



**FARKLI TÜRLERDE SULARIN ZEMİNLERİN
PERMEABİLİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
LABORATUVAR KOŞULLARINDA
ARAŞTIRILMASI**

Semih APUL

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**FARKLI TÜRLERDE SULARIN ZEMİNLERİN PERMEABİLİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN LABORATUVAR KOŞULLARINDA
ARAŞTIRILMASI**

Semih APUL

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İnan KESKİN**

**KARABÜK
MAYIS 2021**

Semih APUL tarafından hazırlanan “FARKLI TÜRLERDE SULARIN ZEMİNLERİN PERMEABİLİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN LABORATUVAR KOŞULLARINDA ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İnan KESKİN

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/05/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ali ATEŞ (AİBÜ)

Üye : Doç. Dr. İnan KESKİN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Semih APUL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI TÜRLERDE SULARIN ZEMİNLERİN PERMEABİLİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN LABORATUVAR KOŞULLARINDA ARAŞTIRILMASI

Semih APUL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İnan KESKİN

Nisan 2021, 117 sayfa

Permeabilite zeminlerin en önemli özelliklerinden biri olup sahayı temsil edecek şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Ancak, laboratuvar ortamında distile su ile belirlenen permabilite değeri çoğu zaman saha koşullarını tam olarak yansıtmamaktadır. Farklı koşullarda, farklı ortamlarda, farklı kimyasal özelliği sahip sulara permeabilite katsayısı farklı sonuçlar verebilir. Bu farklılıkların ortaya çıkarabileceği sorunlar göz ardı edilemeyecek kadar büyük sıkıntılara sebep olabilir. Bu çalışmada su kimyasının zeminlerin geçirimsizliklerine olan etkisinin deneysel olarak ortaya konularak suların türünün, kimyasal özelliklerinin ve yoğunluğunun permeabiliteye etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tüm deneylerde aynı özellikte zemin karışımı kullanabilmek amacıyla %70 bentonit ve %30 silis kumu karışımı ile %30 bentonit ve %70 silis kumu karışımlarının 10 farklı kimyasal özellikteki su türüyle karıştırılmış, 20 farklı deney numunesi elde edilmiş ve bu deney

numuneleri zemin aynı oranda kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılarak geçirimsizliğinin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında zeminlerle etkileşime giren suyun kimyası ve türünün geçirimsizliğe etkisi belirlenmiş olup, yapılan deneysel çalışmalarda düşen seviyeli permeabilite ve sabit seviyeli permeabilite deney yöntemleri ile distile su kullanılarak elde edilecek sonuçlarla farklı türde ve kimyasal içeriğe sahip suların kullanımı ile elde edilen geçirimsizlik sonuçları karşılaştırılmıştır. Deniz suları ve kaplıca suyu kullanılarak %30 kum - %70 bentonit karışımı üzerinde yapılan permeabilite deneylerinin sonuçları incelendiğinde yoğunluk değerlerinin, elektriksel iletkenlik değerlerinin, tuzluluk (ppb) derişimlerinin, sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klorür (Cl), sülfat (SO₄) ve bikarbonat (HCO₃) derişimlerinin artması permeabilite katsayısını arttırmıştır. %30 bentonit - %70 kum karışımı zemin üzerinde deniz suları ve kaplıca suyu ile yapılan permeabilite deneylerinin sonuçları değerlendirildiğinde ise yoğunluk değerlerinin, elektriksel iletkenlik değerlerinin, tuzluluk (ppb) derişimlerinin, sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klorür (Cl), sülfat (SO₄) ve bikarbonat (HCO₃) derişimlerinin artması permeabilite katsayısını azaltmıştır. PH değerleri ise her iki zemin numunesi için yapılan permeabilite deneyleri sonuçlarıyla karşılaştırıldığında net bir ilişki gözlenememiş ve yorum yapılamamıştır.

Anahtar Sözcükler : Permeabilite, geçirimsizlik, hidrolik iletkenlik, farklı sular, permeabilite katsayısı, viskozite, yoğunluk, bentonit-kum karışımı, suların kimyasal özellikleri.

Bilim Kodu : 91105

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SPECIES OF WATER ON THE PERMEABILITY OF SOIL IN LABORATORY CONDITIONS

Semih APUL

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İnan KESKİN

May 2021, 117 pages

Permeability is one of the most important property of soils and it is very important to determine it to represent the field. However, the permability value determined with distilled water in the laboratory environment often does not fully reflect the field conditions. The permeability coefficient may give different results in different conditions, in different environments, in waters with different chemical properties. The problems that these differences may cause can cause great troubles that cannot be ignored. In this study, it was aimed to determine the effect of water type, chemical properties and density on permeability by experimentally revealing the effect of water chemistry on the permeability of soils. A mixture of 70% bentonite and 30% silica sand and 30% bentonite and 70% silica sand mixtures were mixed with 10 different types of water, 20 different test samples were obtained, and these test samples were compressed with the same rate of compaction energy to measure the permeability of

the soil and compare the measured values. has been made. Within the scope of the study, the effect of the chemistry and type of water interacting with the soils on the permeability was determined and the results obtained by using distilled water with falling level permeability and constant level permeability test methods in the experimental studies were compared with the permeability results obtained by using water with different types and chemical content. When the results of the permeability tests performed on a mixture of 30% sand - 70% bentonite using sea water and hot spring water are examined, the density values, electrical conductivity values, salinity (ppb) concentrations, sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (The increase in Mg), chloride (Cl), sulfate (SO₄) and bicarbonate (HCO₃) concentrations increased the permeability coefficient. When the results of the permeability tests made with sea water and hot spring water on a mixture of 30% bentonite - 70% sand are evaluated, the density values, electrical conductivity values, salinity (ppb) concentrations, sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), Increasing the magnesium (Mg), chloride (Cl), sulfate (SO₄) and bicarbonate (HCO₃) concentrations decreased the permeability coefficient. When the pH values were compared with the results of the permeability tests for both soil samples, a clear relationship could not be observed and no interpretation could be made.

Key Word : Permeability, hydraulic conductivity, different waters, permeability coefficient, density, bentonite-sand mixture, chemical properties of waters.

Science Code : 91105

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen tezin her aşamasında sabırla destek sağlayan, bilgisinden, tecrübesinden, deneyimlerinden, kaynaklarından ve ileri görüşünden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. İnan KESKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Su kimyası analizlerinde ve su kimyasının yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi ve manevi desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim.

Sevgili arkadaşlarım inşaat mühendisi Mehmet Fatih YAZICI'ya ve Merve İYİ'ye tez çalışmamın kapsamında laboratuvar deneylerinde ve tez yazım aşamalarında her daim yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Bu proje Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından FYL-2020-2122 numaralı Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ARAŞTIRMA KONUSUYLA İLİŞKİLİ LİTERATÜRÜN DERLEMESİ... 2	2
BÖLÜM 2	13
MATERYAL VE METHOD	13
2.1. MATERYAL.....	13
2.1.1. Deneylerde Kullanılan Sular ve Özellikleri.....	13
2.1.1.1. Deneylerde Kullanılan Suların Kimyasal Özellikleri	17
2.1.1.2. Suların Yoğunluğunun Belirlenmesi.....	26
2.1.2. Deneylerde Kullanılan Zemin Karışımlarının ve Özellikleri	27
2.1.2.1. Kompaksiyon Özellikleri	29
2.1.2.2. Permeabilite Özellikleri	30
2.2. METHOD.....	31
2.2.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi	31
2.2.1.1. Deneyde Kullanılan Araçlar	31
2.2.1.2. Deneyin Yapılışı	32
2.2.2. Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi	34
2.2.2.1. Deneyde Kullanılan Araçlar	34
2.2.2.2. Deneyin Yapılışı	35

BÖLÜM 3	37
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	37
3.1. %30 KUM + %70 BENTONİT ÜZERİNDE YAPILAN PERMEABİLİTE DENEYLERİNİN SONUÇLARI İLE SU KİMYASI ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ	37
3.1.1. Suların Yoğunluğu ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması	37
3.1.2. Suların PH Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması ..	40
3.1.3. Suların EC (Elektriksel İletkenlik) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	43
3.1.4. Suların Tuzluluk (ppb) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	47
3.1.5. Suların Sodyum (Na) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	50
3.1.6. Suların Potasyum (K) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	53
3.1.7. Suların Kalsiyum (Ca) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	57
3.1.8. Suların Magnezyum (Mg) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	60
3.1.9. Suların Bikarbonat (HCO ₃) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	64
3.1.10. Suların Klorür (Cl) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	66
3.1.11. Suların Sülfat (SO ₄) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	70
3.2. %70 KUM +%30 BENTONİT ÜZERİNDE YAPILAN PERMEABİLİTE DENEYLERİNİN SONUÇLARI İLE SU KİMYASI ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ	73
3.2.1. Suların Yoğunluğu ile Permeabilite katsayısının karşılaştırılması.....	73
3.2.2. Suların pH Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması	76
3.2.3. Suların EC (Elektrik İletkenlik) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması	79
3.2.4. Suların Tuzluluk (ppb) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması	82
3.2.5. Suların Sodyum (Na) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması	86
3.2.6. Suların Potasyum (K) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması	89

	<u>Sayfa</u>
3.2.7. Suların Kalsiyum (Ca) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	93
3.2.8. Suların Magnezyum (Mg) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	96
3.2.9. Suların Bikarbonat (HCO ₃) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	99
3.2.10. Suların Klorür (CL) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	102
3.2.11. Suların Sülfat (SO ₄) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması.....	106
BÖLÜM 4.....	110
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	110
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Su numunelerinin alındığı lokasyonları gösteren harita.....	15
Şekil 2.2.	Su numunelerinin alındığı lokasyonlarda EC ve pH ölçümü.....	16
Şekil 2.3.	Su numunelerinin saklama kablari	16
Şekil 2.4.	Akdeniz Suyu ve Ege Denizi Suyunun kimyasal analiz sonuçları.....	19
Şekil 2.5.	Karadeniz Suyu ve Marmara Denizi Suyunun kimyasal analiz sonuçları	20
Şekil 2.6.	Akgöl Suyu ve Araç Çayı Suyunun kimyasal analiz sonuçları.....	21
Şekil 2.7.	Kaplıca Suyu ve Distile Suyun kimyasal analiz sonuçları	22
Şekil 2.8.	Musluk Suyu ve Kaplıca Suyun kimyasal analiz sonuçları	23
Şekil 2.9.	Su numunelerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı	24
Şekil 2.10.	Su Numunelerinin Piper diyagramı Üzerindeki dağılımı.....	26
Şekil 2.11.	Silis kumu tane boyu dağılım eğrisi.....	27
Şekil 2.12.	Çalışmada kullanılan %30 silis kumu+ %70 bentonit kili karışımına ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriğini (w_{opt}) gösteren kompaksiyon eğrisi.....	29
Şekil 2.13.	Çalışmada kullanılan %70 silis kumu+ %30 bentonit kili karışımına ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriğini (w_{opt}) gösteren kompaksiyon eğrisi.....	30
Şekil 2.14.	Permabilite deneylerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği	32
Şekil 2.15.	Deney yapılırken kullanılan su tankı, kompresör ve deney düzeneği	33
Şekil 3.1.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	38
Şekil 3.2.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	39
Şekil 3.3.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	40
Şekil 3.4.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi	41
Şekil 3.5.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	42
Şekil 3.6.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda ph ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	43

Şekil 3.7. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi	44
Şekil 3.8. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi	45
Şekil 3.9. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi	46
Şekil 3.10. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	48
Şekil 3.11. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	49
Şekil 3.12. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	50
Şekil 3.13. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	51
Şekil 3.14. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	52
Şekil 3.15. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	53
Şekil 3.16. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	55
Şekil 3.17. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	56
Şekil 3.18. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	57
Şekil 3.19. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	58
Şekil 3.20. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	59
Şekil 3.21. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	60
Şekil 3.22. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	61
Şekil 3.23. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	62
Şekil 3.24. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	63
Şekil 3.25. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikorbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	64

Şekil 3.26. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	65
Şekil 3.27. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	66
Şekil 3.28. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	67
Şekil 3.29. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	68
Şekil 3.30. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	69
Şekil 3.31. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sülfat (SO_4) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	71
Şekil 3.32. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO_4) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	72
Şekil 3.33. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO_4) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	73
Şekil 3.34. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	74
Şekil 3.35. %70 Kum + %30 Bentonit karışımı ile hesaplanan Deniz sularında Yoğunluk ve Permeabilite Katsayısı ilişkisi	75
Şekil 3.36. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	76
Şekil 3.37. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi	77
Şekil 3.38. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	78
Şekil 3.39. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi	79
Şekil 3.40. %70 kum + %30 bentonit bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi	80
Şekil 3.41. %70 Kum + %30 Bentonit karışımı ile hesaplanan Deniz sularında Elektrik İletkenlik ve Permeabilite Katsayısı ilişkisi.....	81
Şekil 3.42. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi	82
Şekil 3.43. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	84
Şekil 3.44. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	85

Şekil 3.45. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi	86
Şekil 3.46. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	87
Şekil 3.47. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	88
Şekil 3.48. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	89
Şekil 3.49. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	90
Şekil 3.50. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	91
Şekil 3.51. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	92
Şekil 3.52. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	94
Şekil 3.53. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	95
Şekil 3.54. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	96
Şekil 3.55. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	97
Şekil 3.56. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) ve permeabilite katsayısı ilişkisi	98
Şekil 3.57. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	99
Şekil 3.58. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	100
Şekil 3.59. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	101
Şekil 3.60. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi	102
Şekil 3.61. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	104
Şekil 3.62. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	105
Şekil 3.63. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	106

Sayfa

Şekil 3.64. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların Sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	107
Şekil 3.65. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	108
Şekil 3.66. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.....	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Deney kapsamında kullanılan suların kökenleri, kısaltmaları ve lokasyonları	14
Çizelge 2.2.	Suların kimyasal analiz sonuçları.....	18
Çizelge 2.3.	Yarı logaritik Schoeller Diyagramına göre iyonların sıralaması	25
Çizelge 2.4.	Deneylerde kullanılan suların yoğunluk değerleri	27
Çizelge 2.5.	Ham bentonit özellikleri.....	28
Çizelge 2.6.	Çalışmada kullanılan karışımların permeabilite katsayıları	31
Çizelge 3.1.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	38
Çizelge 3.2.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	39
Çizelge 3.3.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	40
Çizelge 3.4.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı değerleri.....	41
Çizelge 3.5.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı değerleri	42
Çizelge 3.6.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda ph ve permeabilite katsayısı değerleri.....	43
Çizelge 3.7.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri	44
Çizelge 3.8.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri	45
Çizelge 3.9.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri	46
Çizelge 3.10.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	47
Çizelge 3.11.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	48
Çizelge 3.12.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	49
Çizelge 3.13.	%30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	51

