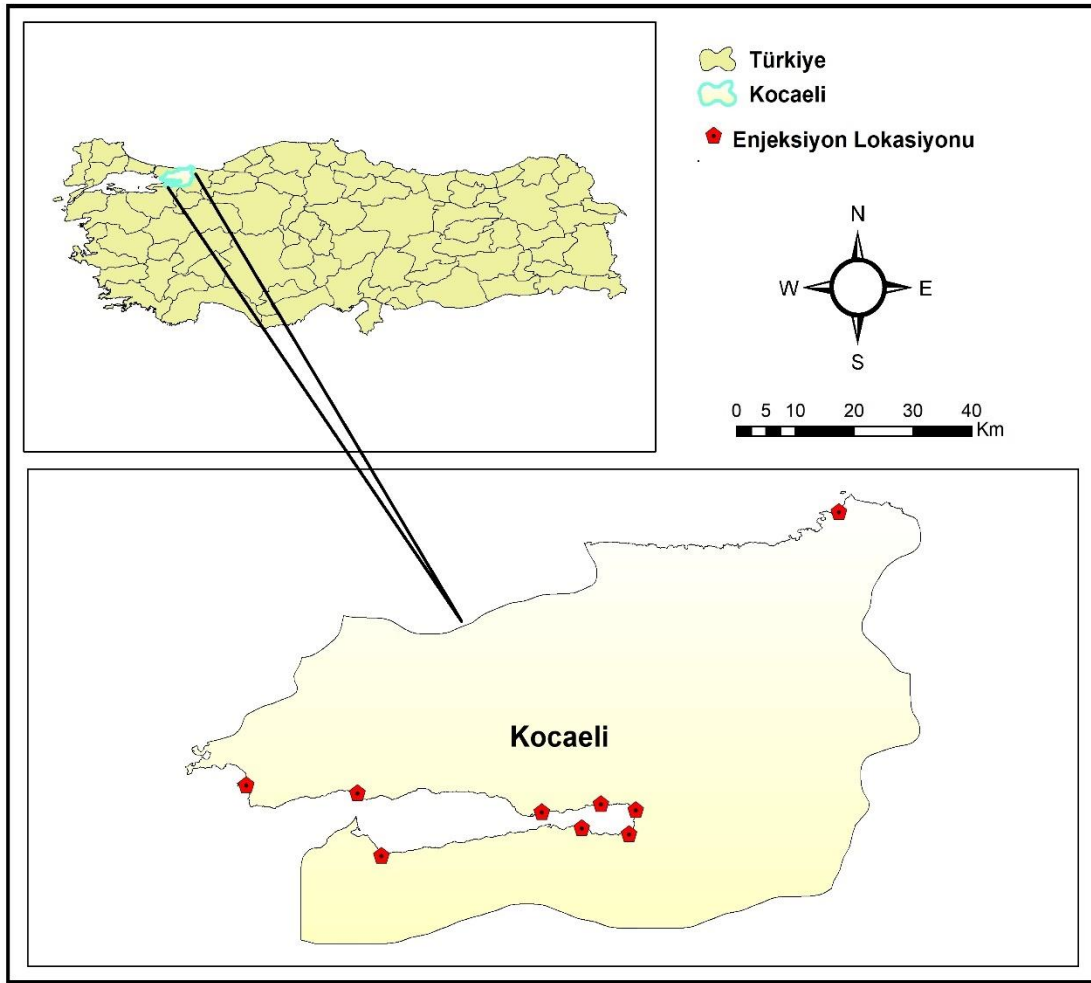
Aliaga ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi 4.5 m'dir. İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 2538 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 29680 \$ ve yıllık işletme maliyeti 676250 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.32: İzmir Aliaga ilçesi maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	7
Asil kuyu (N)	6
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	2538
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	926370
Kurulum maliyeti (\$)	29680
Günlük maliyet (\$)	1853
Yıllık maliyet (\$)	676250

4.1.10 Kocaeli

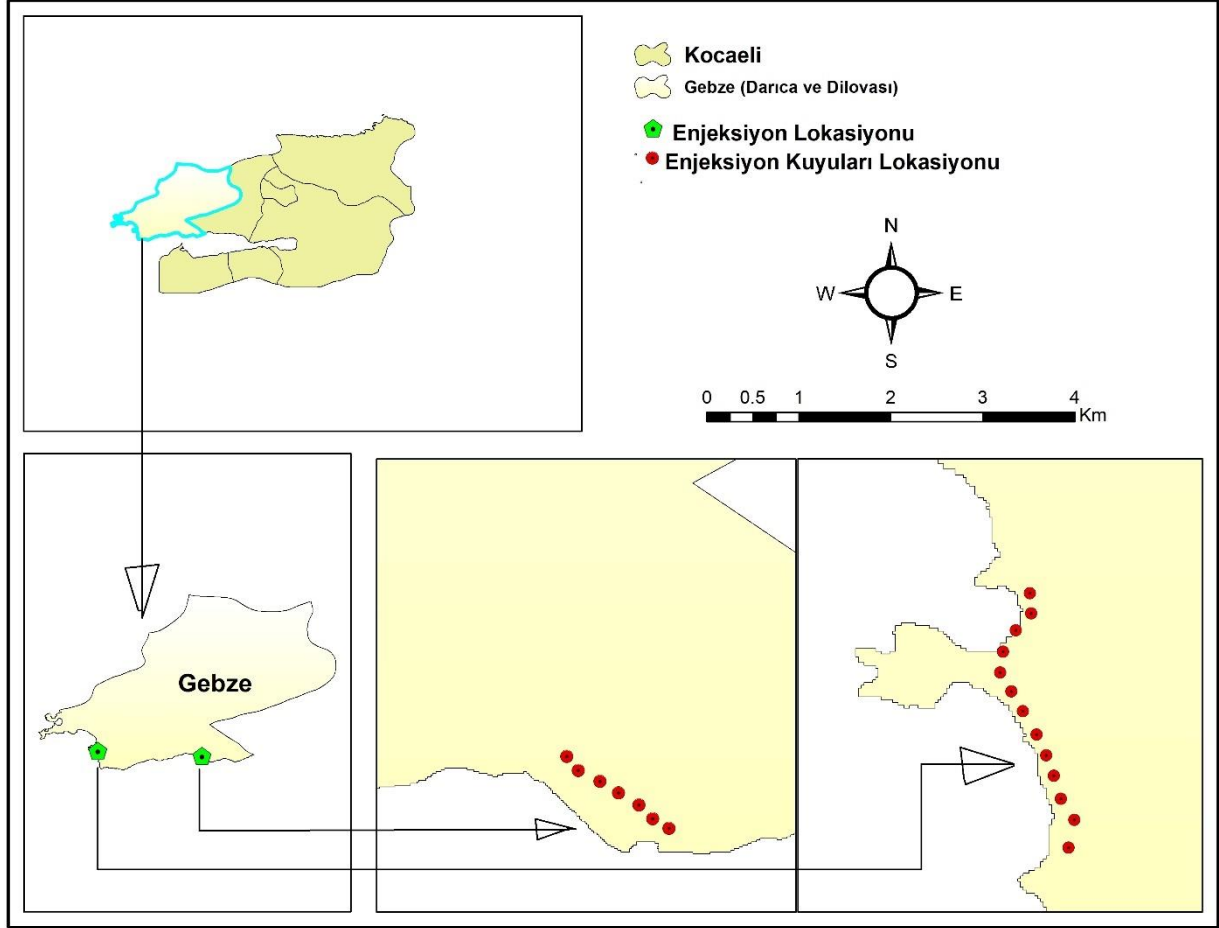
Bir önceki bölümde Kocaeli ili için deniz suyu girişiminin önlenmesinde arıtılmış atık suyunun potansiyeli 374950 m³/gün olarak belirtilmişti. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun %9'u, 35200 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Kocaeli ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.45'te gösterilmiştir.



Şekil 4.46: Antalya ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

Kocaeli'nde kıyısı olan 7 ilçede toplam 9 farklı noktalarda 83 adet asil ve 9 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 92 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.45). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

Kocaeli'nin Gebze ilçesinde iki farklı bölgede (Darıca ve Dilovası) kıyaya paralel olarak 18 adet asil ve 2 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 20 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.46).



Şekil 4.47: Kocaeli Gebze (Darıca ve Dilovası) ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

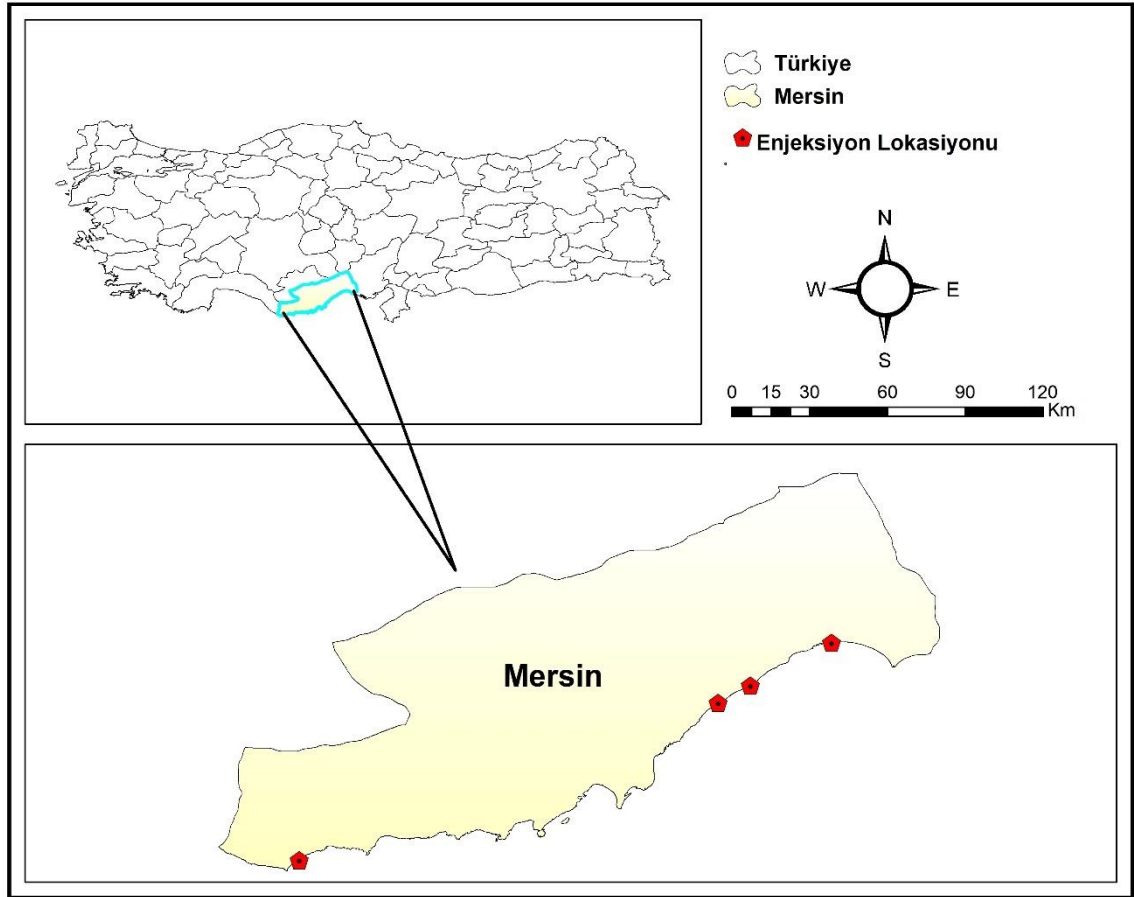
Gebze ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi sırasıyla 7 m ve 6 m'dir. İlçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 7614 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 127000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 4508833 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.40: Kocaeli Gebze (Darıca ve Dilovası) ilçesi maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	20
Asil kuyu (N)	18
Yedek kuyu (N)	2
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	7614
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	2779110
Kurulum maliyeti (\$)	127000
Günlük maliyet (\$)	5558
Yıllık maliyet (\$)	2028750