Çizelge 3.14. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	52
Çizelge 3.15. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	53
Çizelge 3.16. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	54
Çizelge 3.17. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	55
Çizelge 3.18. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	56
Çizelge 3.19. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	58
Çizelge 3.20. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	59
Çizelge 3.21. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	60
Çizelge 3.22. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	61
Çizelge 3.23. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	62
Çizelge 3.24. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	63
Çizelge 3.25. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikarbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	64
Çizelge 3.26. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikarbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	65
Çizelge 3.27. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikarbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	66
Çizelge 3.28. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	67
Çizelge 3.29. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	68
Çizelge 3.30. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	69
Çizelge 3.31. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	70
Çizelge 3.32. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	71

Çizelge 3.33. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	72
Çizelge 3.34. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	74
Çizelge 3.35. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	75
Çizelge 3.36. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	76
Çizelge 3.37. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı değerleri.....	77
Çizelge 3.38. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı değerleri.....	78
Çizelge 3.39. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda pH ve permeabilite katsayısı değerleri.....	78
Çizelge 3.40. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri	80
Çizelge 3.41. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.....	81
Çizelge 3.42. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.....	82
Çizelge 3.43. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	83
Çizelge 3.44. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	84
Çizelge 3.45. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.....	85
Çizelge 3.46. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	87
Çizelge 3.47. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	88
Çizelge 3.48. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	89
Çizelge 3.49. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	90
Çizelge 3.50. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	91
Çizelge 3.51. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	92

Çizelge 3.52. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	93
Çizelge 3.53. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	94
Çizelge 3.54. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	95
Çizelge 3.55. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	97
Çizelge 3.56. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	98
Çizelge 3.57. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	99
Çizelge 3.58. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikarbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	100
Çizelge 3.59. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikarbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	101
Çizelge 3.60. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikarbonat (HCO ₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	102
Çizelge 3.61. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	103
Çizelge 3.62. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	104
Çizelge 3.63. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri	105
Çizelge 3.64. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	107
Çizelge 3.65. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	108
Çizelge 3.66. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO ₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

k	: geçirimlilik katsayısı
cm	: santimetre
sn	: saniye
%	: yüzde
Hz	: hertz
kgf	: kilogram farad
kPa	: kilopaskal
EC	: elektriksel iletkenlik
°C	: santigrad
mm	: milimetre
km	: kilometre
µS	: mikroSiemens
mg	: miligram
lt	: litre
Na ⁺	: sodyum
K ⁺	: potasyum
Ca ⁺²	: kalsiyum
Mg ⁺²	: magnezyum
HCO ₃ ⁻	: bikarbonat
Cl ⁻	: klorür
SO ₄ ⁻²	: sülfat
mS	: milisaniye
gr	: gram
kg	: kilogram
N	: newton
MB	: megabayt

μm : mikrometre
 SiO_2 : silisyum dioksit
 Al_2O_3 : alüminyum oksit
 Fe_2O_3 : demir oksit
 CaO : kalsiyum oksit
 MgO : magnezyum oksit
 K_2O : potasyum oksit
 Na_2O : sodyum oksit
 γ_k : kuru birim hacim ağırlık
 γ_{kmak} : maksimum kuru birim hacim ağırlık
 w_{opt} : optimum su içeriği
 t : zaman
 Q : debi
 m : metre
 D : permeabilite deney hücresi çapı
 L : permeabilite deney hücresi boyu
 a : cam borunun kesit alanı
 A : zemin numunesinin enine kesit alanı
 H_0 : deney başlangıcında cam tüpteki su yüksekliği
 H_1 : deney sonundaki cam tüpteki su yüksekliği
 ΔH : zemin numunesi üzerindeki su yükü

KISALTMALAR

AC : Araç Çayı Suyu
AD : Akdeniz Suyu
AS : Akgöl Suyu
ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
CSR : Devirsel Gerilme Oranı
ED : Ege Denizi Suyu
EDI : Elektro Deiyonizasyon
EC : Elektriksel İletkenlik

GKÖ : Geosentetik Kil Örtü
KD : Karadeniz Suyu
KS : Kaplıca Suyu
MD : Marmara Denizi Suyu
MS : Musluk Suyu
PGKÖ : Polimer Modifiyeli Geosentetik Kil Örtü
SS : Distile Su
TDR : Zaman Tanım Alanında Yansıma
YKS : Kar Suyu
YGKÖ: Yapay Geosentetik Kil Örtü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Killi zeminler üzerine yapılacak yapıların temel tasarımında önemsenecek en önemli özelliklerden biri permeabilitedir. Bu nedenle, temel tasarımı yapılmadan önce zeminlerin permeabilite değeri hesaplanmalıdır. Fakat permeabilite laboratuvar ortamında distile su ile hesaplanır. Farklı koşullarda, farklı ortamlarda, farklı kimyasal özelliğe sahip sulara permeabilite katsayısı ve zemin geçirimsizliği farklı sonuçlar verebilir. Bu farklılıkların ortaya çıkarabileceği sorunlar göz ardı edilemeyecek kadar büyük sıkıntılara sebep olabilir. Örneğin; kil-kum karışımı çöp depolama tesislerinin temelinde çöp sularının doğaya karışmasını engellemek amacıyla geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için kullanılır (Akbulut, 2003). Bu tabakaların geçirimsiz olması gerekir. Bu geçirimsizliği hesaplamak için yapılan deneyler laboratuvar ortamında distile su ile yapıldığı için hesaplanan permeabilite katsayısının yanlış hesaplanmış olması mümkündür. Çünkü çöp depolama tesislerinde, distile sudan farklı olarak çöp suları bulunur. Bu yanlış hesaplamalar sonucunda depolama tesisinin çöp suyunu absorbe edememesinin sonucunda çevreye büyük zararlar verilebilir. Kimyasal depolama tesislerinin temellerinde de geçirimsizliği sağlamak ve sızıntıların doğaya karışmasını engellemek amacıyla kil tabakaları kullanılmaktadır. Barajların kil çekirdeklerinde de benzer durum söz konusudur. Baraj suyunun kimyasal özelliği distile sudan farklı olduğu için kil çekirdekte istenilen geçirimsiz tabaka yanlış hesaplanarak geçirimsiz bir tabaka elde edilebilir. Farklı bölgelerde yapılan çeşitli iksa yapılarının bulunduğu zeminlerde farklı kimyasal özelliğe sahip olan suların iksa üzerindeki su tahliyesini sağlayan deşarj borularının çapını etkileyeceği düşünülebilir. Yani iki farklı bölgede iki farklı kimyasal özelliğe sahip suyun kil zeminlerden geçişi birbirinden farklı olacağından, kil zemin içerisinden akarak iksa drenajından geçen su miktarı, hızı ve debisi birbirinden farklı olabilir. Bu sebeplerden ötürü geçirimsizlik deneysel ortamlarda farklı su kimyası dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

Zemin suyunun kimyası zeminlerin geçirirliği ile ilgili çok büyük önem taşımaktadır. Zemin suyunda çözünmüş olan kalsiyum, sodyum, magnezyum ve/veya potasyum katyonları kil yüzeyinde değişebilen katyonlar olarak absorbe edilebilirler. Bu katyonların hidrasyonu kil taneleri arasında büyük miktarlarda suyun toplanmasına sebep olabilir. Su kimyasının özellikle kalsiyum ve sodyum içeriğine bağlı olarak geçirirliliğin değişimi oldukça önemli olup bu ve diğer sudaki majör ve minör iyonların geçirirliliğe olan etkisinin standart deneyler ile belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada su kimyasının zeminlerin geçirirliliklerine olan etkisinin deneysel olarak ortaya konularak, suların kimyasal özelliklerinin ve yoğunluğunun permeabiliteye etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tüm deneylerde aynı özellikte zemin karışımı kullanabilmek amacıyla %70 bentonit ve %30 silis kumu karışımı ile %30 bentonit ve %70 silis kumu karışımının 10 farklı kimyasal özellikteki su türüyle karıştırılmış, 20 farklı deney numunesi elde edilmiş ve bu deney numuneleri zemin aynı oranda kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılarak geçirirliliğinin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında, zeminlerle etkileşime giren suyun kimyası ve türünün geçirirliliğe etkisi belirlenmiş olup, yapılan deneysel çalışmalarda düşen seviyeli permeabilite deney yöntemi ile distile su kullanılarak elde edilen zemin geçirirliliği, aynı yöntem ve farklı tür ve kimyasal içeriğe sahip suların kullanımı ile elde edilen zemin geçirirliliği ile karşılaştırılmıştır.

1.1. ARAŞTIRMA KONUSUYLA İLİŞKİLİ LİTERATÜRÜN DERLEMESİ

Birim alandan birim zamanda akan sıvı miktarına permeabilite katsayısı (geçirirlilik katsayısı) olarak adlandırılır. ‘k’ ile gösterilir. Birimi cm/sn ‘dir. Geoteknik mühendisliğinde permeabilite kavramı, zeminlerin içerisinde bulunan boşluklar boyunca sıvıların zeminlerin içerisinden geçebilmesi özelliğidir (Sheidegger,1974). Tasarlanan ve yapılmak istenen yapı temelleri, depolama alanlarının temelleri ile duvarları ve geoteknik yapı tasarımları kil ve killi karışımlarla etkileşim halinde ise veya kil ve killi karışımlar ile oluşturulmuş ise temellere, duvarlara ve geoteknik tasarımlara gelecek zararları minimuma indirmek ve yapılacak yapıların yapım

amacını sağlamak amaçlarıyla geçirimsizlik katsayısının hesaplanması gereklidir. Kil-kum karışımı zeminler aşağıdaki durumlar için kullanılabilir.

- Katı atık depolama tesislerinin depolama bölümlerinin temellerinde geçirimsizliği sağlamak ve sızmayı önlemek için,
- Kimyasal ve radyoaktif depolama tesislerinin temellerinde ve siperlerinde geçirimsizliği sağlamak ve sızmayı engellemek amacıyla,
- Toprak barajların kil çekirdeklerinde,
- Toprak dolgularda bariyer olarak.

Bu yapıların yapım amaçlarını yerine getirebilmek için kil-kum karışımlarının permeabilitesinin ölçülmesi gerekli ve önemlidir. Permeabilitenin yanlış belirlenmesi tasarım, dizayn ve uygulamada geri dönüşümlü güç kayıplara neden olabilir. Zeminlerin geçirimsizlik özellikleri çok değişkenlik gösteren ve diğer faktörlerden en çok etkilenen özelliklerdendir. Özellikle yeni yapılaşmaya açılması planlanan alanlarda bu parametrenin sahayı temsil edici şekilde doğru olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Permeabilite katsayısını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 87);

- Zemin tanelerinin ortalama tane çapı (Allen Hazen,1892),
- Zemin taneleri arasındaki ortalama boşluk oranı,
- Zemin tanelerinin kimyasal özelliği ve molekül yapısı,
- Zeminlerin doygunluk derecesi,
- Zemin tanelerinin yüzeyi ve dokusu,
- Akış tipi,
- Sıcaklık,
- Permeabilite sıvısının viskozitesi ve birim hacim ağırlığı (Muskat,1937),
- Permeabilite sıvısının kimyasal özelliği ve molekül yapısı.

Darcy (1856), laminar akım etkisi altında, suya doygun zeminlerin içerisindeki suların akış hızının hidrolik eğim ile orantılı olduğunu göstermiş ve yeraltı sularının akışının düşük hıza sahip olduğunu söylemiştir. Araştırmaların neticesinde ince tane oranı

yüksek olan zeminlerde boru kesit alanı, numune yüksekliği, numune kesit alanı, deney süresi ve hidrolik eğim ile permeabilite arasında ampirik bir bağıntı elde edilmiş ve geçirimsizlik katsayısını hesaplanmıştır. İri tane oranı yüksek olan zeminlerde ise hidrolik eğim, debi, numune kesit alanı ve deney süresini ile permeabilite katsayısını kullanarak ampirik bir bağıntı elde edilmiş ve permeabilite katsayısını hesaplanmıştır.

Hazen (1911), $k \geq 10^{-3}$ cm/sn olduğu durumlarda permeabilite katsayısı ile efektif tane çapı arasında ampirik bir formül elde etmiştir. Casagrande (1936), farklı zeminler için permeabilite katsayısını laboratuvar koşullarında hesaplamış ve elde ettiği verilerden permeabilite katsayısının zeminle ilişkisini gösteren bir tablo tasarlamıştır. Taylor (1948), permeabilite deneyi başlangıcındaki boşluk oranı ile deney başlangıcından herhangi bir zaman sonrasındaki boşluk oranının arasındaki ilişkiden permeabilite katsayısının hesaplanabileceğini öne sürmüştür. Fakat bu katsayı sadece kumlu zeminlerde geçerlidir. Killi ve siltli zeminlerde geçerli değildir. Gibson (1966), kuyu içerisinde bulunan piyozometrenin uc kısmını saran kumun geçirgenlik değerleri üzerinde çalışma yapmıştır. Gibson (1970), konsolidasyon katsayısı ile ölçüm için açılmış olan kuyu kesit alanının laboratuvar ortamında hesaplanan sıkışabilirlik katsayısı ile birleştirerek permeabilite katsayısını hesaplayan bir ampirik bağıntı elde etmiştir.

Sridhartan (1971), geçirimsizlikle ilgili yaptığı çalışmada boşluk oranı fazla olan zeminlerde geçirimsizliğin boşluk oranı az olan zeminlere göre yüksek olduğunu ileri sürmüştür. Geçirimsizliğin zeminlerin boşluk büyüklüğü, şekli ve molekül geometrisi ile alakalı değişebileceğini göstermiştir. Bjerrum vd. (1972), zeminler içerisindeki hidrolik çatlakların geçirgenlikte artışa sebep olduğunu savunmuştur. Garcia-Bengochea vd. (1979), sıkıştırılmış killi ve siltli zeminlerin boşluk oranı ve permeabilite katsayısının arasındaki ilişkinin doğrusallıktan çok uzak olduğunu boşluk oranının gözenek çapıyla ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Cernica (1995), iri taneli zeminlerin permeabilitesinin ince taneli zeminlere göre daha fazla olduğunu savunmuştur.

Sheelheim (1880), permeabilitenin tane çapının karesi ile orantılı olduğunu açıklamasından sonra hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde birçok eşitlik

geliştirilmiştir. Yayınlanan birçok çalışmada (Sheidegger, 1953, 1954, 1974; Bear, 1974; Vukovic ve Saro, 1992; Mbanimpa, 2002) hidrolik çapı, istatistiki modelleri ve ampirik ilişkileri geçirimsizlik katsayısının tahmininde kullanılabileceğini açıklamışlardır. Temiz kum ve çakılların geçirimsizlik katsayısı hakkında Hazen (1911) üç parametrelili bir eşitlik ortaya koymuştur. Terzaghi ve Pack (1948), Lambe ve Whithman (1969), Freeze ve Cherry (1979) bu eşitliğe yayınlarda değinmişlerdir. Kozenty (1927) permeabilite katsayısının doygun zeminler için porozitenin ya da boşluk oranının bir fonksiyonu olduğunu öne sürmüştür.

Karaoğlu (2004), Bentonit-Granüler Zemin karışımlarının permeabilitesini etkileyen parametreleri araştırmıştır. Bu çalışmada ticari adı 'Shore Pac' olan, suda çözünebilen polimer malzeme belli oranlarda su ile karıştırılarak iki farklı bentonit agrega karışımı üzerinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Polimerli su çözeltisi üzerinde viskozite deneyleri yapılmıştır. Deneylerin sonucunda polimer miktarının artması viskoziteyi arttırmış ve viskozitenin artması permeabiliteyi azaltmıştır.

Soğancı (2004), Tekrarlı donma ve çözülmenin kireç ile stabilize edilmiş zeminlerin mukavemet ve permeabilitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, Aksaray ve Doğan hisar killeri optimum su içeriğinde %6 kireç ilavesi katılarak stabilize edilmiştir. İki farklı numune karışımı odas sıcaklığında 1-3-7-14-21-28 gün küre bırakılmış ve kür sürelerinden sonra 3'er gün donma ve çözülme evrelerinden geçirilerek permeabilite ve mukavemet deneyleri yapılmıştır. Deneylerin sonucunda her iki kil-kireç karışımları için donma çözülme işlemlerinden önce yapılan deneylerde permeabilite deneyleri sonucunda hesaplanan permeabilite değerleri 1000 kat artmış ve donma çözülme işlemlerinden sonra ise 10-20 kat arttığı gözlenmiştir. Mukavemet deneyleri sonucunda ise 28 günlük kür sonucunda donma ve çözülme reaksiyonları olmadan önce yapılan deneylerde her iki numune için mukavemet değerleri 15 kat artmış, donma ve çözülme reaksiyonlarından sonra yapılan mukavemet değerlerinde ise her iki numune içinde %10-15 arasında azalma görülmüştür.

Yılmaz (2006), değişik gradasyonlu kumların dinamik üç eksenli deneyi ile tespit edilen sıvılaşma dirençleri ile geleneksel direkt kesme ve hidrolik iletkenlik deney bulgularının ilişkilendirilmesi ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, değişik gradasyonlu içerisinde ince malzeme bulunan Paşabahçe silis kumu ile oluşturulmuş numunelerin devirsel yükler etkisinde yükleme formu sinüzoidal, yükleme frekansı 1 Hz ve efektif konsolidasyon basıncı 1kgf/cm^2 olarak alınarak devirsel üç eksenli deney düzeneğinde sıvılaşma direnci hesaplanmış ve bu düzenek yardımıyla hidrolik iletkenliklerde hesaplanmıştır. Mukavemet karakteristikleri ise direkt kesme deney düzeneğinde deformasyon kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Boşluk basıncının 10 çevrimde %95 olması için gerekli devirsel gerilme oranı (CSR) ile gradasyon karakteristikleri ve rezüdüel içsel sürtünme açıları elde edilmiş ve hidrolik iletkenlikle arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, tane çapı küçüldükçe devirsel gerilme oranının azaldığı, tane çapının devirsel dayanıma etkisinin olmadığı görülmüştür. Efektif dane çapı küçüldükçe, devirsel gerilme oranı, permeabilite ve içsel sürtünme açılarının azaldığı; içsel sürtünme açıları arttıkça devirsel gerilme oranının arttığı görülmüştür. Devirsel gerilme oranı ile permeabilite arasında ilişki bulunamamıştır.

Muratoğlu (2010), Atık mermer tozu katkılı killi zeminlerin konsolidasyon ve permeabilite özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada atık mermer tozu konsantrasyonları ile killi zeminlerin konsolidasyon ve permeabilite özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Deneylerde 6 farklı kil türü %5, %10 ve %15 oranlarındaki mermer tozu ile karıştırılarak 25 farklı zemin karışımı elde edilmiş ve bu zeminlerde konsolidasyon ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda mermer tozunun artması ile permeabilite katsayısı, sıkışma ve şişme indisinin azaldığı görülmüştür.

Altun (2011), Farklı türlerdeki suların killerin şişme davranışı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Araştırmada, kimyasal özelliği birbirinden farklı 8 farklı su türü ile Reşadiye kili kullanılmıştır. Çalışmada mineraloji, zemin yapısı, zeminin su emmesi, plastisite ve kuru birim hacim ağırlığı her deneyde aynı olan ve optimum su içeriğinde hazırlanan numuneler aynı oranlarda kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılarak kimyasal özellikleri birbirinden farklı olan sular ile şişmeye maruz bırakılmıştır. Tüm deneyler

7 kPa sürsaj yükü altında yapılmış olup saf su ile yapılan deneyden elde edilen veriler diğer sularla yapılan deneylerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Araştırmanın sonucunda farklı suların tuz oranının, Ec değerinin, kalsiyum, klor, sülfat ve bikarbonat değerinin artmasının şişmeyi azalttığını saptamıştır.

Kamiloğlu (2011), Bazı Trabzon zeminlerinin kompaksiyon deneylerindeki kompaksiyon özellikleri ile geçirimsizlik katsayıları arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Bu çalışmada, Trabzon ilinin farklı yerlerinden alınan beş farklı zemin örneği üzerinde, yıkamalı analiz, tane yoğunluk, ıslak analiz, likit limit ve plastik limit deneyleri ve standart kompaksiyon deneyinde artan su miktarı ve artan enerji ile sıkıştırılarak oluşturulmuş numuneler üzerinde düşen seviyeli permeabilite deneyleri yapılmıştır. Deneylerin sonucunda standart kompaksiyon deneylerinde, kuru yoğunluğun belli bir su içeriğine kadar artış gösterip sonra azaldığı, düşen seviyeli permeabilite deneylerinde ise permeabilite sonuçlarının su miktarı ve enerji miktarının artışı ile optimum su içeriğine kadar artış gösterip, optimum su içeriğinde minimuma düştüğü optimum su içeriğinden sonra ise su miktarının artması ile geçirimsizliğin arttığı görülmüştür.

Taşçı (2012), Killi zeminlerde permeabilite ve efektif gerilmenin kompaksiyon enerjisine bağlı olarak değişimini araştırmıştır. Bu çalışmada, Atatürk Barajı Kil Çekirdeğinde kullanılan Sam-Tekin Ariyet Ocağı'ndan çıkan zemin numuneleri üzerinde farklı kompaksiyon enerjileri ile sıkıştırılarak oluşturulmuş numunelerin permeabilite ve ön konsolidasyon basıncı araştırılmıştır. Sam-Tekin Ariyet Ocağından örselenmiş zemin numuneleri alınmış, killi zeminleri sınıflamak amacıyla kıvam, tane boyu ve özgül ağırlık deneyleri yapılmış, numuneler üzerinde 15-25-35-45-55 vuruşlarla farklı enerjili kompaksiyon deneyleri yapılmış, numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su içeriğinde permeabilite ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda kompaksiyon enerjisinin artışıyla; Kuru birim hacim ağırlığın arttığı, optimum su içeriğinin azaldığı, ön konsolidasyon basıncının arttığı ve zeminlerin permeabilitesinin azaldığı görülmüştür.

Taytak (2012), Biyopolimer katkıların killi zeminlerin kompaksiyon, permeabilite ve kayma dayanımına etkisini araştırmıştır. Bu araştırmada, farklı türlerde biyopolimer olan zantan gam, kitosan ve kitin konsantrasyonlarının %0,25-%0,50-%0,75-%1 oranlarında %40 kum, %40 kaolin ve %20 bentonit karışımlarıyla karıştırılması ile elde edilen numuneler üzerinde kompaksiyon, permeabilite ve kayma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneylerin sonucunda %1'lik kitosan konsantrasyonu katılarak yapılan deneyde kuru birim hacim ağırlık değerinin %2,7 arttığı görülmüştür. Zantan gam ve kitosan konsantrasyonu ile yapılan permeabilite deneylerinde konsantrasyon artışı ile permeabilite değerinde azalma olmuştur. Zantan gam ve kitosan biyopolimerinin %1'lik konsantrasyonu ile oluşturulmuş karışım üzerinde yapılan kayma dayanımı deneyinin sonucunda kayma dayanımı değerinin %10-15 oranında arttığı ve biyopolimer katkının içsel sürtünme açısını etkilemediği görülmüştür.

Keskin (2013), Zemin permeabilitesinin elektriksel analogi ile belirlenmesi ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, 4 farklı zemin numunesi ile 11 farklı su türü karıştırılarak çeşitli deney numuneleri elde edilmiştir ve bu numune karışımların Zaman Tanım Alanında Yansıma (TDR) yöntemi ile hacimsel su içeriği ve kuru yoğunluk değerleri hesaplanmış. Hacimsel su içeriği ile kuru yoğunluk değerlerinden matematiksel değerlendirmelerle permeabilite katsayısı hesaplanmıştır. Aynı numunelerle 5 farklı kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılmış sabit seviyeli permeabilite deneyleri deney süreleri TDR yöntemi ile bir tutarak yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, TDR yönteminin permeabilite katsayılarının tahmin edilmesi konusunda kullanılabilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Orakoğlu vd. (2013), zeminlerin permeabilite katsayısı ile konsolidasyon özellikleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Elazığ Hilal Kent'te açılan derin bir kazı alanından numuneler alınarak, alınan zeminlerin geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla kompaksiyon ile eşit enerjide sıkıştırılmış zemin numuneleri üzerinde kıvam limitleri, elek analizi, permeabilite deneyleri ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, zeminlerin permeabilite ve konsolidasyon değerleri arasında gerçekçi bir ilişki kurulmuştur.

Demirkıran (2014), Değişik sızıntı sularından geçirilmiş geosentetik kil örtülerin (GKÖ) hidrolik davranışının belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, dört çeşit Geosentetik Kil Örtünün deiyonize su, çeşme suyu ve sızıntı suları ile karıştırılarak permeabilite ve şişme deneyleri yapılmıştır. İki adet ön ıslatmasız, on bir adet ön ıslatmalı, deiyonize su ile en düşük hidrolik iletkenliğe sahip GKÖ ile üç adet uzun dönem permeabilite deneyleri yapılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, hidrolik iletkenlik ile serbest şişme, boşluk oranı ve katyon değişim kapasitesi arasında ilişki olduğu ve sızıntı suların ıslatmalı GKÖ'lerin hidrolik iletkenlikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca ön ıslatmasız GKÖ'lerin ön ıslatmalı GKÖ'lere göre hidrolik iletkenliğinin 3 kat artmış olduğu tespit edilmiştir.

Koç (2016), Bentonitik karışımların sızıntı suları ile Hidrolik iletkenlikleri üzerinde çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, farklı atık depolama alanlarından alınmış sızıntı sular ile belli oranlarda karıştırılmış zeolit ve bentonit karışımları ve kum ve bentonit karışımları üzerinde hidrolik iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Bu karışımların hidrolik iletkenlik değerleri karşılaştırılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda Zeolit ve Bentonit karışımının geçirimsizliğinin Kum ve Bentonit karışımına oranla daha düşük olduğu ve iyi bir filtreleme Performansına sahip olduğu görülmüştür.

Özok vd. (2017), hidrolik iletkenlik ile ince taneli zeminlerin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu araştırmada, 15 farklı zemin numunesi üzerinde düşen seviyeli permeabilite deneyleri, tane boyu analizleri, atterberg limitleri deneyleri ve tane boyu dağılım indeks deneyleri yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda, çakıl tane boyu oranı %10'dan küçük olan numunelerin permeabilite katsayıları ile büyük olan numunelerin permeabilite katsayıları ve indeksleri arasında istatistiksel bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Özdemir (2018), Zeminlerin permeabilite özelliklerinin konsolidasyon ve düşen seviyeli permeabilite deneyleri ile belirlenmesi üzerine çalışma yapmış. Bu çalışmada, 10 farklı ince taneli zemin türü üzerinde düşen seviyeli permeabilite deneyleri ve konsolidasyon deneyleri yapılmış ve deney sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu araştırmanın sonucu olarak en uygun karşılaştırma 1600 kPa ile yapılan konsolidasyon yüklemesinden bulunan permeabilite katsayısı ile düşen seviyeli permeabilite deneyi

sonucunda bulunana permeabilite katsayısında görülmüştür. Fakat bu deneyler sonucunda elde edilen permeabilite katsayıları ile deney numunelerinin plastisite indisleri ve dane çapları arasında bir bağlantı bulunamamıştır.

Sarı vd. (2018), aynı noktadan alınmış bozulmuş ve bozulmamış zemin örneklerinde hidrolik iletkenlik ilişkisini araştırmıştır. Bu araştırmada, Tekirdağ ili çevresinde 15 farklı noktadan ve her noktada iki farklı derinlikten örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmış, numuneler üzerinde 2-8-24-28 saatlik hidrolik iletkenlik deneyleri yapılmış ve her nokta birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deneylerin sonucunda, farklı derinliklerde bozulmuş ve bozulmamış zeminlerin permeabilite katsayısı arasında bir ilişki kurulamamış ve korelasyon sağlanamamıştır.

Şahinci (2018), Atapuljitle geliştirilmiş geosentetik kil örtülerin hidrolik iletkenlik ve şişme davranışlarının tuz çözeltileri ile belirlenmesini incelemiştir. Bu çalışmada, Potasyum Klorür, Kalsiyum Klorür, Magnezyum Klorür ve Bakır Klorür çözeltileri ile ağırlıkça %0, %30, %50, %70 atapuljit içeren geosentetik kil örtü numuneleri arasında şişme deneyleri ve hidrolik iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Tuz çözeltileri ile %50 atapuljitli geosentetik kil örtü ile yapılan deneylerin sonucunda hidrolik iletkenliğin azaldığı fakat %70 atapuljitli geosentetik kil örtü ile yapılan hidrolik iletkenlik deneylerinin sonucunda iletkenliğin arttığı görülmüştür. Ayrıca tuz çözeltisi ile yapılan deneylerde çözelti tipinden ve konsantrasyondan bağımsız olarak su ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre çözelti iletimliliği, su iletimliliğinden 3 kat fazla olduğu görülmüştür. Sonuç olarak atapuljit miktarının değişimi ile iletimlilik arasında tam bir ilişki kurulamamıştır.