4.1.11 Mersin

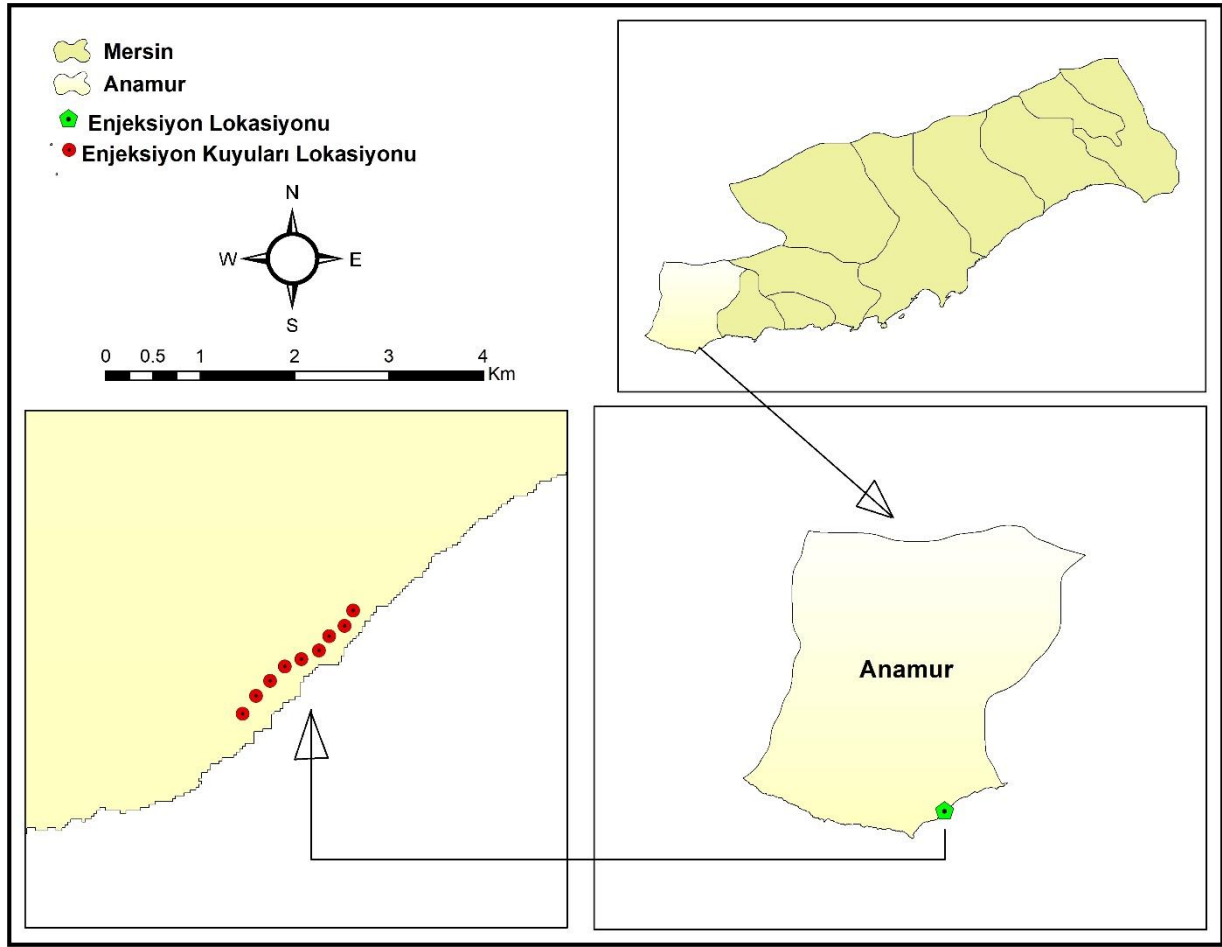
Mersin ili deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 169157 m³/gün arıtılmış atıksu potansiyeli mevcuttur. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atıksuyun yaklaşık %8'i, (13113 m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Mersin ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.50'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51: Mersin ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

Mersin ilinde denize kıyısı olan 3 ilçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilen 4 noktada 31 adet asil kuyu ve 5 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 36 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.50). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

Mersin'in Anamur ilçesinde kıyaya paralel olarak 8 adet asil ve 1 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 9 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.51).



Şekil 4.52: Mersin Anamur ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

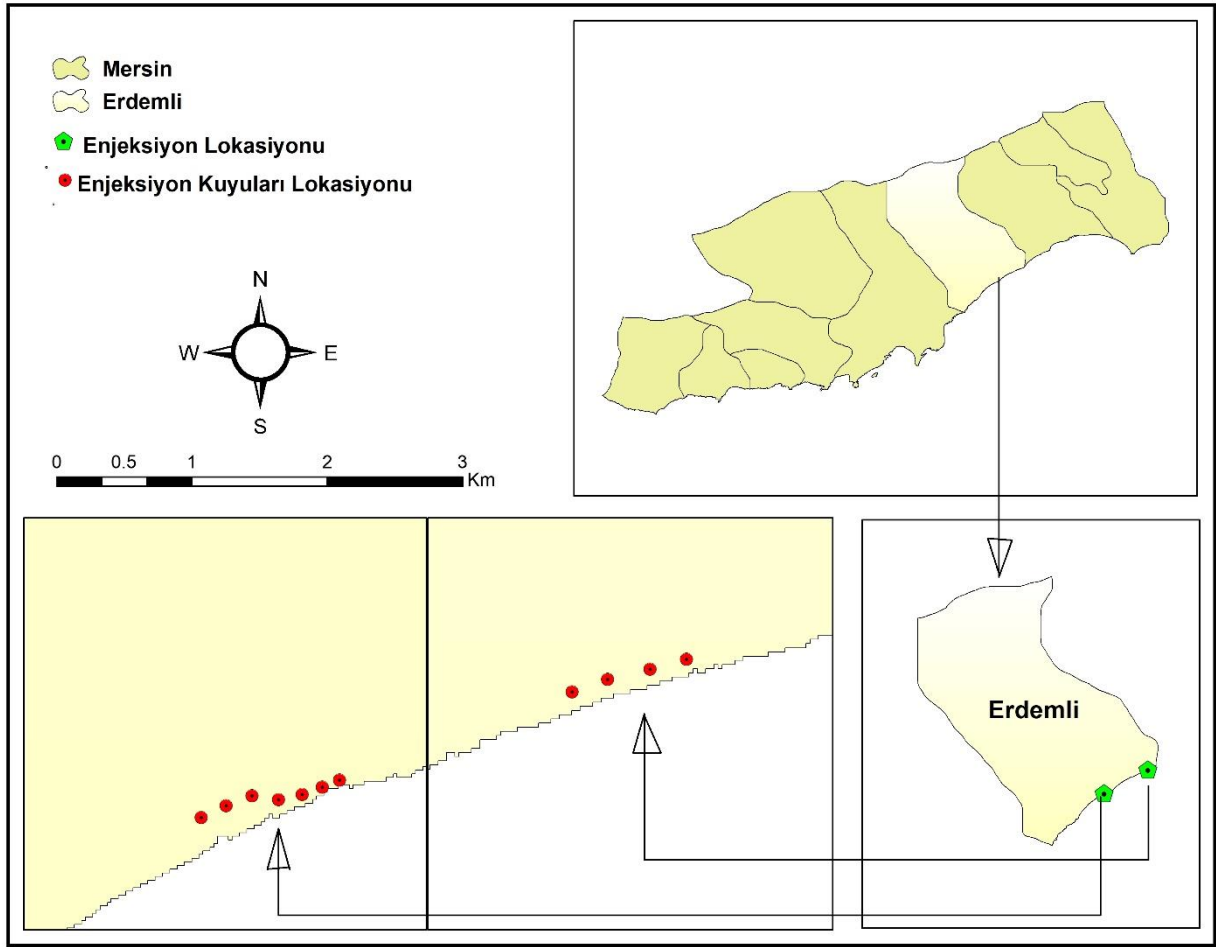
Anamur ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 30 m'dir. İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 3384 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 270000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 901667 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.43).

Çizelge 4.44: Mersin Anamur ilçesi maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	9
Asil kuyu (N)	8
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	3384
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	1235160
Kurulum maliyeti (\$)	270000
Günlük maliyet (\$)	2470
Yıllık maliyet (\$)	901667

Erdemli ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi amaçlı iki farklı noktada kıyaya paralel olarak 9 asil ve 2 yedek toplam 11 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun

görülmüştür (şekil 4.52). Enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi 13 m'dir.



Şekil 4.53: Mersin Erdemli İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

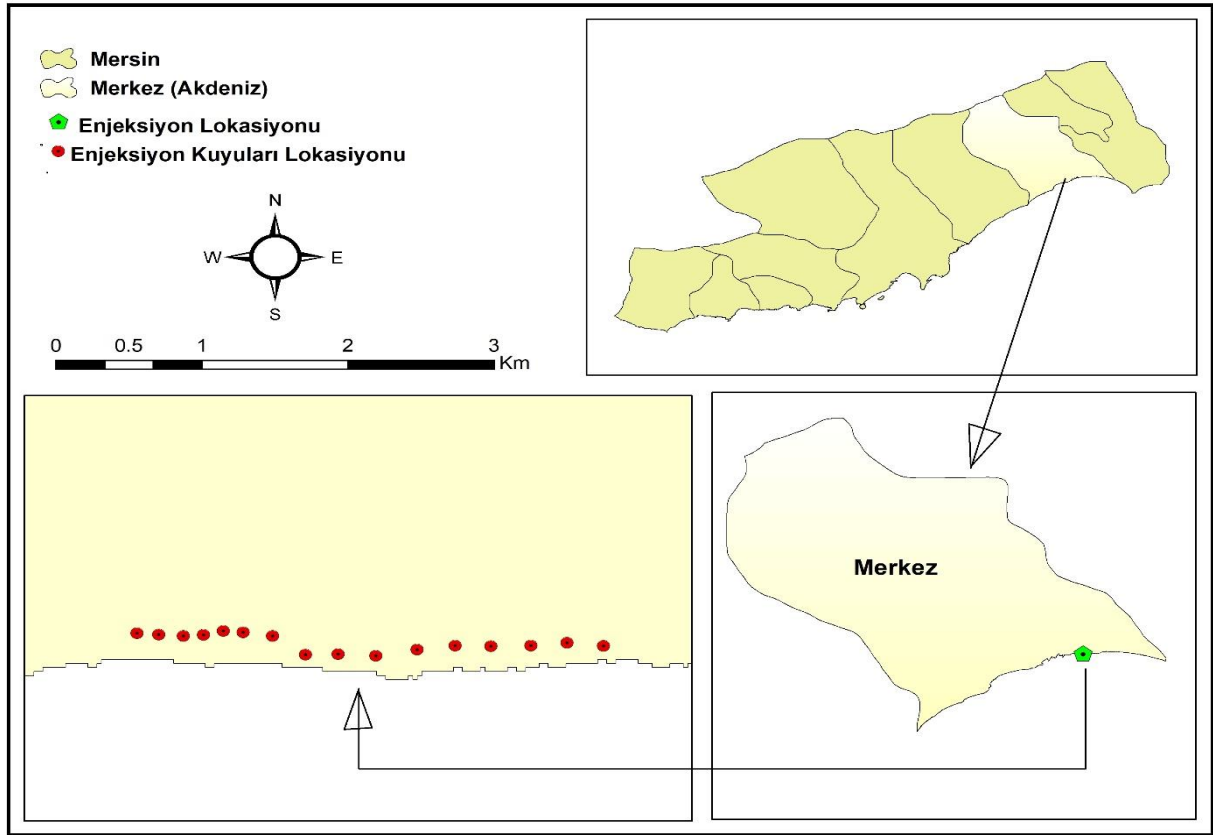
Bakırköy ilçesinde kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 3807 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 143000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1014375 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.44).

Çizelge 4.45: Mersin Erdemli İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	19
Asil kuyu (N)	17
Yedek kuyu (N)	2
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	3807
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	1389555
Kurulum maliyeti (\$)	143000
Günlük maliyet (\$)	2779
Yıllık maliyet (\$)	1074375

Mersin'in Merkez (Akdeniz) ilçesinde kıyaya paralel olarak 14 adet asil kuyu ve 2 adet yedek kuyu olmak üzere toplamda 16 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun

görülmüştür (şekil 4.53). Merkez ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 11 m'dir.



Şekil 4.54: Mersin Merkez (Akdeniz) İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 5922 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 176000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 676250 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.45).

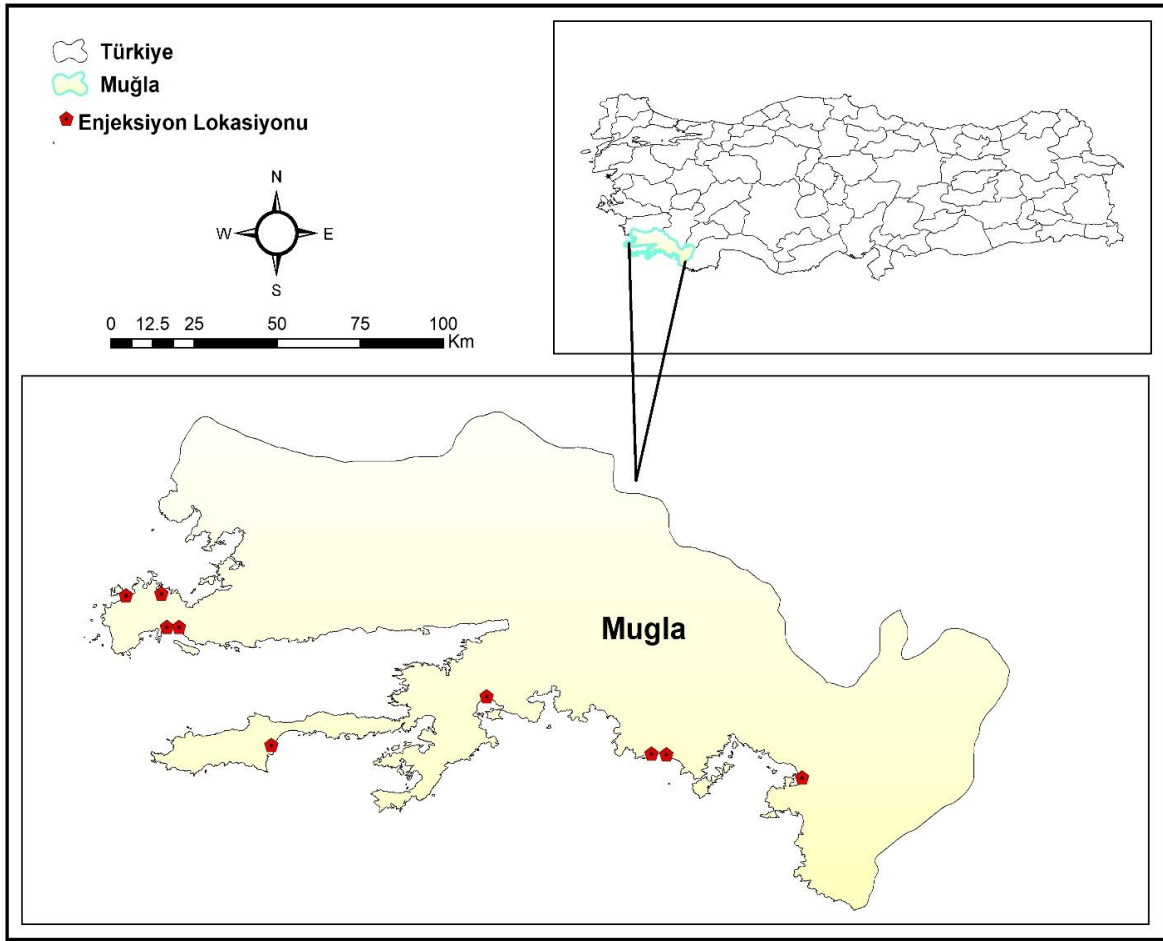
Çizelge 4.46: Mersin Merkez (Akdeniz) İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	7
Asil kuyu (N)	6
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	5922
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	2161530
Kurulum maliyeti (\$)	176000
Günlük maliyet (\$)	4323
Yıllık maliyet (\$)	1577917

4.1.12 Muğla

Muğla ilinde deniz suyu girişiminin kontrolü için belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre toplam 148286 m³/gün arıtılmış atıksu potansiyeli mevcuttur. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atık suyun yaklaşık %16'i, (23300 m³/gün) yeterli olup

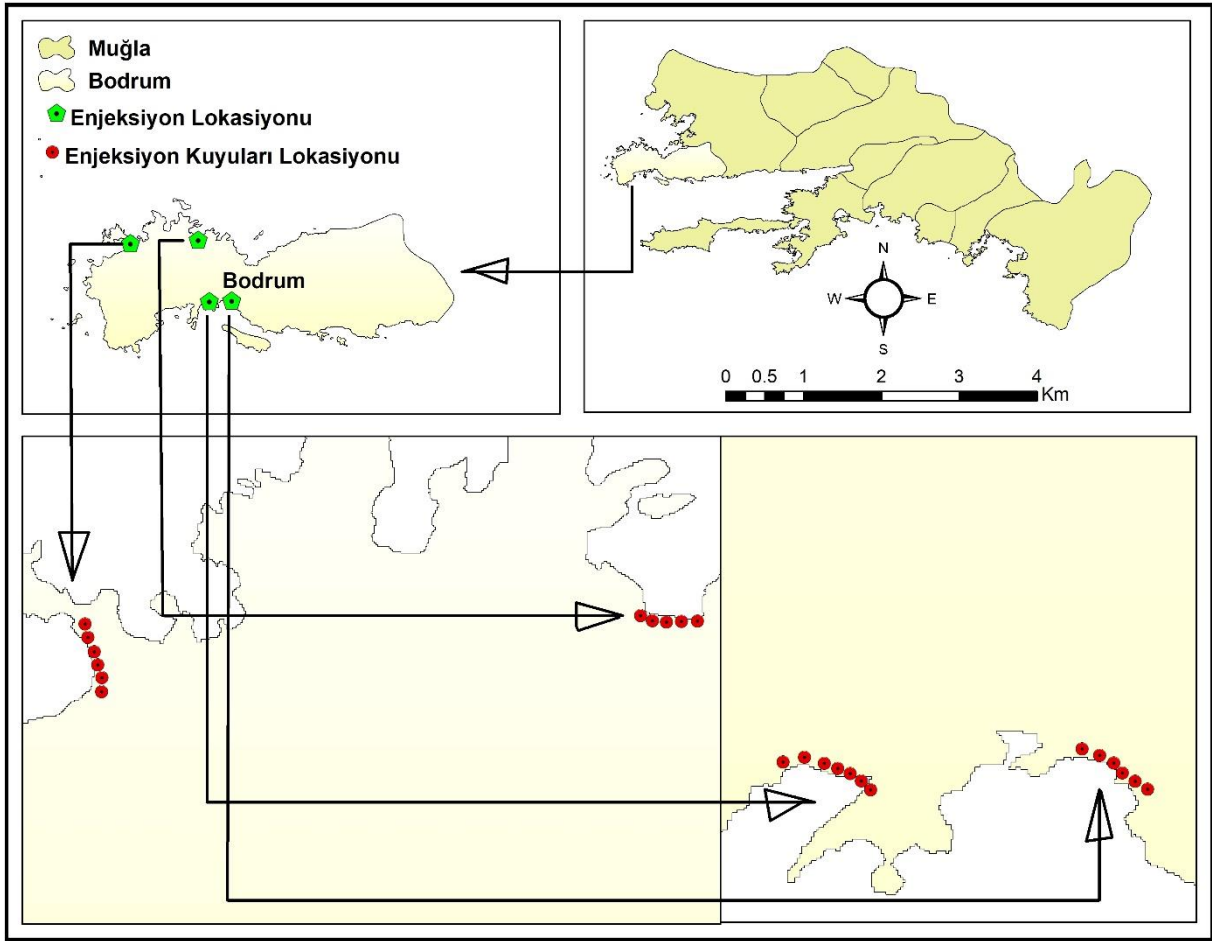
maliyet açısından da uygun görülmüştür. Muğla ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.55: Muğla ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

Muğla'da denize kıyısı olan 6 ilçede deniz suyu girişiminin önlenmesine karşı belirtilen 9 farklı noktalarda 55 adet asil kuyu ve 9 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 64 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (Şekil 4.54). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmışatıksuyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

Bodrum ilçesinde 4 farklı bölgede kıyaya paralel olarak 20 adet asil kuyu ve 4 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 24 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (Şekil 4.55).



Şekil 4.56: Muğla Bodrum ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

İlçede enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktalarda ortalama yeraltı su seviyesi 9 m'dir. İlçede deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi miktarı 8460 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 216000 \$ ve yıllık işletme maliyeti 2254167 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.46).