Alpaydın (2019), Bor katkıların kum-bentonit karışımlarının yüksek ısılar varlığında permeabilite ve kayma dayanımı davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılması üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kolemanit, tinkal, ve üleksit bor mineralleri ile kütlece %10-20 bentonit içeren bentonit kum karışımlarının karıştırılmasıyla oluşan deney numuneleri üzerinde kesme kutusu ve hidrolik iletkenlik deneyleri oda sıcaklığında ve 80 °C yapılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, %10 bentonit içeriğinde tinkal bor mineralinin permeabilite üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı ancak diğer bor minerallerinin azda olsa permeabiliteyi etkilediği ve bor minerallerinin tümü ile

yapılan kesme kutusu deneylerinde sıcaklık arttıkça kayma direncinin arttığı görülmüştür.

Arslan (2019), traverten tozu ile stabilize edilmiş bir zeminin mukavemet özelliklerindeki değişimler ile hidrolik geçirgenliğin laboratuvar boyutlarında belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Karabük İli Eskipazar İlçesi traverten ocaklarından alınan traverten tozu tokat bölgesinden alınan yüksek şişme potansiyeline sahip bentonit kili ile traverten miktarı bentonit ağırlığının %10, %20, %30, %40 'ları olacak şekilde karıştırılarak numuneler oluşturulmuş ve bu numuneler 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 günlük kürlerde bekletilerek tüm kür sürelerinde ve karışımlarında numunelerin serbest basınç, kesme kutusu, şişme basıncı ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, bentonit kiline traverten tozu katılması zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmiş, şişme potansiyelini ve geçirimsizlik katsayısını düşürmüştür.

Bağrıaçık vd. (2019), atık boru tozunun kum zeminlerin permeabilite değerleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada atık boru tozu ile zemin iyileştirmek için, boru üretim tesislerinden alınan boru tozları ile kum zeminler arasında atık boru tozu miktarı kum zemin numunesinin kütlelerinin %2, %4, %6, %8, %10, %12, %14, %16, %18, %20, %22 olacak şekilde numune karışımı hazırlanmış, numuneler üzerinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Deneylerin sonucunda, atık boru tozu kullanılan zeminlerin permeabilite katsayısı atık boru kullanılmayan zeminlerin permeabilite katsayılarına göre 19 katlık bir azalma olmuştur.

Taşkesti (2019), birim alana gelen bentonit kütle miktarının yapay hazırlanmış geosentetik kil örtülerin (YGKÖ) hidrasyon ve hidrolik iletkenliklerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, yapay olarak hazırlanan farklı bentonit kütle basıncı polimer modifiyeli (PGKÖ) ve sodyumca zengin geosentetik kil örtüler sıkıştırılarak 7 ve 30 gün hidrate edilmiş ve hidrolik iletkenlik testleri yapılmıştır. Deneyler, ilk test grubunda yüksek hidrolik eğim altında ve ikinci test grubunda ise düşük hidrolik eğimden başlayarak aşamalı olarak arttırılarak yapılmıştır. Deneylerin sonucunda, yüksek hidrolik eğim altındaki polimerli geosentetik kil örtüler, daha düşük hidrolik iletkenlik göstermiş, yüksek basınç uygulanmış numunelerde ise hidrolik iletkenlik

yükselmiştir. Rodemin boya testinin sonucunda geotekstil kil örtülerin üzerinde iplik demetçiklerinin yoğun olduğu bölgelerde permeabilite değerinin yüksek olduğu görülmüş ve son olarak düşük hidrolik eğimle başlatılan deneylerde hidrolik eğim zamanla arttırılsa bile hidrolik iletkenlikte bir yükselme olmamıştır.

Aysu (2020), yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu araştırmada, çalışma uzunluğu 12 mm olan cam lifi katkısı ile yüksek plastisiteli kil zeminlerle kil ağırlığının %0.25-%0.50-%0.75-%1-%1.25-%1.50 oranlarında olacak şekilde optimum su içeriğinde karıştırılmasıyla elde edilen numuneler üzerinde mukavemet, konsolidasyon, ve permeabilite deneyleri yapılmış ve numunelerin fiziksel özellikleri hesaplanmıştır. Suyu doygun hale getirilen katkılı ve katkısız numuneler üzerinde taşıma gücü, konsolidasyon ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak, %0,5 oranında lif eklenmesi zeminin sıkılaşıma indisi değerini azaltmış, daha fazla olması halinde ise sıkışma ve kabarma indisi değerlerini arttırmış; cam lifinin %0,75 oranına kadar eklenmesi halinde geçirimsizlik katsayısı azalmış, daha fazlasında ise geçirimsizliğin arttığı görülmüş; lif ilavesinin mukavemeti arttırdığı görülmüştür.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METHOD

Bu çalışmanın amacı, su kimyasının kil-kum karışımı zeminlerin geçirimsizliklerine olan etkisini deneysel olarak ortaya koyarak suların kimyasal özelliklerinin, yoğunluklarının ve viskozitelerinin permeabilite üzerine etkisini araştırmaktır. Çalışma kapsamında su özelliklerinin zemin permabilitesine etkisinin belirlenmesi birincil amaç olduğu için tüm özelliklerin her deney setinde aynı olması oldukça önemlidir. Bu nedenle deneylerin tamamı aynı özelliklerde hazırlanan zemin numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, deneylerde aynı fiziksel ve kimyasal özelliğe sahip %30 silis kumu ile %70 bentonit kili ve %30 bentonit kili ile %70 silis kumu karışımları numune olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan killer ticari ismi Bentonit olan ve Çankırı Bentonit Sanayi A.Ş.'den temin edilen kil ve Yüksel Kaya Makina A.Ş.' temin edilen silis kumu kullanılmıştır.

2.1. MATERYAL

2.1.1. Deneylerde Kullanılan Sular ve Özellikleri

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde Şekil 2.1'de gösterildiği üzere 10 farklı lokasyondan alınan sular kullanılmıştır. Çalışmada permabilite deneyleri; Akdeniz Suyu, Karadeniz Suyu, Ege Denizi Suyu, Marmara Denizi Suyu olmak üzere 4 farklı denizden, Araç Çayı Suyu'ndan, Akgöl Suyu'ndan, Kar Suyu'ndan, Kaplıca Suyu'ndan, Distile Su'dan ve Musluk Suyu'ndan olmak üzere 10 farklı su kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 2.1). Suların belirlenmesinde;

- Suların elektriksel iletkenliği,
- Suların tuzluluk oranı,
- Suların pH değerleri,

- Suların bulunduğu iklim ve etkileşim halinde bulunduğu bitki örtüsü,
- Suların mineralojik yapısı ve kimyasal içeriği
- Suların yoğunluğu, etkili olmuştur.

Distile su laboratuvar ortamında Elektro De İyonizasyon (EDİ) cihazı ile üretilmiştir. Üretiminde hiçbir reçine kullanılmamıştır.

Çizelge 2.1. Deney kapsamında kullanılan suların kökenleri, kısaltmaları ve lokasyonları.

	Kısaltma	Su Adı	Köken	Lokasyon- Enlem/Boylam
1	KD	Karadeniz	Deniz	41.948543/34.581252
2	AD	Akdeniz	Deniz	36.806014/34.650061
3	ED	Ege Denizi	Deniz	39.320734/26.691717
4	MD	Marmara Denizi	Deniz	40.736349/29.939998
5	AC	Araç Çayı	Tatlı su	41.214085/32.658012
6	SS	Distile Su	Tatlı su	41.205092/32.656021
7	AS	Akgöl Suyu	Tatlı su	41.700049/34.595896
8	KS	Kaplıca Suyu	Tatlı su	40.913956/32.601994
9	MS	Musluk Suyu	Tatlı su	41.206017/32.659188
10	YKS	Kar Suyu	Tatlı su	41.205770/32.658894

Akdeniz: AD, Ege Denizi: ED, Marmara Denizi: MD, Karadeniz: KD, Araç Çayı: AC, Saf Su: SS, Akgöl Suyu: AS, Kaplıca Suyu: KS, Musluk Suyu: MS, Kar Suyu: YKS.

Karadeniz suyu, Sinop İlinin Ayancık ilçesinde merkeze 5 km uzaklıkta bulunan Ayancık Köyü Limanından; Ege Denizi Suyu, İzmir İlinin Ayvalık ilçesinde bulunan Sarımsaklı Plajının 500 m açıklarından; Akdeniz Suyu, Mersin İlinin Limanından; Marmara Denizi Suyu, Kocaeli (İzmit) Körfezinden; Araç Çayı Suyu, Karabük İli Merkezinde bulunan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsüne 1 km mesafede bulunan Bostanbükü Köprüsünün altından; Saf Su, Karabük İli Merkezinde bulunan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsündeki Orman Fakültesi

Laboratuvarı'ndan; Musluk Suyu, Karabük İli Merkezinde bulunan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsündeki Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı'ndan; Kaplıca Suyu, Karabük İli Eskipazar İlçesi İmanlar Köyündeki fay kırığı üzerindeki sıcak traverten kaynağından; Kar Suyu, Karabük İli Merkezinde bulunan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsündeki Mühendislik Fakültesi bahçesinden ezilmemiş olarak alınıp doğal koşullarda eritilerek; Akgöl Suyu, Sinop İlinin Ayancık İlçesine 45 km mesafedeki Çangal Dağının Zirvesinde bulunan Akgöl'den alınmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Su numunelerinin alındığı lokasyonları gösteren harita.

Deneyleerde kullanacak sular alınırken numune kaplarının temiz olmasına, suların berrak ve temiz olmasına dikkat edilmiştir. Her bir örneklem sırasında su numunelerinin EC, pH ve tuzluluk değerleri numunelerin alındığı yerlerde Multiparametre ölçer YSI-256 cihazı ile ölçülmüştür (Şeki 2.2). Su numuneleri örnek kablarında muhafaza edilerek (Şekil 2.3) bekletilmeden Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Laboratuvarlarına gönderilmiştir.



Şekil 2.2. Su numunelerinin alındığı lokasyonlarda EC ve pH ölçümü.



Şekil 2.3. Su numunelerinin saklama kablari.

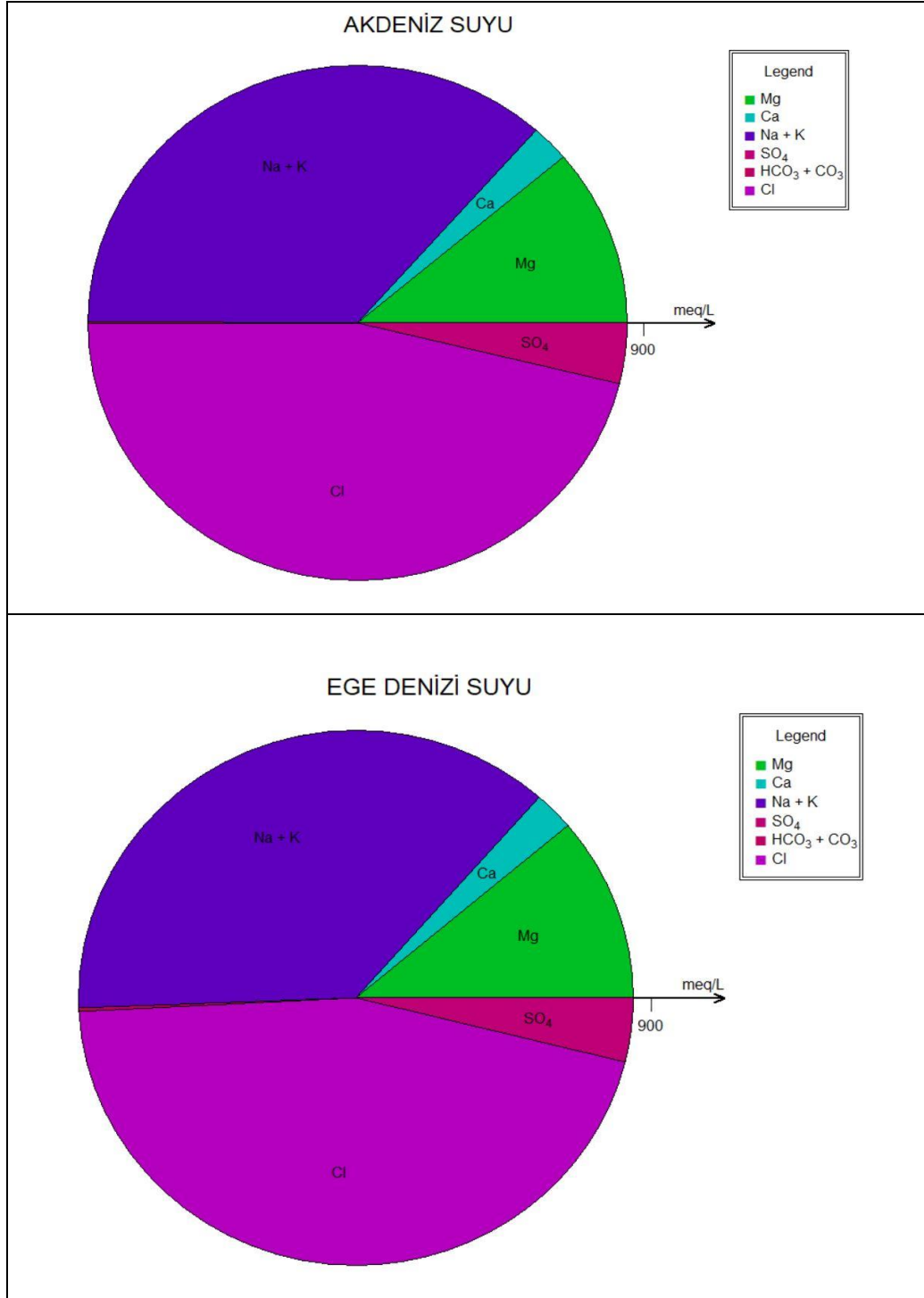
2.1.1.1. Deneylerde Kullanılan Suların Kimyasal Özellikleri

Araştırma kapsamında kullanılan 10 farklı türdeki suların su kimyası analiz sonuçları Çizelge 2.2’de verilmiştir. Suların kimyasal analizleri Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Su Kimyası Laboratuvarında yapılmıştır. Sular üzerinde yapılan analizlerin sonuçlarına göre, tuzluluk oranının en yüksek değere %40,34 ile Akdeniz suyunda görülmektedir. Diğer deniz sularında tuzluluk oranları; Ege Denizi Suyunda %38,27, Karadeniz Suyunda %19,05 ve Marmara Denizi Suyunda %16,31 değerlerini almıştır. Diğer sularda tuzluluk oranında %0,04 ile %2,75 arasında değerler almıştır (Çizelge 2.2). Yapılan analizlerin sonuçlarına göre; Suların pH değerleri Kaplıca Suyu (6,56) ile Kar Suyu (6,93) hariç bazik karakterlidir. Suların pH değerleri genel olarak birbirine yakındır. Suların EC değerleri; deniz kökenli sularda diğer sulara göre daha fazladır ve en yüksek EC değerine 54794 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile Akdeniz Suyu sahiptir ve deniz sularında sırasıyla 54205 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile Ege Denizi Suyu, 28856 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile Karadeniz Suyu ve 25081 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile Marmara Denizi Suyu almıştır. Diğer sularda ise değerler 4385 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değerler almaktadır. EC değeri en küçük olan su ise 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile Saf Su ‘dur (Çizelge 2.2).