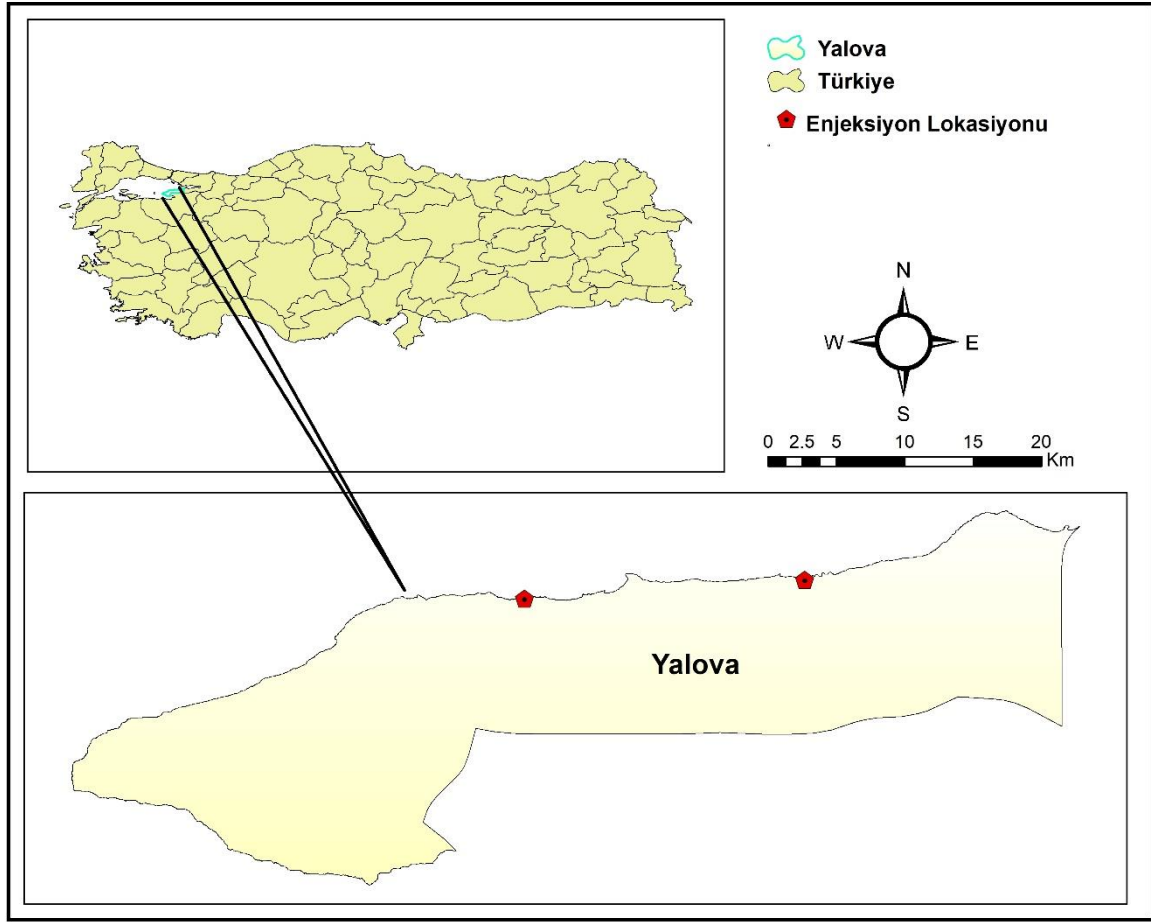
Çizelge 4.47: Muğla Bodrum ilçesi maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	24
Asil kuyu (N)	20
Yedek kuyu (N)	4
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	8460
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	3087900
Kurulum maliyeti (\$)	216000
Günlük maliyet (\$)	1675
Yıllık maliyet (\$)	2254167

4.1.13 Yalova

Yalova ilinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için artırılmış atık suyun potansiyeli 63000 m³/gün olarak belirtilmişti. Deniz suyu girişiminin önlenmesi için artırılmış atıksuyun

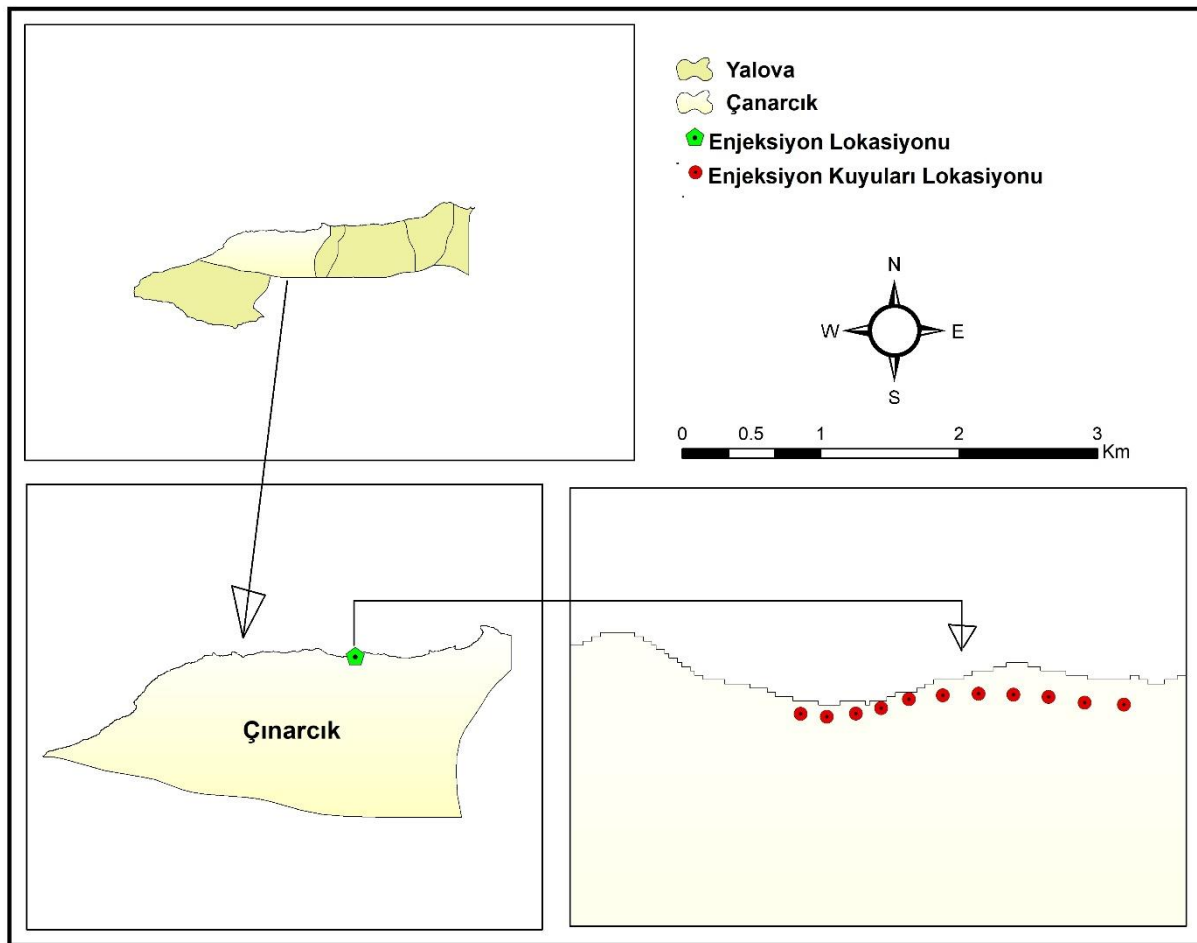
%15'i (9400 m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Yalova ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası Şekil 4.61'de gösterilmiştir.



Şekil 4.62: Yalova ili enjeksiyon kuyuları lokasyonu haritası

Yalova ilinde debi ve mesafe kriterlerine göre 2 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesisler Çınarcık ve Yalova Merkez ilçelerinde yer almaktadır. Kıyısı olan bu 2 ilçede 22 adet asil kuyu ve 2 adet yedek kuyu olmak üzere toplam 24 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.61). Her bir kuyu günlük 423 m³/gün arıtılmış atık suyu akifere enjekte edebilecek kadar kapasiteye sahiptir.

Çınarcık ilçesinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için kıyaya paralel olarak 10 adet asil 1 yedek kuyu toplamda 11 adet enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.61).



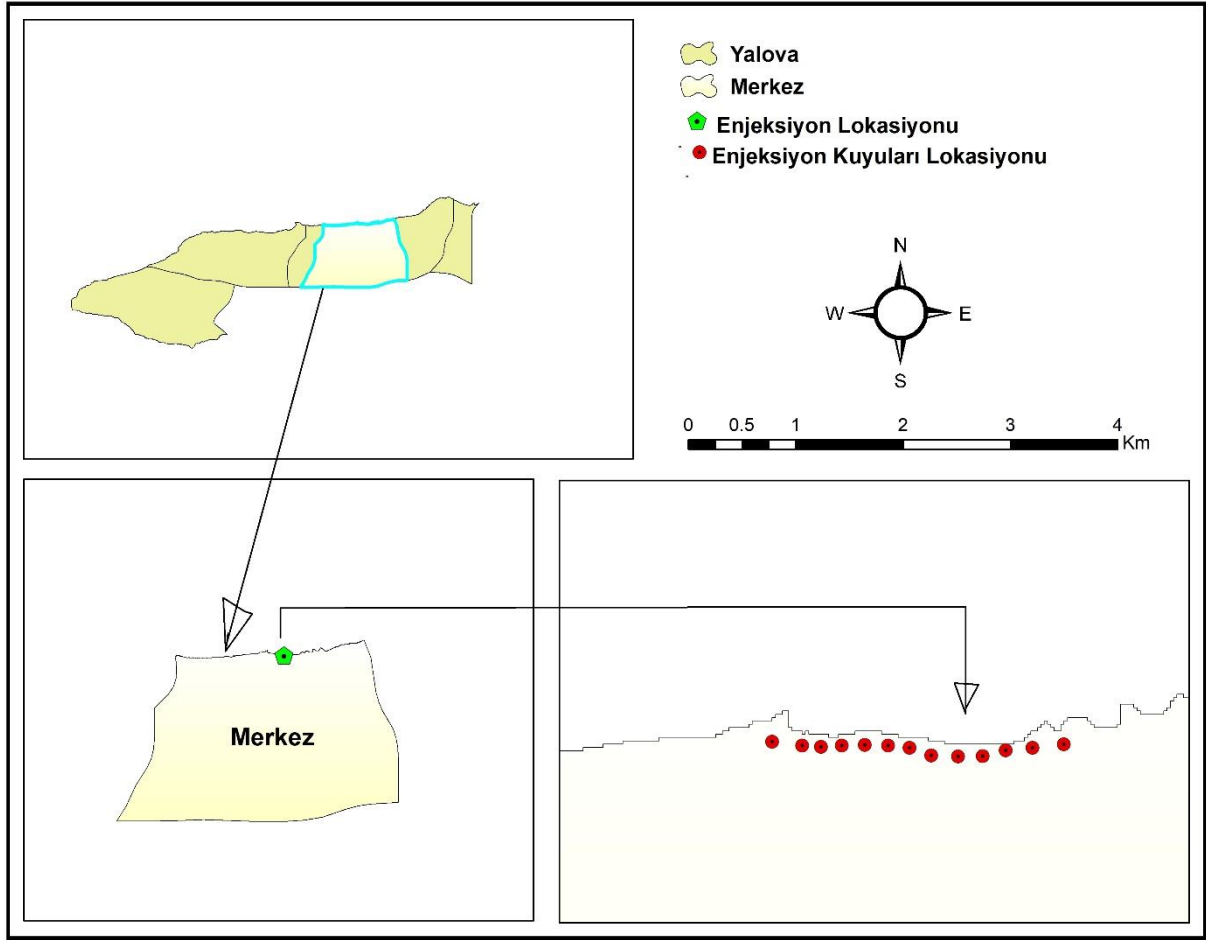
Şekil 4.63: Yalova Çınarcık ilçesi enjeksiyon kuyuları lokasyonu

Çınarcık ilçesinde enjeksiyon kuyuları için belirtildiği noktada ortalama yeraltı su seviyesi 5.5 m'dir. İlçedeki kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 4230 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 60500 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1127084 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.52).

Çizelge 4.53: Yalova Çınarcık maliyet analizi özet tablosu

Toplam kuyu (N)	11
Asil kuyu (N)	10
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	4230
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	1543950
Kurulum maliyeti (\$)	60500
Günlük maliyet (\$)	3088
Yıllık maliyet (\$)	1127084

Yalova Merkez ilçesinde deniz suyu girişiminin kontrolü için kıyaya paralel olarak 12 asil 1 yedek toplam 13 enjeksiyon kuyusunun kurulumu uygun görülmüştür (şekil 4.62). Enjeksiyon kuyuları için belirtilen noktada ortalama yeraltı su seviyesi 5.5 m'dir.



Şekil 4.64: Yalova Merkez İlçesi Enjeksiyon Kuyuları Lokasyonu

Yalova Merkez ilçesinde kıyı akifere günlük enjekte edilecek debi 5076 m³/gün olarak tayin edilmiştir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 71500 \$ ve yıllık işletme maliyeti 1352500 \$ çıkmıştır (Çizelge 4.53).

Çizelge 4.54: Yalova Merkez İlçesi Maliyet analizi Özet Tablosu

Toplam kuyu (N)	13
Asil kuyu (N)	12
Yedek kuyu (N)	1
Günlük kullanılacak maksimum debi miktarı (m ³ /gün)	5076
Yıllık kullanılacak debi miktarı (m ³ /gün)	1852740
Kurulum maliyeti (\$)	71500
Günlük maliyet (\$)	3705
Yıllık maliyet (\$)	1352500

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Artan nüfusu ve paralel olarak artan su kullanım alanları ile Türkiye, su fakiri bir ülke olma yolunda ilerliyor. Türkiye’de önümüzdeki yıllarda su kıtlığı sorunu yaşanacağından su kaynaklarının sürdürülebilir ve akılcı biçimde kullanılması ve kirlenmeye karşı acilen önlem alınması gerekmektedir.

Son zamanlarda nüfus artışı ve sanayideki gelişmeler sonucunda ülkenin tatlı su kaynakları hızla tükenmektedir. Kısıtlı su kaynaklarının korunması için sürdürülebilir su kaynakları yönetimi uygulamalarına geçilmelidir. Var olan tatlı su kaynakları bir yandan hızla tükenirken bir yandan değişik etkenler sonucunda kirlenmektedir. Su kaynaklarının kirlenmesini önlemek için uygun yöntemlerin araştırılması, su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesi bakımından önemlidir.

Türkiye’nin 3 tarafı denizlerle çevrilidir. Toplam 81 ilden 28 ilin denize kıyısı olup, denize kıyısı olan iller ülke nüfusunun %54,87’sini oluşturmaktadır. Türkiye adalar dahil 8333 km’lik bir kıyı şeridinde sahiptir. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) raporuna göre Türkiye’nin denize kıyısı olan şehirlerde özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinde yeraltı su kaynaklarının bilinçsiz şekilde aşırı çekilmesi tuzlu deniz suyunun yeraltı su akiferlerine girmesine sebep olmuştur.

Bu nedenle kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini kontrol etmek, hem ekonomik hem de çevresel etkileri en aza indirmek için uygun metotlar uygulanmalıdır

Yakın zamana kadar Türkiye’nin kıyı şehirlerindeki yeraltı su kalitesinin bozulmasına neden olan sebeplerden birisi de deniz suyu girişimidir. Bu çalışmada, Türkiye’nin kıyı şehirlerinde deniz suyu girişimini engellemek için tesis edilebilecek enjeksiyon kuyularında arıtılmış atıksuların kullanım potansiyeli araştırılıp, maliyet uygunluk açısından da değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle çalışma alanı olarak Marmara, Ege ve Akdeniz bölgesinde yer alan toplam 13 il (Antalya, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, Hatay, İstanbul, Kocaeli, İzmir, Mersin, Muğla ve Yalova) belirlenmiştir. Daha sonra her bir ilin ayrı ayrı arıtılmış atıksu potansiyeli belirtilip kalite açısından değerlendirilmiştir ve en son deniz suyu girişiminin önlenmesinde belirtilen noktalarda kurulması uygun görülen enjeksiyon kuyularının maliyet analizi yapılmıştır.

Deniz suyu girişiminin kontrolünde arıtılmış atıksu potansiyelini belirlemek için, proje debisi 5000 m³/gün ’den büyük ve kıyıya ortalama mesafesi 0 – 5 km olan AAT’ler seçilmiştir. Belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre çalışma alanında bulunan 13 ilde toplam 84 adet AAT bulunmaktadır. Araştırma sonucunda deniz suyu girişiminin önlenmesi

için tesislerden çıkan arıtılmış atıksuyun toplam potansiyeli 4737527 m³/gün olarak bulunmuştur.

Tesislerden çıkan sular kalite olarak üç gruba ayrılmıştır. Bunlar, ileri arıtma prosesinden geçen sular, biyolojik arıtma prosesinden geçen sular ve fiziksel arıtma prosesinden geçen sulardır. Böylelikle, arıtılmış atıksuların %36'sı 1718999 (m³/gün) ileri biyolojik arıtmadan, %16'sı 765690 (m³/gün) biyolojik arıtmadan ve %47'si 2241197 (m³/gün) fiziksel arıtma prosesinden geçmektedir.

Enjeksiyon kuyuları metodunda kıyı akiferlere enjekte edilecek suyun kalitesi akiferin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. ABD ve AB ülkeler başta olmak üzere çoğu ülke, kıyı bölgelerde yeraltı su kaynaklarının korunması için kıyı akiferlere enjekte edilecek arıtılmış atıksuyun kalitesi ile ilgili yönetmenlik çıkartmışlar. Türkiye'de yeraltı sularının korunması ile ilgili yönetmelikte arıtılmış atıksuların yeraltı su akiferlerine enjekte edilmesi yasaktır. Genellikle yeraltı su akiferlerine enjekte edilecek atıksuyun ileri biyolojik arıtma prosesinden sonra ilave arıtım olarak Ultrafiltrasyon (UF), Ters Ozmos (RO) ve UV dezenfeksiyon işlemlerinden geçirilmelidir.

Çalışma alanında deniz suyu girişiminin önlenmesi için arıtılmış atık suların %5.55'i 262683 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür. Böylelikle çalışma alanında deniz suyu girişimine maruz kalan kıyı bölgelerde 84 noktada kıyıya paralel olarak 621 adet asil kuyu ve 93 adet yedek kuyu olmak üzere toplamda 714 adet enjeksiyon kuyularının kurulumu uygun görülmüştür. Son olarak enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 6428580 \$, günlük işletme maliyeti 197759 \$ ve yıllık işletme maliyeti 69991885 \$ olarak çıkmıştır.

Akdeniz bölgesinde yer alan toplam 3 ilde (Antalya, Mersin ve Hatay) belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre arıtılmış atıksuyun potansiyeli 743206 m³/gün çıkmıştır. Deniz suyu girişiminin kontrolü için enjeksiyon kuyuları metodunda arıtılmış atıksuyun yaklaşık %10'u 72756 (m³/gün) yeterli görülmüştür. Böylelikle, Akdeniz bölgesinde 172 adet asil kuyu ve 33 adet yedek kuyu olmak üzere toplamda 205 adet enjeksiyon kuyularının kurulumu uygun görülmüştür. Akdeniz bölgesindeki enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 2122500 \$, günlük işletme maliyeti 53112 \$ ve yıllık işletme maliyeti ise 19385836 \$ olarak çıkmıştır.

Ege bölgesinde denize kıyısı olan İzmir, Muğla ve Aydın illerinde deniz suyu girişiminin önlenmesi için belirtilen debi ve mesafe kriterlerine göre arıtılmış atıksuyun potansiyeli 263679 m³/gün çıkmıştır. Bu suyun %19'u 45684 (m³/gün) deniz suyu girişimine maruz kalan akiferler için yeterli olup maliyet açısından da uygun görülmüştür.

Bölgede 108 asil ve 20 yedek kuyu olmak üzere toplamda 128 adet enjeksiyon kuyularının kurulumu uygun görülmüştür. Kuyuların kurulum maliyeti 1631180 \$, günlük işletme maliyeti 33349 \$ ve 12175502 \$ çıkmıştır.

Mermer bölgesinde denize kıyısı olan illerden 7 tanesi (Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kocaeli ve Yalova) çalışma alanında yer almaktadır. Bu bölgede arıtılmış atıksuyun potansiyeli 3730349 m³/gün olarak çıkmıştır. Bölgede deniz suyu girişimine maruz kalan akiferler için arıtılmış atık suyun yaklaşık %4'ü 144243 (m³/gün) yeterli olup maliyet açısından uygun görülmüştür. Bu bölgede 33 noktada kıyıya paralel olarak 341 adet asil kuyu ve 40 adet yedek kuyu olmak üzere toplamda 381 adet enjeksiyon kuyularının kurulması gerekmektedir. Enjeksiyon kuyularının kurulum maliyeti 2674900 \$, günlük işletme maliyeti 105297 \$ ve 38433547 \$ çıkmıştır.

Son zamanlarda Türkiye'nin kıyı bölgeleri boyunca nüfusun sürekli artmasıyla bu bölgelerin yeraltı su kaynakları üzerindeki talepleri gün gittikçe artmaktadır. Bu taleplerin gelecek yıllarda daha da artması beklenmektedir. Kıyı bölgelerde kıyı akiferleri yönetimi çalışmaları yapılmadığı takdirde ve bu bölgelerde yeraltı sularının aşırı çekimi deniz suyu girişimine sebep olmuştur. Dolayısıyla kıyı bölgelerinde, enjeksiyon kuyuları metoduyla arıtılmış atıksuları kullanarak hidrolik bir bariyerin oluşturulması hem bu suların çevreden uzaklaştırması hem de deniz suyu girişiminin önlemesi için efektif bir yöntemdir.