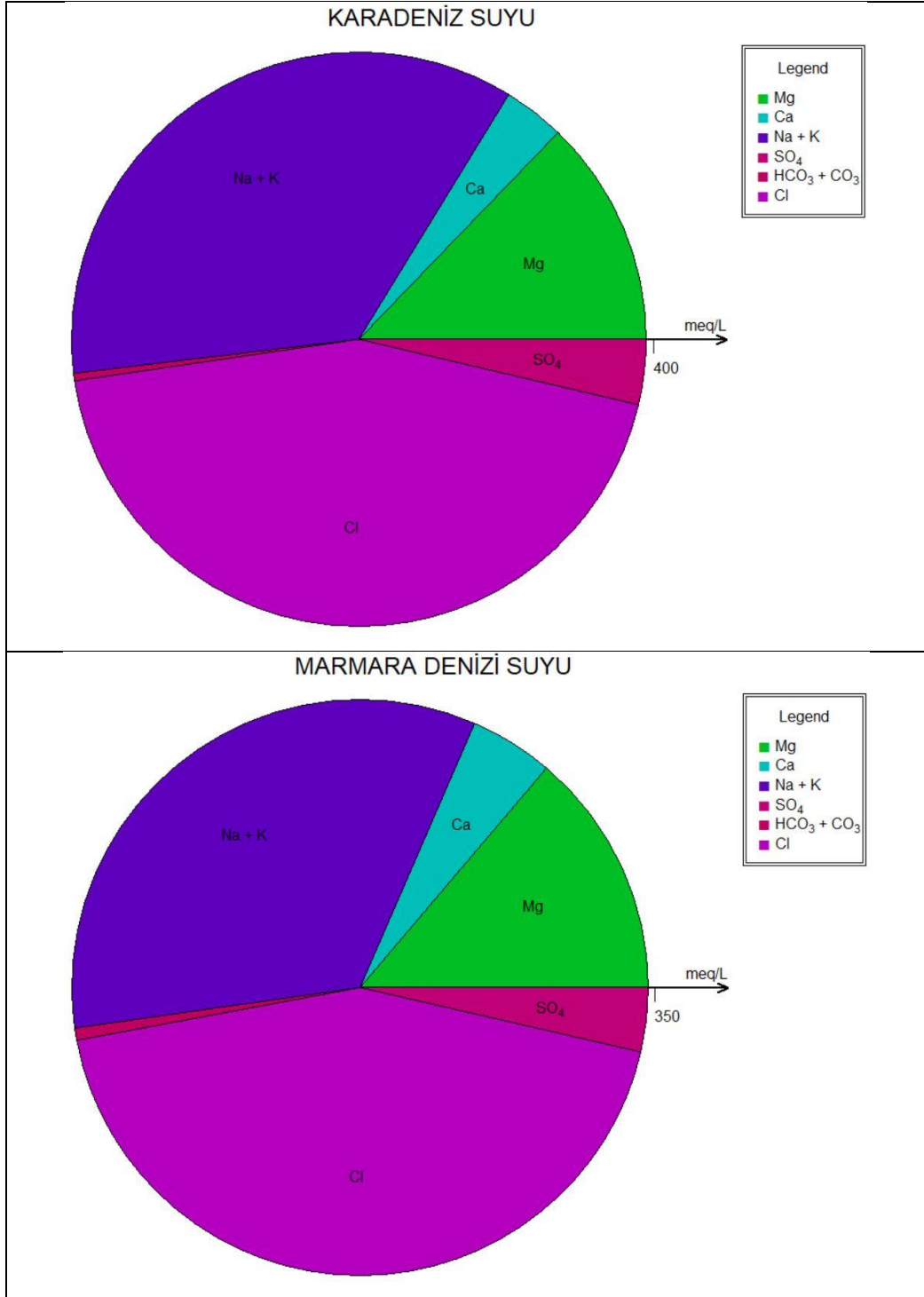
Suların iyon derişimine bakıldığında; Klorür, sülfat ve magnezyum bakımından en yüksek iyon derişimi Akdeniz suyunda görülmüştür (Şekil 2.4). Bu değerlere en yakın iyon derişimleri ise sırasıyla Ege Denizi (Şekil 2.4), Karadeniz (Şekil 2.5) ve Marmara Denizi (Şekil 2.5) Suları’nda görülmüştür. En düşük iyon derişimine ise Distile Su sahiptir (Şekil 2.7). Kalsiyum, sodyum ve potasyum bakımından en yüksek iyon derişimi Ege Denizi Suyu’ndadır. Bu değerlere en yakın iyon derişimleri ise Akdeniz Karadeniz ve Marmara Denizi Suları’nda görülmüştür. En düşük iyon derişimini ise Distile Su içerir. Karbonat bakımından en yüksek değer 51,99 meq/lit ile kaplıca suyudur (Şekil 2.7). Diğer sularda karbonat derişimi ise 5,294 meq/lit ile 0,3299 meq/lit arasında değerler alır. En düşük derişim ise 0,3299 meq/lit değeri ile Distile Su’dur (Çizelge 2.2) Distile Su ve Kar suyunun EC değerleri, Karbonat miktarı ve tüm iyon derişimleri diğer 8 farklı su türünden çok düşüktür (Çizelge 2.2). En düşük değerlere Distile Su sahiptir. Akgöl Suyu (Şekil 2.6), Araç Çayı Suyu (Şekil 2.6) ve Musluk Suyu’nda (Şekil 2.8) ise iyon derişimleri diğer sulara nazaran ortalama düzeydedir.

Çizelge 2.2. Suların kimyasal analiz sonuçları.

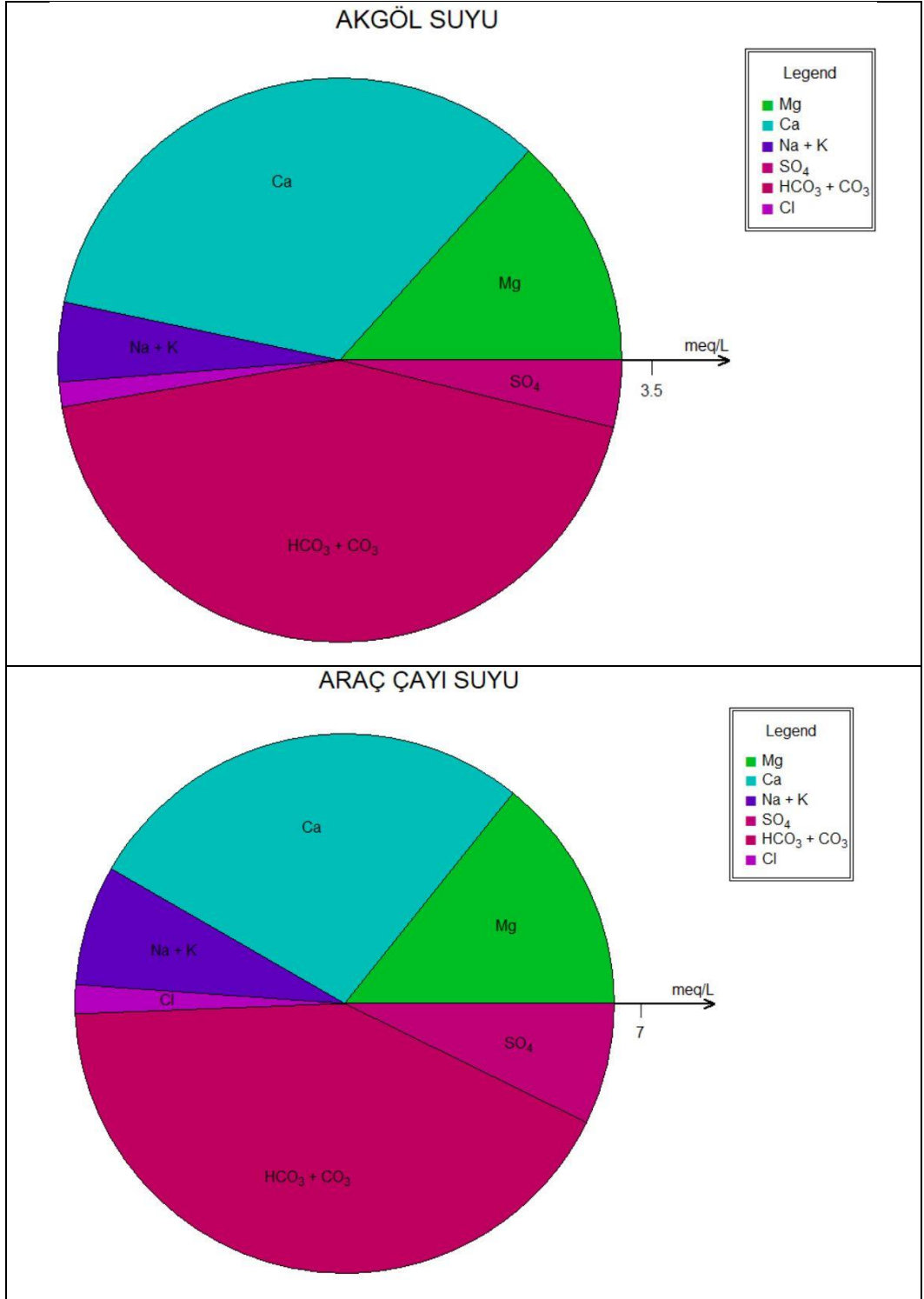
Örnek Adı	pH	Tuzluluk (ppt)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Na (meq/lt)	K (meq/lt)	Ca (meq/lt)	Mg (meq/lt)	HCO ₃ (meq/lt)	Cl (meq/lt)	SO ₄ (meq/lt)
Distile Su	7,1	0,08	44	0,003045	0,0002558	0,3518	0,01563	0,3299	0,00141	0,001249
Kar Suyu	6,9	0,04	71	0,0796	0,01714	0,6243	0,08722	0,6198	0,05077	0,1026
Ege Denizi Suyu	8	38,27	54205	609,6	11,26	39,73	186,4	2,999	758,8	64,26
Akdeniz Suyu	8	40,34	54794	609,1	10,37	39,58	188,8	2,699	783,1	64,61
Marmara Denizi Suyu	8,3	16,31	25081	218	4,23	30,87	90,41	4,199	285,6	23,62
Karadeniz Suyu	7,3	19,05	28856	263,4	4,816	25,91	96,1	3,399	331,2	27,42
Akgöl Suyu	8,2	0,15	299	0,254	0,02583	2,068	0,8221	2,699	0,0897	0,2394
Musluk Suyu	7,5	0,41	422	0,2901	0,01842	3,835	1,211	4,599	0,1314	0,3292
Kaplıca Suyu	6,6	2,75	4385	30,9	2,393	15,98	14,24	51,99	5,966	0,3269
Araç Çayı Suyu	8,2	0,35	623	0,8673	0,03504	3,429	1,783	5,294	0,2175	0,9073



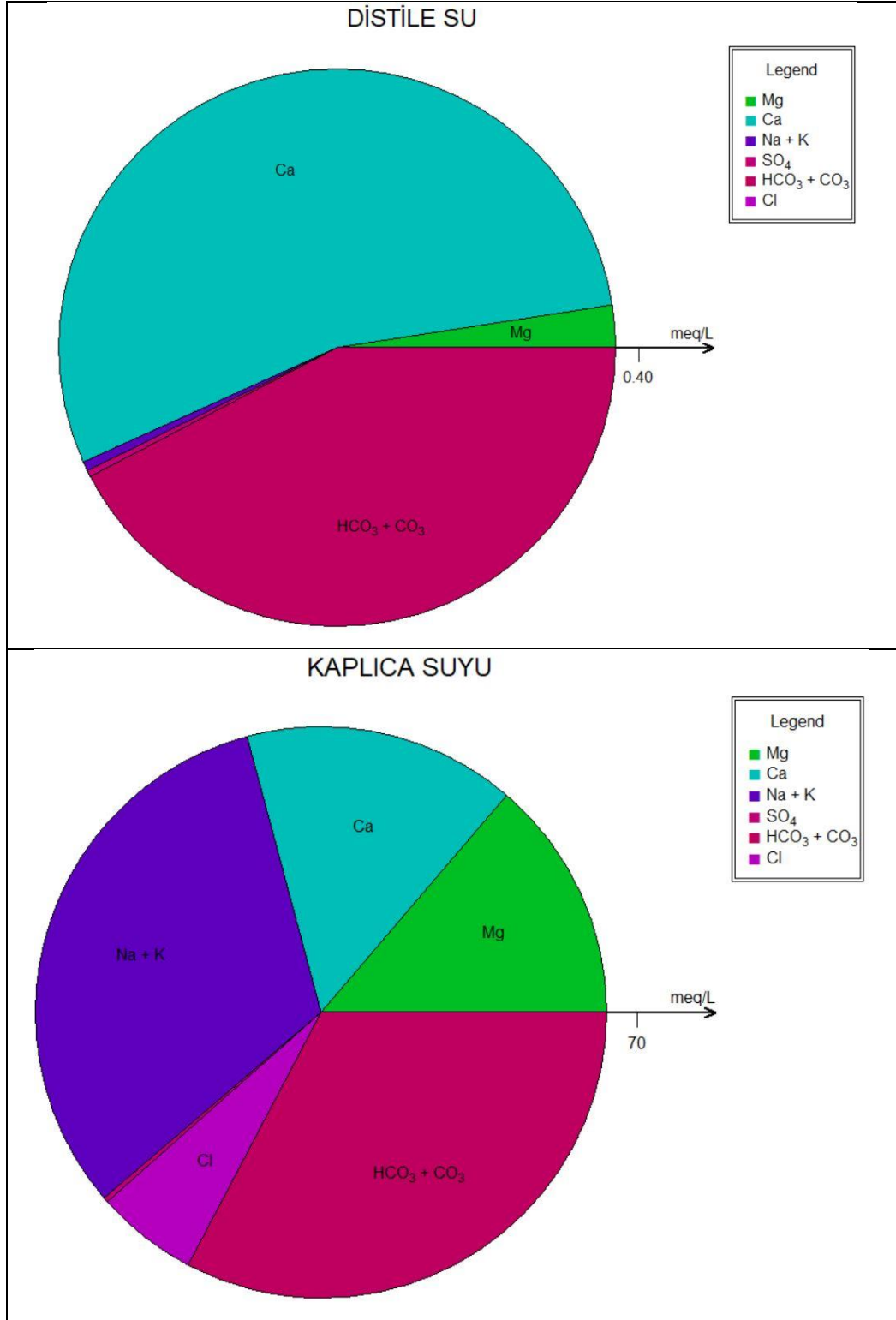
Şekil 2.4. Akdeniz Suyu ve Ege Denizi Suyunun kimyasal analiz sonuçları.