5.2 Öneriler

- Kıyı bölgelerde, mevcut yeraltı suyu kaynaklarının korunması için teknik önlemlerin yanında yasal önlemlerin de eklemesi gerekmektedir. Böylelikle, kıyı bölgelerde aşırı su çekimlerini durdurmak veya sınırlamak suretiyle yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilirliği korunabilir.
- Kıyı bölgelerde, sulama için yeraltı su kullanımı yerine arıtılmış atıksuların kullanılması önerilir.
- Kuyuların başka yerlere yerleştirilmesi bölgedeki pompaj yoğunluğunu azaltmaktadır. Kuyuların daha yüksek veya daha az etkilenen yerlerde açılması ile yeraltında bulunan tatlı-tuzlu su arasındaki hassas denge korunabilir.
- Artan tuzluluğa maruz kalan bir kuyunun olduğu bölgede veya aşırı çekimleri nedeniyle meydana gelen koni oluşu için uygulanan değiştirilmiş pompaj

debileri (daha düşük debi veya açıp kapama düzeni) bazen problemi azaltabilir.

- Kıyı bölgelerde, yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için su kullanıcıları düzenli olarak eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
- İklim değişikliği ve artan sıcaklığa bağlı kıyı bölgelerde deniz suyu seviyesinin yükselmesi kıyı akiferlerinde tatlı su ile tuzlu su arasında bulunan doğal ve hassas dengenin bozulmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla, muhtemel iklim değişikliği senaryolarını dikkate alarak yeraltı suyu kullanım stratejileri geliştirilmelidir.



KAYNAKLAR

- Abarca, E., Carrera, J., Voss, C. I. ve Sánchez-Vila, X., 2002, Effect of aquifer bottom morphology on seawater intrusion, In *17th Salt Water Intrusion Meeting (SWIM), Delft*.
- Abdoulhalik, A., Ahmed, A. ve Hamill, G. A., 2017, A new physical barrier system for seawater intrusion control, *Journal of Hydrology*, 549, 416-427.
- Aharmouch, A. ve Larabi, A., 2001, Numerical modeling of saltwater interface upconing in coastal aquifers, In *Proc. First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling, and Management (SWICA-M3)*, Essaouira, Morocco.
- Alf, G., Angela, H., Martin, L., Berthold, R. ve Andre, S., 2002, Numerical and hydrochemical modelling of saltwater intrusion into a pleistocene aquifer-case study Grobbeuthen, Brandenburg, *Proceeding of the 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, the Netherlands*.
- Allen, D. M., Matsuo, G., Suchy, M. ve Abbey, D. G., 2001, A multidisciplinary approach to studying the nature and occurrence of saline groundwater in the Gulf Islands, British Columbia, Canada, In *Proceedings of the First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling, and Management, Essaouira, Morocco*.
- Allow, K. A., 2012, The use of injection wells and a subsurface barrier in the prevention of seawater intrusion: a modelling approach, *Arabian Journal of Geosciences*, 5(5), 1151-1161.
- Amaziane, B., Cheng, A. H.-D., Naji, A. ve Ouazar, D., 2004, Stochastic optimal pumping under no-intrusion constraints in coastal aquifers, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting, Cartagena, Spain*.
- Anonymous, 2006, Earth's water distribution, *Water Science for Schools* [Online], <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html> [Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2018].
- Arsalan, H.ve Demir, Y., 2011, Bafra ovasında deniz suyu girişiminin yeraltı su kalitesi üzerine etkisi, *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 26 (2), 136-144.
- Asano T, Bahri A., 2010, Global challenges to wastewater reclamation and reuse Selections, *2010 World Water Week in Stockholm*: Edited by Jan Lundqvist: 64-72
- Ateş, İ., 2008, Küresel Isınmanın Sebep Olacağı Siyasal ve Ekonomik Gelişmeler ve Muhtemel Türkiye Yansımaları, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Bakkar, M., Schaars, F. ve Borden, D., 2004, Modelling coastal aquifers with the sea water intrusion (SWI) package for the MODFLOW, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting, Cartagena, Spain*.
- Barreto, J., Nuno, M. A. ve Haie, N., 2001, Modelling of rural usage of groundwater subject to saltwater intrusion, In *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management, Morocco*.
- Barrocu, G., Cau, P., Muscas, L., Soddu, S. ve Uras, G., 2005, Predicting groundwater salinity changes in the coastal aquifer of Arborea (central-western Sardinia), *Groundwater and saline intrusion*, (15), 243.
- Bear, J., 1979, *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, New York, 463.
- Bear, J., Cheng, A. H. D., Sorek, S., Ouazar, D. ve Herrera, I. (Eds.), 1999, *Seawater intrusion in coastal aquifers: concepts, methods and practices, Springer Science & Business Media*, 14.

- Bear, J., Zhou, Q. ve Bensabat, J., 2001, Three dimensional simulation of seawater intrusion in heterogeneous aquifers, with application to the coastal aquifer of Israel, In *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers: Monitoring, Modeling, and Management*, Maroc, Essaouira, Morocco, 13.
- Benson, D. A., Carey, A. E. ve Wheatcraft, S. W., 1998, Numerical advective flux in highly variable velocity fields exemplified by saltwater intrusion, *Journal of contaminant hydrology*, 34(3), 207-233.
- Bhattacharjya, R. K. ve Datta, B., 2004, An ANN-GA approach for solving saltwater intrusion management problem in coastal aquifers, *proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Bixio, A., Putti, M., Carbognin, L. ve Gambolati, G., 1998, Finite element modeling of seawater in the Venice aquifer system, *Transactions on Ecology and the Environment*, 17, 1743-3541.
- Bocanegra, E. M. ve Massone, H. E., 2004, Exploitation of coastal aquifers in Latin America and the Caribbean, Problems and solutions, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Botero-Acosta, A. ve Donado, L. D., 2015, Laboratory scale simulation of hydraulic barriers to seawater intrusion in confined coastal aquifers considering the effects of stratification, *Procedia Environmental Sciences*, 25, 36-43.
- Bower, J. W., Motz, L. H. ve Durden, D. W., 1999, Analytical solution for determining the critical condition of saltwater upconing in a leaky artesian aquifer, *Journal of Hydrology*, 221(1-2), 43-54.
- Brunke, H. P. ve Schelkes, K., 2001, A sharp-interface-based approach to salt water intrusion problems: model development and applications, In *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers: Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco.
- Canot, É., de Dieuleveult, C. ve Erhel, J., 2005, A Parallel Software for a Saltwater Intrusion Problem, In *PARCO*, 399-406.
- Cau, P., Lecca, G., Muscas, L., Barrocu, G. ve Uras, G., 2002, Saltwater intrusion in the plain of Oristano (Sardinia), In *17th Salt Water Intrusion Meeting*, 435-444.
- Chen, J. J., Zhou, Y., Su, Z. Y., Lin, G. R., Fu, F., Miller, P., & McCarty, D., 2003, Tertiary treatment of wastewater for reuse in China. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2003(11), 540-556.
- Cheng, J. R., Strobl, R. O., Yeh, G. T., Lin, H. C. ve Choi, W. H., 1998, Modeling of 2D density-dependent flow and transport in the subsurface, *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(4), 248-257.
- Christensen, F. D., Engesgaard, P. ve Kipp, K. L., 2001, A reactive transport investigation of seawater intrusion experiment in a shallow aquifer, Skansehage, Denmark, In *Proceedings of the first international conference on saltwater intrusion and coastal aquifers*, Essaouira, Morocco.
- Collins, M. A. ve Gelhar, L. W., 1971, Seawater intrusion in layered aquifers, *Water Resources Research*, 7(4), 971-979.
- Cooper Jr, H. H., 1959, A hypothesis concerning the dynamic balance of fresh water and salt water in a coastal aquifer, *Journal of Geophysical Research*, 64(4), 461-467.
- Çobaner, M., 2009, Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin üç boyutlu simülasyonu: Göksu deltası örneği, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 66-107.
- Dagan, G. ve Bear, J., 1968, Solving the Problem of Local Interface Upconing in a Coastal Aquifer by the Method of Small Perturbations, *Journal of Hydraulic Research*, 6 (1): 15 –44.

- Değirmenci, M. ve Altın, A., 2000, Mersin-Erdemli arası sahil bölgesinde yer altı sularında tuzlanama sorunun incelenmesi, *1. Çevre ve Jeoloji Sempozyumu*, İzmir, 173-183.
- Demirel, Z., 2004, The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey, *Journal of Environmental Management*, 70(3), 275-282.
- Doulgeris, C. ve Zissis, T., 2005, Simulation of seawater intrusion in threedimensional confined aquifers, *Geophysics Research*, 7, 02780.
- Dupuit, J., 1863, (Fransızca), *Estudes Théoriques et Pratiques sur le mouvement des Eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables* (Second Edition ed.), Paris, Dunod.
- Edet, A. ve Okereke, C., 2001, A regional study of saltwater intrusion in southeastern Nigeria based on the analysis of geoelectrical and hydrochemical data, *Environmental Geology*, 40(10), 1278-1289.
- EEA, 2019, *Salt water intrusion due to groundwater over exploitation* [Online], <http://www.eea.europa.eu/> [Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2019].
- Ekmekçi, M., Tezcan, L., Kurttaş, T., Yüzereroğlu, S. ve Açikel, Ş., 2008, Gökova (Muğla) Kıyı Karst Kaynaklarında Deniz Suyu Karışımının Hidrojeokimyasal ve Duraylı Çevresel İzotop Yöntemleriyle İncelenmesi, *III. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu*, 294-305.
- Ekwurzel, B., Moran, J. E., Hudson, G. B., Bissani, M., Blake, R., Krimissa, M. ve Bouchaou, L., 2001, An isotopic investigation of salinity and water sources in the Souss–Massa Basin, Morocco, In *The first international conference on salt water intrusion and coastal aquifers*, Essaouira, Morocco.
- El-Alphy, K. S., Al-Ghandour, H. A., Abd-Elmaboud, M. E., 2018, Controlling of Saltwater Intrusion Using Injection wells (Case Study: Quaternary Aquifer of Delta Wadi El-Arish, Sinai), Mansoura University, July.
- El Fleet, M. ve Baird, J., 2001, The development and application of groundwater models to simulate the behaviour of groundwater resources in the Tripoli Aquifer, Libya, In *Monitoring, Modeling and Management, First International Conference on Saltwater, Intrusion and Coastal Aquifers*, Essaaiira, Morocco, April 23-25.
- El Moujabber, M., Samra, B. B., Darwish, T. ve Atallah, T., 2006, Comparison of different indicators for groundwater contamination by seawater intrusion on the Lebanese coast, *Water resources management*, 20(2), 161-180.
- Essink, G. H. O., 2001, Improving fresh groundwater supply—problems and solutions, *Ocean & Coastal Management*, 44(5), 429-449.
- Essink, H. P. ve Schaars, F., 2002, Impact of climate changes on the groundwater system of the water board of the Rijnland, the Netherlands, *Proceeding of the 17th Salt Water Intrusion Meeting*, Delft, the Netherlands.
- Figueroa, O.F., 2003, Groundwater Flow of a Coastal Aquifer, Malibu, California, Master thesis of Science in Geology, *California State University*, U.S.A.
- Fitterman, D. V. ve Deszcz-Pan, M., 2001, Saltwater intrusion in Everglades National Park, Florida measured by airborne electromagnetic surveys, In *First International conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring, Modeling and Management*, 23-25.
- Gaye, C. B., 2001, Isotope technique for monitoring groundwater salinization, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion in coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Geymen, A. ve Dirican, A. Y., 2016, İklim Değişikliğine Bağlı Deniz Seviyesi Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Analiz Edilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 65-74.

- Ghafouri, H. R. ve Parsa, J., 1970, Finite element modeling of seawater intrusion into well-mixed estuaries, *WIT Transactions on The Built Environment*, 70.
- Ghyben, W., 1888, Nota in Verband Met de Voorgenomen Putboring Nabij Amsterdam, *Tijdschrft Het Koninklijk Instituut Voor Ingenieurs*, The Hague, 8–22.
- Gingerich, S. B. ve Voss, C. I., 2005, Three-dimensional variable-density flow simulation of a coastal aquifer in southern Oahu, Hawaii, USA, *Hydrogeology Journal*, 13(2), 436–450.
- Gordu, F., Motz, L. H. ve Yurtal, R., 2001, Simulation of Seawater Intrusion in the Goksu Delta at Silifke, Turkey, In *Proceedings of the First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco, 23–25.
- Gotovac, H., Andričević, R. ve Vranješ, M., 2001, Effects of aquifer heterogeneity on the intrusion of sea water, In *International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers: Monitoring, Modelling and Management:(SWICA-M3)*.
- Gültekin, O. Ş., 2015, yeraltı su miktarındaki değişimin yeraltı suyu kalitesine etkileri ve çözüm önerileri, Uzmanlık tezi, *Orman Ve Su İşleri Bakanlığı*, Ankara, 3–5.
- Hamza, K. I., 2004, Numerical analysis of saltwater upconing below a pumping well, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Hatice, K. ve Ulvi, Ü., 2002, Ovacık ovasında (Silifke İçel) düşey elektrik sondaj yöntemiyle tatlı su ve olası tuzlu su girişiminin incelenmesi, *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, 281–295.
- Hele-Shaw, H.S., 1898, Investigation of the Nature of Surface Resistance of Water and of Stream-line Motion under Certain Experimental Conditions, *Transactions of the Institute of Naval Architects*, 40, 21–46.
- Henry, H. R., 1959, Salt intrusion into fresh-water aquifers, *Journal of Geophysical Research*, 64(11), 1911–1919.
- Henry, H. R., 1964, Effects of dispersion on salt encroachment in coastal aquifers, in *Seawater in Coastal Aquifers*, US Geological Survey, Water Supply Paper, 1613, C70–C80.
- Herzberg, A., 1901, Die Wasserversorgung Einiger Nordseebäder, *Jour. Für Gaseleuchtung und Wasserversorgung*, München, 44, 815–819; 45, 842–844.
- Hubbert, M. K., 1940, The theory of ground-water motion, *The Journal of Geology*, 48(8), 785–944.
- Huyakorn, P. S., Andersen, P. F., Mercer, J. W. ve White, H. O., 1987, Saltwater intrusion in aquifers: Development and testing of a three-dimensional finite element model, *Water Resources Research*, 23(2), 293–312.
- HYDROCOAST, 1995, Workshop on Water-related Problems in Low-lying Coastal Areas, Bangkok, Thailand, 13–17.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996, Climate change 1995: the science of climate change, Contribution of working group I to the second assessment report of the IPCC, *Cambridge University Press*, New York.
- Isikh, Y. ve Karahanoglu, N., 2004, Coastal aquifer, Kocaeli- Darica Turkey, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Izuka, S. K. ve Gingerich, S. B., 1998, Estimation of the depth to the fresh-water/salt-water interface from vertical head gradients in wells in coastal and island aquifers, *Hydrogeology journal*, 6(3), 365–373.
- Jahnson, T., 2007, Battling seawatr intrusion in the central & west coast basin, *WRD Technical Bullentin*, 13, USA.
- Javadi, A. A., Abd-Elhamid, H. F., & Farmani, R., 2012, A simulation-optimization model to control seawater intrusion in coastal aquifers using abstraction/recharge

- wells, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 36(16), 1757-1779.
- Javadi, A., Hussain, M., Sherif, M., & Farmani, R., 2015, Multi-objective optimization of different management scenarios to control seawater intrusion in coastal aquifers, *Water Resources Management*, 29(6), 1843-1857.
- Jung, B., Kim, J. ve Chang, H., 2002, Finite element modelling of density-dependent groundwater flow and solute transport in the unsaturated layered coastal aquifer system, In *Proceedings of the 17th Salt Water Intrusion Meeting*, Delft, The Netherlands.
- Kaman, H., Sönmez, N. K., Çetin, M., Kurunç, A., Aslan, G. E. ve UZ, B. Y., 2011, Denizle irtibatlı akarsularda deniz suyu girişiminin irdelenmesi: Antalya Acısu Deresi örneği, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4 (2), 43-47.
- Karaca, M. ve Nicholls, R. J., 2008, Potential implications of accelerated sea-level rise for Turkey, *Journal of Coastal Research*, 288-298.
- Kilit, M., 2011, Ada akiferinde tuzlu su girişiminin 3 boyutlu modellenmesi, 7. *Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Trabzon, 329-338.
- Koch, M. ve Starke, B., 2001, Experimental and numerical investigation of macrodispersion of density-dependent flow and transport in stochastically heterogeneous media, In *Proceedings of The first International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers*, 23-25.
- Kohout, F. A., 1960, Cyclic flow of salt water in the Biscayne aquifer of southeastern Florida, *Journal of Geophysical Research*, 65(7), 2133-2141.
- Lakfifi, L., Larabi, A., Bzioui, M., Benbiba, M. ve Lahmouri, A., 2004, Regional model for seawater intrusion in the chaouia coastal aquifer (Morocco), In *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Lazar, A., Gvirtzman, H. ve Yechieli, Y., 2004, Freshwater-salinewater interface fluctuation in coastal aquifer due to sea tide, In *18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Lecca, G., Berjamy, B., Paniconi, C. ve El Hebil, A., 2001, Numerical modeling of seawater intrusion in the Sahel region of the Atlantic coast of Morocco, In *Proceedings of the First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers—Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco, 23-25.
- Lecca, G., Cau, P. ve Ardau, F., 2004, Modelling study of the seawater intrusion in the muravera coastal plain (SE Sardinia, Italy), in *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Lee, C. H. ve Cheng, R. T. S., 1974, On seawater encroachment in coastal aquifers, *Water Resources Research*, 10(5), 1039-1043.
- Lee, S., 2004, Investigation of seawater intrusion in coastal plain and Karst Hinterland aquifer of Cape Range, Northwestern Australia, In *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Levi, E., Goldman, M., Shalem, Y., Weinstein, Y., Yechieli, Y. ve Herut, B., 2010, Combined ERT-TDEM measurements for delineating saline water intrusions from an estuarine river into the adjacent aquifer, *Proceeding of 21st SWIM*, Azores, Portugal, 21-25.
- Liu, F., Turner, I. ve Anh, V., 2001, A finite volume unstructured mesh method for Modelling saltwater intrusion into aquifer systems, In *First international conference on saltwater intrusion and coastal aquifers Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco, 23-25.

- Ma, T. S., Sophocleous, M., Yu, Y. S. ve Buddemeier, R. W., 1997, Modeling saltwater upconing in a freshwater aquifer in south-central Kansas, *Journal of hydrology*, 201(1-4), 120-137.
- Mahesha, A., 1996, Control of seawater intrusion through injection-extraction well system, *Journal of irrigation and drainage engineering*, 122(5), 314-317.
- Maimone, M., 2001, Computer Modeling and Surface Geophysics Unravel the Mystery of Salt Water Intrusion on Long Island, In *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco, 23-25.
- Marin, L. E., Perry, E.C., Essaid, H. I. ve Steinich, B., 2001, Hydrogeological investigations and numerical simulation of groundwater flow in karstic aquifer of northwestern Yucatan, Mexico, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Melloul, A. J. ve Goldenberg, L. C., 1997, Monitoring of seawater intrusion in coastal aquifers: basics and local concerns, *Journal of Environmental Management*, 51(1), 73-86.
- Moe, H., Hossain, R., Fitzgerald, R., Banna, M., Mushtaha, A. ve Yaqubi, A., 2001, Application of a 3-dimensional coupled flow and transport model in the Gaza Strip, In *Proceedings of the First International Conference and Workshop on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers: Monitoring, Modeling, and Management (SWICA-M3)*, 18-25
- Mohsen, M. S., Singh, V. P. ve Amer, A. M., 1990, A note on saltwater intrusion in coastal aquifers, *Water Resources Management*, 4(2), 123-134.
- Monitoring, Modeling, and Management. Essaouira, Morocco, April 23–25, 2001
- Motz, L. H., 2005, Representing the saltwater-freshwater interface in regional groundwater flow models, *Groundwater and saline intrusion*, (15), 33.
- Mukhopadhyay, A., Al-Awadi, E., Oskui, R., Hadi, K., Al-Ruwaih, F., Turner, M. ve Akber, A., 2004, Laboratory investigations of compatibility of the Kuwait Group aquifer, Kuwait, with possible injection waters, *Journal of hydrology*, 285(1-4), 158-176.
- Mulrennan, M. E. ve Woodroffe, C. D., 1998, Saltwater intrusion into the coastal plains of the Lower Mary River, Northern Territory, Australia, *Journal of Environmental Management*, 54(3), 169-188.
- Muskat, M., 1937, The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media, *McGraw-Hill*, New York, N.Y., 763.
- Naji, A., Ouazar, D. ve Cheng, A. D., 1998, Locating the saltwater-freshwater interface using nonlinear programming and h-adaptive BEM, *Engineering analysis with boundary elements*, 21(3), 253-259.
- Nowroozi, A. A., Horrocks, S. B. ve Henderson, P., 1999, Saltwater intrusion into the freshwater aquifer in the eastern shore of Virginia: a reconnaissance electrical resistivity survey, *Journal of Applied Geophysics*, 42(1), 1-22.
- Ojeda, C. G., Gallardo, P., Hita, L. G. ve Arteaga, L. M., 2004, Saline interface of the Yucatan peninsula aquifer, In *Proceeding of the 18 th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- ORSAM (Ortadoğu Stratejik Araştırmalar Merkezi), 2011, Görünmez Stratejik Kaynak, Sınırşan Yeraltı Suları, Orsam rapor no:63, *Orsam Su Araştırmaları Programı Rapor*, 7, Ankara.
- Ortuño, F., Molinero, J., Custodio, E., Juárez, I., Garrido, T. ve Fraile, J., 2010, Seawater intrusion barrier in the deltaic Llobregat aquifer (Barcelona, Spain): performance and