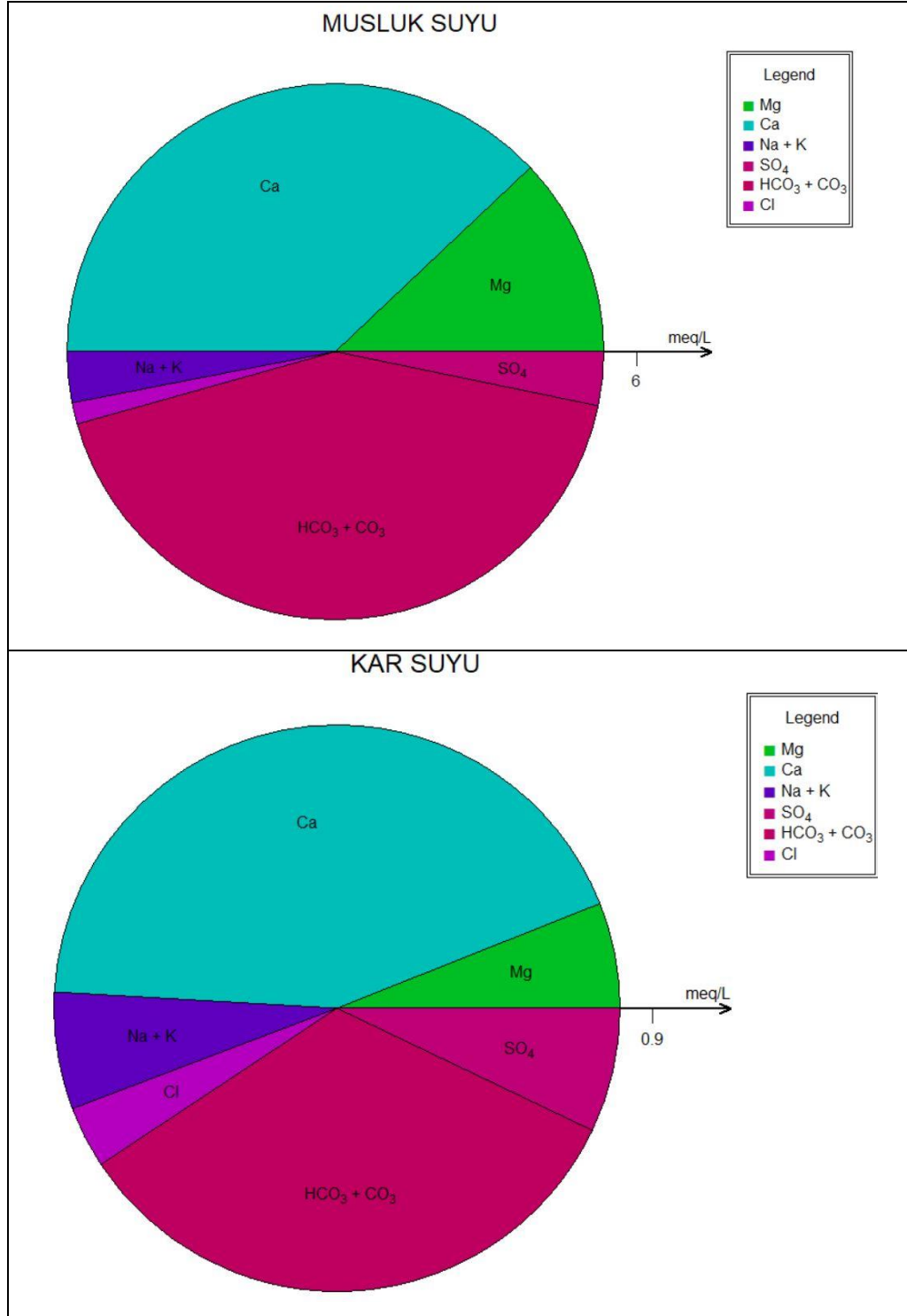
Şekil 2.5. Karadeniz Suyu ve Marmara Denizi Suyunun kimyasal analiz sonuçları.



Şekil 2.6. Akgöl Suyu ve Araç Çayı Suyunun kimyasal analiz sonuçları.



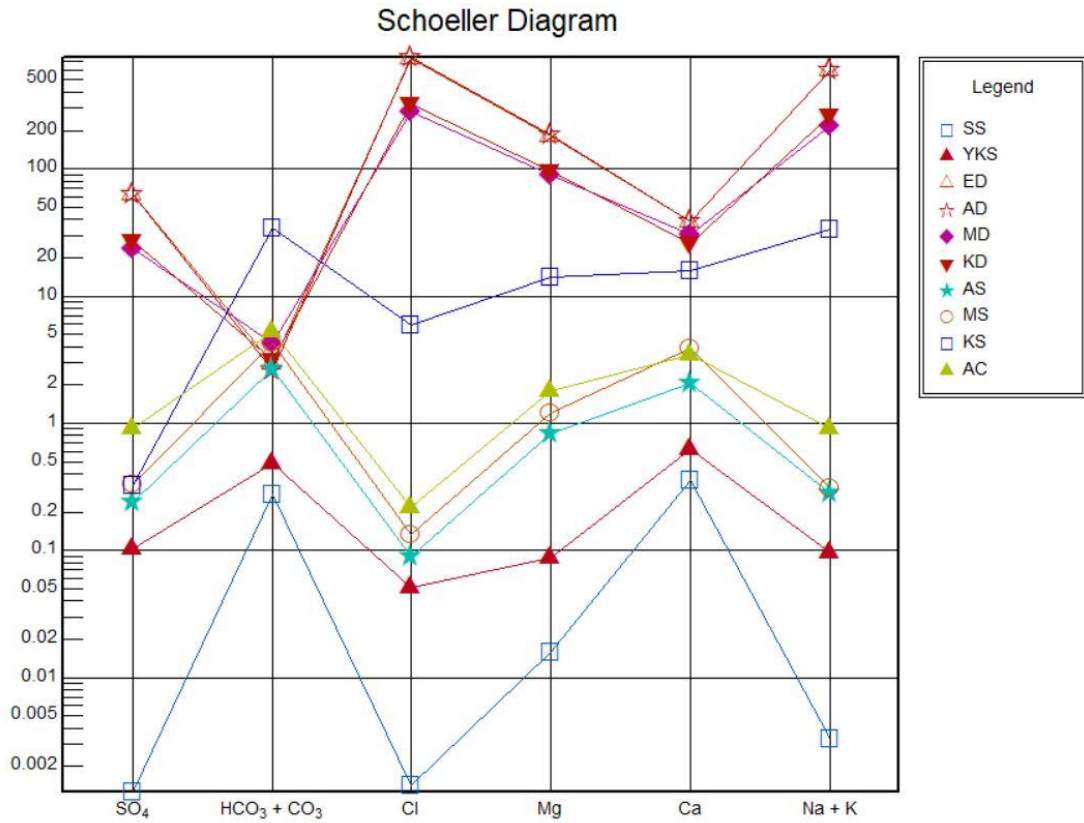
Şekil 2.7. Kaplıca Suyu ve Distile Suyun kimyasal analiz sonuçları.



Şekil 2.8. Musluk Suyu ve Kaplıca Suyun kimyasal analiz sonuçları.

Su numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarını göstermek amacıyla birden fazla su türünün birlikte değerlendirilmesine olanak veren, suların kimyasal analiz sonuçlarını bir arada değerlendirebilen RockWare Aq-AQ Version 1.1.1 [1.1.5.1] (2006) yazılımı

kullanılarak hazırlanan yarı logaritmik Schoeller diyagramı Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu diyagram üzerinden yapılan değerlendirmelerde birbirlerine yakın ve paralel çizgilere ait olan su türlerinin köken olarak benzer olduğu kabul edilir. Şekil 2.9'a göre 4 deniz suyu kendi aralarında; Akgöl Suyu, Musluk Suyu, Araç Çayı Suyu, Distile Su ve Kar Suyu kendi aralarında benzer özellik göstermekle birlikte; Kaplıca Suyu diğerlerinden farklı özellikler göstermektedir.



Şekil 2.9. Su numunelerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.

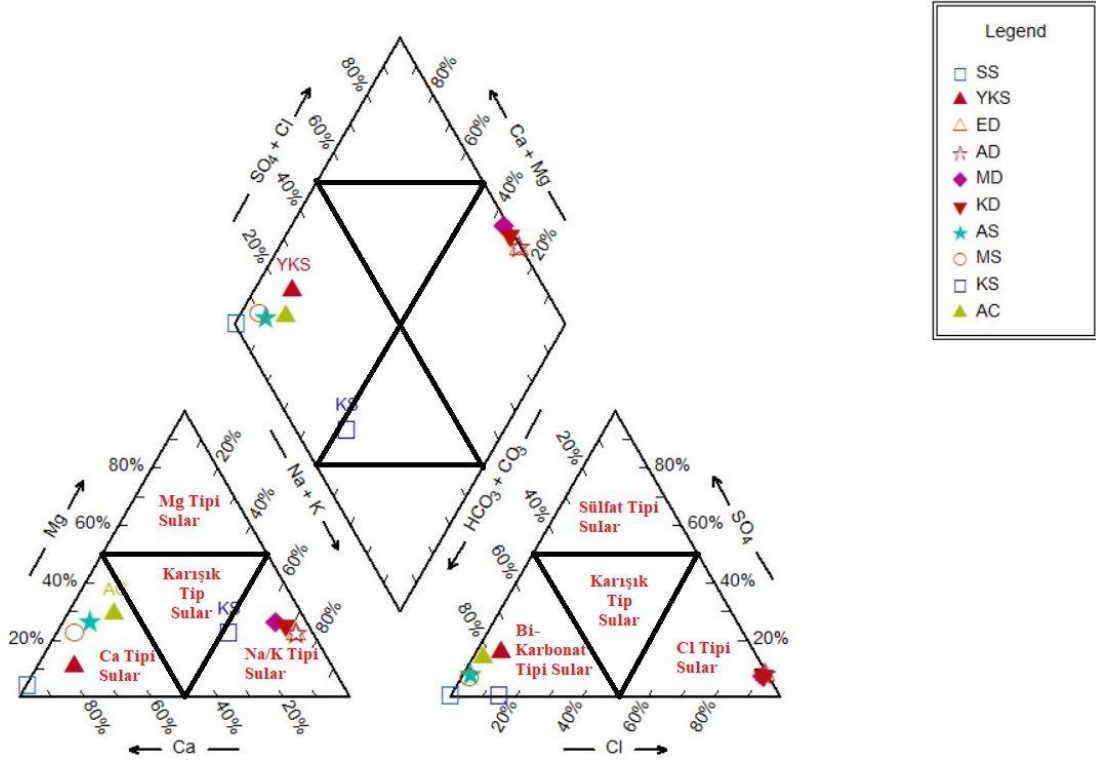
Çizelge 2.3'e göre verilmiş olan iyon sıralamalarına bakıldığında; Akdeniz Suyu, Ege Denizi Suyu, Karadeniz Suyunda ve Marmara Denizi Suyunda baskın iyonlar Na⁺, K⁺ ve Cl⁻ iyonları; Distile Su, Kar Suyu, Musluk Suyu, Akgöl Suyu ve Araç Çayı Suyu'nda baskın iyonlar Ca²⁺, CO₃⁻ ve HCO₃⁻ iyonları ve Kaplıca Suyu'ndaki baskın iyonlar ise Na⁺, K⁺, CO₃⁻ ve HCO₃⁻ iyonlarıdır.

Çizelge 2.3. Yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre iyonların sıralaması.

Numune	Baskın İyonlar	Katyonlar	Anyonlar
AD	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Ca}^{+2})$	$r(\text{Cl}^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-)$
ED	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Ca}^{+2})$	$r(\text{Cl}^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-)$
MD	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Ca}^{+2})$	$r(\text{Cl}^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-)$
KD	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Ca}^{+2})$	$r(\text{Cl}^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-)$
SS	$\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$	$r(\text{Ca}^{+2}) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	$r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > r(\text{Cl}^-) > r(\text{SO}_4^{-2})$
YKS	$\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$	$r(\text{Ca}^{+2}) > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r(\text{Mg}^{+2})$	$r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{Cl}^-)$
MS	$\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$	$r(\text{Ca}^{+2}) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	$r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{Cl}^-)$
AS	$\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$	$r(\text{Ca}^{+2}) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	$r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{Cl}^-)$
AC	$\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$	$r(\text{Ca}^{+2}) > r(\text{Mg}^{+2}) > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	$r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > r(\text{SO}_4^{-2}) > r(\text{Cl}^-)$
KS	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r(\text{Ca}^{+2}) > r(\text{Mg}^{+2})$	$r(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) > r(\text{Cl}^-) > r(\text{SO}_4^{-2})$

Schoeller diyagramı ile gerçekleştirilen değerlendirmelerden başka RockWare Aq-AQ Version 1.1.1 [1.1.5.1] (2006) yazılımı kullanılarak hazırlanan Piper Diyagramı da oluşturulmuştur. Piper diyagramında su ve su karışımlarının kimyasal özelliklerinin analiz sonuçları bir arada ortaya konulabilir. Şekil 2.9’da verilen Piper diyagramında suların türlerinin yorumlanması yapılırken diyagramlar eşkenar dörtgenlere ve üçgenlere ayrılarak su türlerinin yorumlanması yapılmıştır. Şekil 2.10 incelendiğinde; Akdeniz Suyu, Ege Denizi Suyu, Karadeniz Suyu ve Marmara Denizi Suyu Sodyum, Potasyum ve Klorür tipi; Kaplıca Suyu Sodyum, Potasyum ve Bikarbonat tipi; Kar Suyu, Musluk Suyu, Distile Su, Akgöl Suyu ve Araç Çayı Suyu Kalsiyum ve Bikarbonat tipi sudur.

Piper Diagram



Şekil 2.10. Su Numunelerinin Piper diyagramı Üzerindeki dağılımı.

2.1.1.2. Suların Yoğunluğunun Belirlenmesi

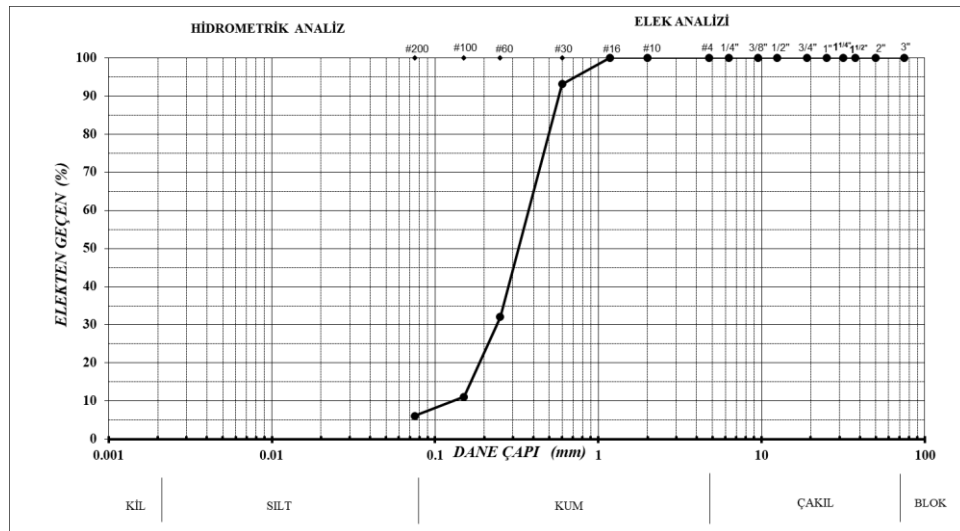
Yoğunluk, belirli basınç ve sıcaklık altında birim hacimdeki madde miktarıdır. Birimi kg/m^3 yada gr/cm^3 'tür. Bu araştırmada deneylerde kullanılan 10 farklı suyun yoğunlukları laboratuvar ortamında Civalı Hidrometre (H151-Dansimetre) yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm yapılırken; yoğunluk ölçümü yapılan su numunesi, temiz silindirik bir cam kaba konulmuş, hidrometre aleti su dolu cam kabın içerisine civa altta kalacak şekilde yavaşça bırakılmış ve hidrometre aleti su içerisinde sabit kaldığında su seviyesinin denk geldiği nokta yardımıyla yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Bu araştırmada kullanılan suların ölçülen yoğunluk değerleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Deneilerde kullanılan suların yoğunluk değerleri.

Sular	AD	ED	MD	KD	AC	SS	AS	KS	MS	YKS
Yoğunluk (g/cm ³)	1,028	1,03	1,013	1,0135	1,001	1,001	1,001	1,004	1,001	1

2.1.2. Deneilerde Kullanılan Zemin Karışımlarının ve Özellikleri

Bu araştırmada kullanılan deney numune karışımları oluşturulurken bentonit kili ve silis kumu kullanılmıştır. Numuneler %30 bentonit kili ile %70 silis kumu ve %30 silis kumu ile %70 bentonit kili kullanılarak oluşturulmuştur. Araştırmada kullanılan silis kumu (SiO₂) Yüksel Kaya Makina A.Ş.'den temin edilmiştir. Silis kumu kuvarşça zengin magmatik ve metamorfik kayaların ayrışması sonucu ve silis içeriği yüksek olan kayaların faylanma ve metamorfizma etkisiyle yerinde ayrışarak oluşabilir (MTA, 2021). Deneilerde kullanılan silis kumunun tane çapları 1 mm ile 0.1 mm arasındadır (Şekil 2.11). Silis kumları cam ve döküm, inşaat, metalurji, deterjan, boya, plastic, lastik, seramik ve petrol sanayilerinde kullanılmaktadır. Silis kumu rezervleri yeryüzünde çok fazla bulunmasına rağmen üretim ve tüketim sektöründe az miktarda kullanılır. Ülkemizde silis kumu yatakları İstanbul, Tekirdağ, Zonguldak ve Sinopta bulunmaktadır (MTA, 2021).



Şekil 2.11. Silis kumu tane boyu dağılım eğrisi.

Araştırmada kullanılan bentonit kili Çankırı Bentonit Sanayisinden temin edilmiştir. Çankırı bölgesinde üretilen bentonit kilinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Ham bentonit özellikleri.

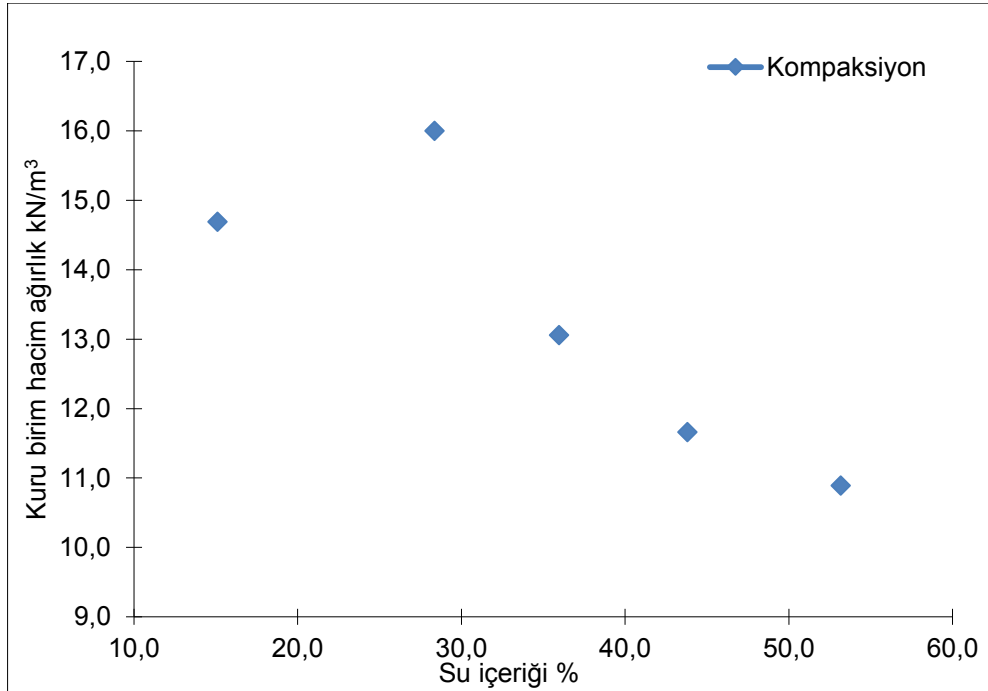
TANIM	BİRİM	SONUÇ
Nem Miktarı	%	12
Şişme Miktarı	ml	18
Metilen Mavisi	ml	25
Yanma Kaybı	%	8
Sinter Miktarı	°C	1100
Kuru Mukavemet	N/cm ²	25
Yaş Çekme Mukavemeti	N/cm ²	0,30
PH	-	9-10
Jelleşme Miktarı	ml/g	12
Çökme Miktarı	%	5
Montmorillonit Miktarı	mg MB/g	75
150 µm Elek Üstü	%	2,5
75 µm Elek Üstü	%	15
SiO ₂	%	62,01
Al ₂ O ₃	%	15,21
Fe ₂ O ₃	%	6,32
CaO + MgO	%	3,47
K ₂ O	%	1,13
Na ₂ O	%	1,85

Bentonit kilinin kristal yapısı küçük ve plastisite indisi yüksektir. Bentonit kili yüksek miktarda montmorlonit minerali içerir. Bentonit kilinin içeriğindeki montmorlonit mineralinin yükselmesi, katyon değişimini artırır, şişme potansiyelini artırır ve hidrolik iletkenliği azaltır (Arslan, 2018).

2.1.2.1. Kompaksiyon Özellikleri

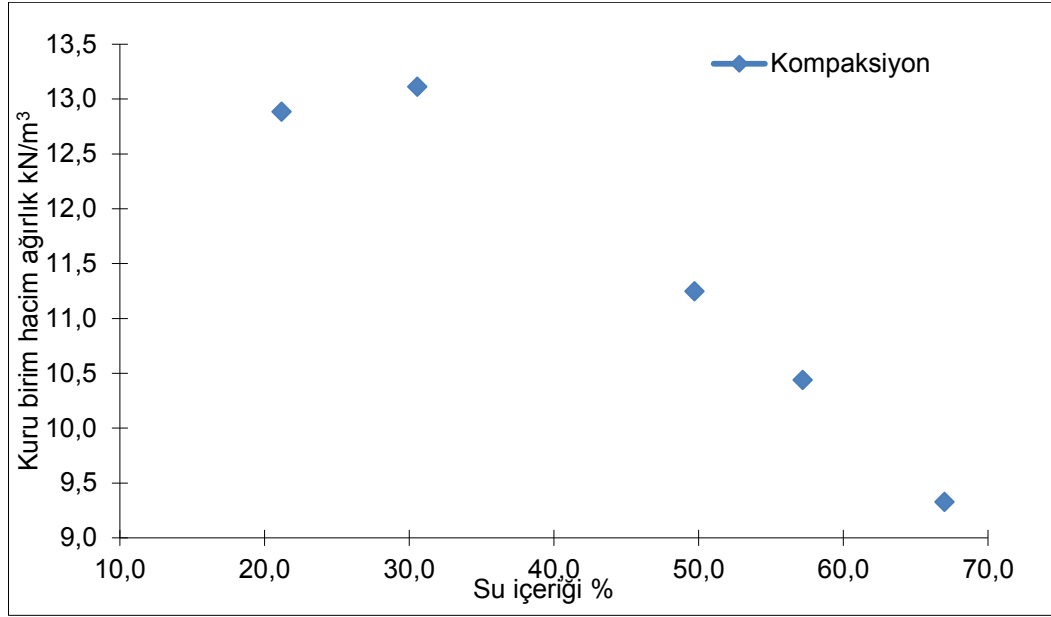
Farklı su türleri ile yapılan permeabilite deneylerinde kullanılan numune karışımlarının her deney sınıfı için aynı kompaksiyon özelliğine sahip olması yapılan tüm deneylerin sonuçlarının doğru değerlendirilmesi açısından önemli ve gereklidir. Bu araştırma kapsamında deneylerde kullanılan numune karışımları ASTM D-698 (2006) Standartlarına uygun olarak Standart Proktor Deneyi ile eş enerjili olarak sıkıştırılarak yapılmıştır.

Çalışma kapsamında hazırlanan %70 Silis kumu ile %30 bentonit kili numune karışımının saf su ile karıştırılarak elde edilen numunelerde üzerinde yapılan kompaksiyon deneyi sonucuna göre kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_k) 15,90 kN/m³ Ve bu değere bağlı bulunan optimum su içeriği (w_{opt}) ise %27 hesaplanmış ve Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Çalışmada kullanılan %30 silis kumu+ %70 bentonit kili karışımına ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriğini (w_{opt}) gösteren kompaksiyon eğrisi.

Çalışma kapsamında hazırlanan %30 silis kumu ile %70 bentonit kili numune karışımının saf su ile karıştırılarak elde edilen numunelerde üzerinde yapılan kompaksiyon deneyi sonucuna göre maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_k) 13,20 kN/m³ ve bu değere bağlı bulunan optimum su içeriği ise %28 hesaplanmış ve Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Çalışmada kullanılan %70 silis kumu+ %30 bentonit kili karışımına ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriğini (w_{opt}) gösteren kompaksiyon eğrisi.

2.1.2.2. Permeabilite Özellikleri

Bu çalışma kapsamında deneylerde kullanılan numune karışımları ve Distile Su ile yapılan permeabilite deneyleri ASTM D2434 (2006) Standardına uygun olarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan %70 Silis Kumu ve %30 Bentonit Kili numune karışımının distile su ile yapılan permeabilite deneyi sonucu $3,33933 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak bulunmuş ve Çizelge 2.6’da verilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan %30 Silis Kumu ve %70 Bentonit Kili numune karışımının Distile Su ile yapılan permeabilite deneyi sonucu ise $1,45747 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak bulunmuş ve Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Çalışmada kullanılan karışımların permeabilite katsayıları.

Numune (%)	Permeabilite Katsayısı (cm/sn)
%30 Silis Kumu+%70 Bentonit Kili	1,45747E-08
%30 Bentonit Kili+%70 Silis Kumu	3,33933E-08

2.2. METHOD

Çalışma kapsamında yapılan permeabilite deneylerinde kullanılan numune karışımları eş kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılarak oluşturulmuştur. Bu sıkıştırma işlemi yapılırken kompaksiyon kalıbı yerine permeabilite hücresi kullanılmıştır.

2.2.1. Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi

Deneyde, belirli bir yükseklikte ve kesitte bulunan zemin numunesinden t zamanda geçen Q su miktarı ölçülerek permeabilite katsayısı hesaplanmıştır. Bu yöntem ince taneli ve düşük ve orta dereceli geçirimsizliğe sahip zemin numunelerinde kullanılmaktadır (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 88).

2.2.1.1. Deneyde Kullanılan Araçlar

- Geçirimsizlik hücresi ve geçirimsizlik paneli; Çapı 6.0mm olan 1 m boyunda cam tüpler ahşap bir panele monte edilmiş. Tüplerin uç kısımlarına musluk bağlantılı plastic 6.0 mm çaplı plastic hortumlar takılmış. Ahşap panel üzerindeki su düşüşlerini hesaplamak için 1 m ölçek montelidir (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 88),
- Basınçlı su tankı (Şekil 2.14),
- Kompresör (Şekil 2.15)
- Standart kompaksiyon tokmağı,
- Termometre ve kronometre,
- Terazî (0.1 g hassasiyete sahip),
- Numune karıştırma kabı (Şekil 2.14),

- Spatula (Şekil 2.14),
- Vakum presi,
- Şırınga.