- pilot phase results, In Proceedings of the 21st Salt Water Intrusion Meeting (SWIM21), San Miguel, Azores, Portugal, 135-138.
- Ortuño, F., Molinero, J., Garrido, T., & Custodio, E., 2012, Seawater injection barrier recharge with advanced reclaimed water at Llobregat delta aquifer (Spain). *Water science and technology*, 66(10), 2083-2089.
- Oswald, S. E., Kinzelbach, W. ve Johannsen, K., 2001, Three- dimensional modelling of seawater intrusion into an island aquifer to study water resources management, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Oude Essink, G. H. P., 2001a, Salt water intrusion at the island of Texel, the Netherland: a numerical study, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Oude Essink, G. H. P., 2001b, Salt water intrusion in the groundwater system of Noord-Holland, the Netherland: a numerical study, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Özmürüt, Y., 2008, Küçükköy (Ayvalık) Ovası'nın hidrojeolojisi ve deniz suyu girişi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 70-84.
- Öztürk, K., 2002, Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri, *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Paniconi, C., Khlaifi, I., Lecca, G., Giacomelli, A. ve Tarhouni, J., 2001, Modeling and analysis of seawater intrusion in the coastal aquifer of eastern Cap-Bon, Tunisia, *Transport in porous media*, 43(1), 3-28.
- Payne, D. F., Provost, A. M., Voss, C. I. ve Clarke, J. S., 2001, Mechanism of saltwater contamination of ground water in coastal Georgia U.S.A.: preliminary results of variable density transport modelling, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Pina, A., Gomes, A., Melo, M. ve Silva, M., 2004, The impact of salt water intrusion on groundwater quality and on the social and economical development of the Santiago island (Cape Verde), In *Proceedings do 18th Salt Water Intrusion Meeting*.
- Pinder, G.F. ve Cooper, H.H., 1970, A numerical Technique for Calculating the Transient Position of the Saltwater Front, *Water Resources Research*, 6 (3), 875-882.
- Postel, S., 2000, Son Vaha, Su Sıkıntısıyla Karşı Karşıya, (çev: F. Şebnem Sözer), *TUBİTAK-TEMA VAKFI yayınları*, Ankara, 218.
- Prieto, C., Destouni, G. ve Schwartz, J., 2001, Seawater intrusion in coastal aquifers: Effects of seasonal variations in extraction and recharge rates, 1-11.
- Qahman, K. ve Zhou Y., 2001, Monitoring of sweater intrusion in the Gaza Strip, Palestine, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management*, Morocco.
- Qahman, K., Larabi, A. ve Limen, E. M. D., 2004, Three dimensional numerical models of seawater intrusion in the Gaza aquifer, Palestine, In *18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Qurtobi, M., Bouchaou, L., IbnMajah, M., Marah, H., Gaye, C. B. ve Michelot, J. L., 2004, Origin of salinity and its impact on fresh ground water resources in the Souss-Massa Basin in the South- west of Morocco: optimisation of isotopic techniques, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.

- Rao, K. L. N. ve Rao, P. B., 2004, Salinization of coastal fresh water aquifers of Andhra Pradesh, India, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Reilly, T. E., ve Goodman, A.S., 1985, Quantitative Analysis of Saltwater– Freshwater Relationships in Groundwater systems, A Historical Perspective, *Journal of Hydrology*, 80, 125–160.
- Rifai, M. N. E., Kaufman, W. J. ve Todd, D. K., 1956, Dispersion phenomena in laminar flow through porous media, *Sanitary Engineering Research Laboratory and Division of Civil Engineering*, University of California, USA.
- Sadeg, S. ve Karahanoğlu, N., 2001, Numerical assessment of seawater intrusion in the Tripoli region, Libya, *Environmental Geology*, 40(9), 1151-1168.
- Sakr, S. A., 1999, Validity of a sharp-interface model in a confined coastal aquifer, *Hydrogeology Journal*, 7(2), 155-160.
- Sbai, M. A., De Smedt, F. ve Larabi, A., 2001, A generalized approach for modeling 3D transient free and moving boundaries in coastal aquifers, In *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling, and Management*, Morocco, 10.
- Sbai, M. A., Larabi, A. ve De Smedt, F., 1970, Modelling saltwater intrusion by a 3-D sharp interface finite element model, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 24.
- Schmork, S. ve Mercado, A., 1969, Upconing of fresh water—sea water interface below pumping wells, field study, *Water Resources Research*, 5(6), 1290-1311.
- Scholze, O., Hillmer, G. ve Schneider, W., 2002, Protection of the groundwater resources of Metropolis CEBU (Philippines) in consideration of saltwater intrusion into the coastal aquifer, In *17th Salt water intrusion meeting*, Delft, the Netherlands.
- Segol, G., 1975, A Galerkin-finite element technique for calculating the transition position of the salt-water front, *Water Resources Research*, 11(2), 373-347.
- Shalabey, M. E., Kashyap, D. ve Sharma, A., 2006, Numerical model of saltwater transport toward a pumping well, *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(4), 306-318.
- Shamir, U. ve Dagan, G., 1971, Motion of the seawater interface in coastal aquifers: a numerical solution, *Water Resources Research*, 7(3), 644-657.
- Sherif, M., El Mahmoudi, A., Garamoon, H., Kacimov, A., Akram, S., Ebraheem, A. ve Shetty, A., 2006, Geoelectrical and hydrogeochemical studies for delineating seawater intrusion in the outlet of Wadi Ham, UAE, *Environmental Geology*, 49(4), 536-551.
- Sherif, M., Kacimov, A., Ebraheem, A. ve AlMulla, M., 2010, Three-dimensional mapping of seawater intrusion using geophysical methods, In *World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change*, 1136-1145.
- Stuyfzand, P. J., Maas, K., Kappelhof, J. ve Kooiman, J. W., 2004, Pumping brackish groundwater to prepare drinking water and keep salinized wells fresh, In *18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain, 127.
- Şahin, Ü., Örs, S., Molinari, N. B. ve Tunç, T., 2010, Yeraltı suyu kalitesi ve organik tarım, *Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu*, Erzurum.
- Taylor, A., Hulme, P., Hughes, A. ve Foot, S., 2001, Benchmarking of variable density model codes against Henry's problem, *Proceeding in First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco.
- Teatini, P., Gambolati, G., Gonella, M., Brunone, M., Ferrante, M. ve Marconi, S., 2001, Modelling seawater intrusion in the protorecanati, Italy, In *Proceeding of the 1st*

- international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management, Morocco.*
- Thomas, S. D., Liles, J. M. ve Johnson, A., 2001, Managing Seawater Intrusion in the Dominguez Gap Area of Los Angeles County, California, USA, In *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers–Monitoring, Modeling, and Management*, Essaouira, Morocco, 23-25.
- Tiruneh, N. D. ve Motz, L. H., 2003, Three dimensional modeling of saltwater intrusion coupled with the impact of climate change and pumping, In *World Water & Environmental Resources Congress 2003*, 1-9.
- Todd, D. K., 1974, Salt-Water Intrusion and Its Control, *Journal-American Water Works Association*, 66(3), 180-187.
- Tsai, W. F. ve Kou, C. C., 1970, Numerical Analyses of Hydrological and Geological Effects on Seawater Intrusion, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 24.
- Tsutsumi, A., Jinno, K. ve Oheda, Y., 2001, Changes in fresh and saltwater movement in a coastal aquifer by land surface alteration, *Proceeding of the 1st international conference and workshop on saltwater intrusion and coastal aquifers, monitoring, modelling, and management, Morocco.*
- Tulipano, L. ve Fidelibus, M. D., 2002, Mechanism of groundwater salinisation in a coastal karstic aquifer subject to over-exploitation, *Proceedings of 17th SWIM*, Delft, The Netherlands.
- TÜİK, 2016, Belediye Atıksu İstatistikleri, TÜİK Haber Bülteni, Sayı, 24875
- TÜİK, 2016, Belediye Su İstatistikleri, TÜİK Haber Bülteni, Sayı, 24874
- Vallejos, A., Pulido, B. A. ve Gisbert, A. Y., 2004, Monitoring saltwater intrusion in a Karstic aquifer, *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain.
- Van Meir, N., Jaeggi, D., Herfort, M., Low, S., Lods, G., Pezard, P. ve Gouze, P., 2004, Development of a test site for the investigation of saltwater intrusion process in a karstified limestone aquifer (Campos Mallorca, Spain), In *Proceeding of the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Cartagena, Spain, 289-305.
- Vázquez-Suñé, E., Abarca, E., Carrera, J., Capino, B., Gámez, D., Pool, M. ve Ibáñez, X., 2005, Groundwater flow and saltwater intrusion modeling of the low Valley and Llobregat Delta aquifers, In *Groundwater and Saline Intrusion: Selected Papers From the 18th Salt Water Intrusion Meeting*, Madrid, 693-705.
- Vengadesan, M., & Lakshmanan, E., 2019, Management of Coastal Groundwater Resources. In *Coastal Management*, Academic Press, Chennai, India, 383-397.
- Voss, C. I. ve Provost, A. M., 2001, Three-dimensional simulation of variable-density flow and seawater intrusion using the USGS Sutra code and SutraSuite, In *The First International Conference and Workshop on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers, Monitoring, Modeling, and Management*, Morocco.
- Voss, C. I., 1984, A finite-element simulation model for saturated-unsaturated, fluid-density-dependent ground-water flow with energy transport or chemically-reactive single-species solute transport, Reston, VA: US Geological Survey, 84.
- Voudouris, K., Mandilaras, D. ve Antonakos, A., 2004, Methods to define the areal distribution of the salt intrusion: examples from South Greece, In *Groundwater and saline intrusion, Selected papers from the 18th salt water intrusion meeting, Public Geological Survey of Spain*, Cartagena, Spain, 465-480.
- Ward, D. S. ve Benegar, J., 1998, Data Input Guide for SWIFT-98, version 2.57, HSI Geotrans, Inc., Sterling, Virginia, USA.

- Ward, D. S., 1991, Data Input for SWIFT/386, version 2.50, *Geotrans Technical Report*, Sterling, Virginia, USA.
- Willert, T., Behain, D., Fulda, C., Worzyk, P. ve Kessels, W., 2001, Regional saltwater distribution in the Coastal Aquifer Test Field (CAT-Field) between Bremerhaven and Cuxhaven, Germany, by DC-geoelectric measurements, *Proceeding in SWICA-M³*.
- Wright, T., 2013, Water demand of selected residential properties with access to groundwater in serviced areas of the Cape Peninsula, *Doctoral dissertation, Stellenbosch, Stellenbosch University*. Sout Africa.
- Yetiş, A.D., 2013, Ceylanpınar Ovası Yeraltısuyu Kalitesinin ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Doktora tezi*, Adana, Türkiye.
- Zhang, Z. Y., 2002, The alternating-direction schemes and numerical analysis for the three-dimensional seawater intrusion simulation, *Acta Mathematicae Applicatae Sinica*, 18(3), 389-404.
- Zheng, C. ve Wang, P. P., 1999, MT3DMS: a modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion, and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; documentation and user's guide, *Alabama University*, Alabama, USA.
- Zhou, X., Chen, M.ve Liang, C., 2003, Optimal schemes of groundwater exploitation for prevention of seawater intrusion in the Leizhou Peninsula in southern China, *Environmental Geology*, 43(8), 978-985.
- Zubari, W. K., 1999, The Damman aquifer in Bahrain–Hydrochemical characterization and alternatives for management of groundwater quality, *Hydrogeology Journal*, 7(2), 197-208.