Şekil 2.14. Permabilite deneylerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği.

2.2.1.2. Deneyin Yapılışı

- Zeminler karışım oranlarına göre hassas terazi ile tartılır, numune karıştırma kabına dökülür, su ilave edilir ve spatula yardımıyla karıştırılır.
- Numune karışımı permeabilite kabına kompaksiyon tokmağı yardımıyla 3 katman halinde eş kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılır.
- Hücre sökülerek lastik contalar temizlenip vakum gresi ile yağlanır, hücre temizlendikten ve kurutulduktan sonra hücrenin çapı (D) ve hücrenin boyu (L) ölçülür.
- Deneye başlamadan önce ahşap panel üzerinde bulunan cam tüplerin kalibrasyonu yapılmalı ve cam tüplerin kesit alanları hesaplanmalıdır.

- Permeabilite kabı, altına ve üstüne poroz taş veya poroz kağıt konularak permeabilite hücresine yerleştirilir, alt ve üst plakalar vidalanır.
- Basınçlı su tankı deneyin yapılacağı su ile doldurulur ve su tankına kompresör yardımıyla hava basılır (Şekil 2.14).



Şekil 2.15. Deney yapılırken kullanılan su tankı, kompresör ve deney düzeneği.

- Permeabilite hücresinin alt kısmındaki su vanası ile basınçlı su tankı arasında plastik hortumla bağlantı sağlanır, alt vana açılarak su tankından numune kabının içine su basılır. Numune doygunluğa ulaşana kadar su basmaya devam edilir.
- Ahşap panel üzerinde bulunan cam tüplere su basılır ve havası alınır.
- Cam tüpler ile permeabilite hücreleri arasındaki bağlantı plastik borular ile yapılır ve plastik borular içerisindeki hava kabarcıkları giderilir.
- Ahşap panel üzerinde bulunan su dolu cam tüplerdeki su düzeyi işaretlenir (H_1) ve tüplerin altındaki vanalar açılır.
- Kronometre yardımıyla belirli zaman aralıklarındaki (t_1) düşüş miktarları ahşap panel üzerindeki ölçüm materyaline işaretlenir. Bu işlem bir kaç

dakikadan bir kaç güne kadar uzayabilir (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 90).

- Elde edilen veriler Denklem 1.1 'de yerine koyularak permeabilite katsayısı hesaplanır (ASTM, 2006);

$$k = 2.3x \left(\frac{axL}{Axt_1} \right) x \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (2.1)$$

2.2.2. Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi

Iri taneli zeminlerin geçirimsizlik katsayısı sabit seviyeli permeabilite deneyi ile hesaplanır ve deney süresi boyunca hidrolik eğim ve su düzeyi sabit tutulmalıdır (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 90).

2.2.2.1. Deneyde Kullanılan Araçlar

- Geçirimsizlik ölçer: Metalden veya plastikten yapılmış, iç çapı 10 cm, üstten çıkış deliği olan ayaklı delikli plakalı, pirinç kafesli bir silindir.
- Geçirimsizlik paneli: Düşen seviyeli permeabilitede kullanılan ahşap panel buradada kullanılır. Fakat düşen seviyeli permeabilitede kullanılan 3 tüpün dışındaki 2 tüp sabit seviyeli permeabilitede kullanılır (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 91).
- Su,
- Termometre ve kronometre,
- Basınçlı su tankı,
- Vakum gresi,
- Terazî (0.1 g hassasiyete sahip),
- Basınçlı su tankı (Şekil 2.15),
- Kompresör (Şekil 2.15),
- Standart kompaksiyon tokmağı,
- Numune karıştırma kabı (Şekil 2.14),
- Spatula (Şekil 2.14),

- Şırınga,
- Permeabilite tankı (Şekil 2.14).

2.2.2.2. Deneyin Yapılışı

- Zeminler karışım oranlarına göre hassas terazi ile tartılır, numune karıştırma kabına dökülür, su ilave edilir ve spatula yardımıyla karıştırılır.
- Numune karışımı permeabilite kabına kompaksiyon tokmağı yardımıyla 3 katman halinde eş kompaksiyon enerjisi ile sıkıştırılır.
- Hücre sökülerek lastik contalar temizlenip vakum gresi ile yağlanır, hücre temizlendikten ve kurutulduktan sonra hücrenin çapı (D) ve hücrenin boyu (L) ölçülür. Permeabilite kabı, altına ve üstüne poroz taş veya poroz kağıt konularak permeabilite hücrelerine yerleştirilir, alt ve üst plakalar vidalanır.
- Basınçlı su tankı deneyin yapılacağı su ile doldurulur ve su tankına kompresör yardımıyla hava basılır.
- Permeabilite hücresinin alt kısmındaki su vanası ile basınçlı su tankı arasında plastik hortumla bağlantı sağlanır, alt vana açılarak su tankından numune kabının içine su basılır. Numune doygunluğa ulaşana kadar su basmaya devam edilir.
- Permeabilite tankı ile permeabilite hücreleri arasındaki bağlantı plastik borular ile yapılır ve plastic borular içerisindeki hava kabarcıkları giderilir.
- Ahşap panelin üst kısmına sistemi sarsmadan su bağlanıp, ölçüm sırasında numune üstündeki su düzeyinin sabit kalması için suyun fazlası kenardan akıtılır.
- Vanalar açılır. Kronometre ile belirlenen süre içerisinde permeabilite hücrelerinden akan su dereceli bir kaptan toplanır. Böylece zemin içerisinde belirli bir zamanda geçen su miktarı hesaplanmış olur.
- Sağlıklı bir sonuç elde edebilmek için deney bir kaç kere tekrarlanır ve bulunan sonuçların ortalaması alınır (Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016: 91).
- T zamanında akan debi Q ise permeabilite katsayısı (k), Denklem 1.2' den hesaplanır (ASTM, 2006);

$$k = \frac{Q \times L}{\Delta H \times A \times t} \quad (2.2)$$

BÖLÜM 3

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Karşılaştırmalarda yalnızca değerlendirmeye tabi tutulan parametrenin permabilite üzerinde etkisini ön plana çıkarabilmek açısından deniz suları ve tatlı suları ayrı ayrı değerlendirilerek diğer derişim özelliklerinin permabilite üzerindeki etkisi değerlendirilme dışında tutulmaya çalışılmıştır.

3.1. %30 KUM + %70 BENTONİT ÜZERİNDE YAPILAN PERMEABİLİTE DENEYLERİNİN SONUÇLARI İLE SU KİMYASI ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ

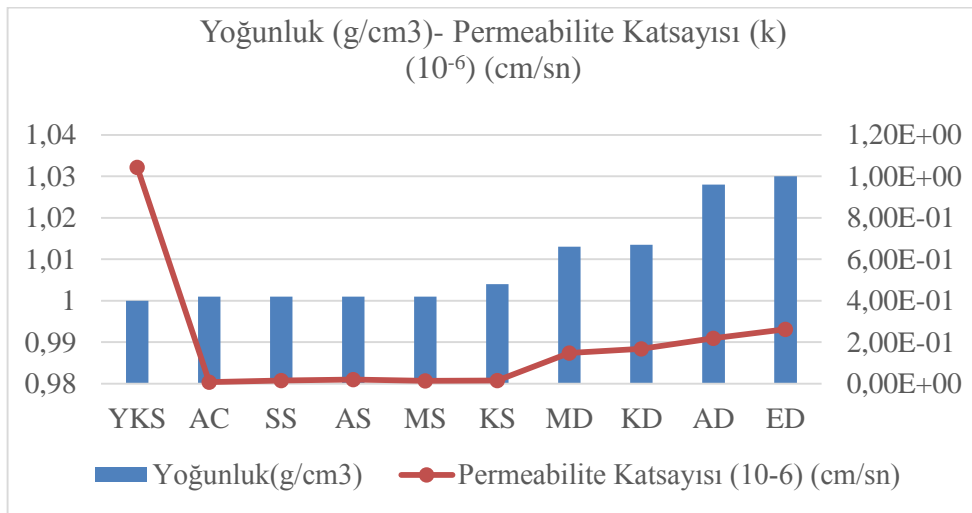
3.1.1. Suların Yoğunluğu ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Su yoğunluğunun permabilite üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için deneylerde kullanılan tüm suların yoğunlukları 151 nolu hidrometre yardımı ile belirlenmiştir.

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve suların hidrometre ile belirlenen yoğunluk değerleri Çizelge 3.1 'de verildiği gibidir. Yoğunluk değeri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.1'de verilmiştir. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1 incelendiğinde tatlı sularının yoğunluğu ile permeabilite katsayısı arasında net bir ilişki görülememiştir. Bunun tattu suların yoğunluklarının birbirine çok yakın olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ancak, Şekil 3.1 tüm sular dikkate alınarak değerlendirildiğinde yoğunluk ile permeabilite katsayısı arasında doğrusal bir artışın söz konusu olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi olarak suların içerisinde bulunan tuzların ve tuzluluğu oluşturan iyon derişimlerinin yüksek olmasından kaynaklı olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 3.1. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Yoğunluk(g/cm ³)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
YKS	1	1,04E+00
AC	1,001	6,81E-03
SS	1,001	1,46E-02
AS	1,001	1,90E-02
MS	1,001	1,28E-02
KS	1,004	1,55E-02
MD	1,013	1,48E-01
KD	1,0135	1,67E-01
AD	1,028	2,19E-01
ED	1,03	2,62E-01



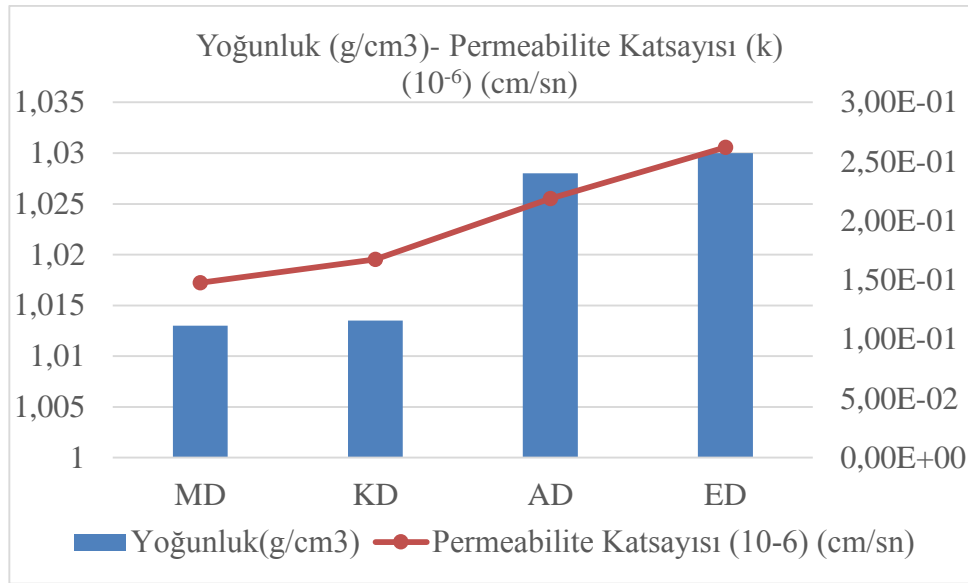
Şekil 3.1. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Yoğunluğun permabilite üzerindeki etkisinin direk etkisini ortaya koymak niyetiyle değerlendirmeler deniz suları ve tatlı suların kendi içinde gruplandırılarak da değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permabilite ve suların hidrometre ile belirlenen yoğunluk değerleri Çizelge 3.2 'de verildiği gibidir. Yoğunluk değeri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2 incelendiğinde, deniz sularının yoğunluğunun artması ile zemin

karışımlarının içerisinde bulunan boşluklardan akan suyun ağırlığı arttığı için permeabilite katsayısı artmıştır.

Çizelge 3.2. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Permeabilite Katsayısı (k) (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	1,013	1,48E-01
KD	1,0135	1,67E-01
AD	1,028	2,19E-01
ED	1,03	2,62E-01

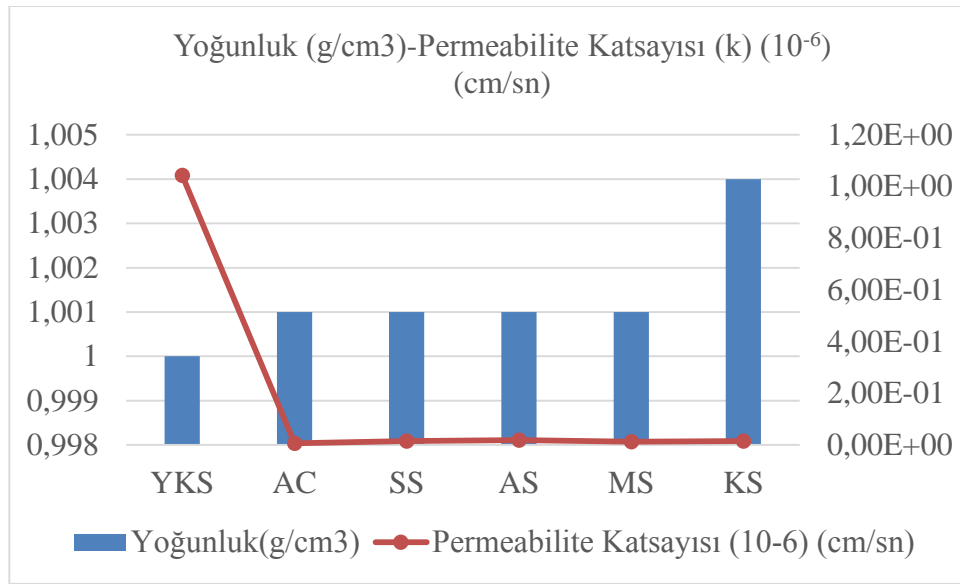


Şekil 3.2. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise yoğunluk ve permabilite sonuçları Çizelge 3.3'deki gibidir. Sonuçların analizi için bu veriler grafik olarak Şekil 3.3 sunulmuştur. Şekil 3.3'den de görüldüğü üzere bu sularla yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ile yoğunluk ilişkisi net bir şekilde gözlenmemiştir. Bu durumu yoğunluğun tüm tatlı sularda çok yakın olmasıyla da açıklamak mümkün olabilir.

Çizelge 3.3. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Permeabilite Katsayısı (k) (10 ⁻⁶) (cm/sn)
YKS	1	1,04E+00
AC	1,001	6,81E-03
SS	1,001	1,46E-02
AS	1,001	1,90E-02
MS	1,001	1,28E-02
KS	1,004	1,55E-02



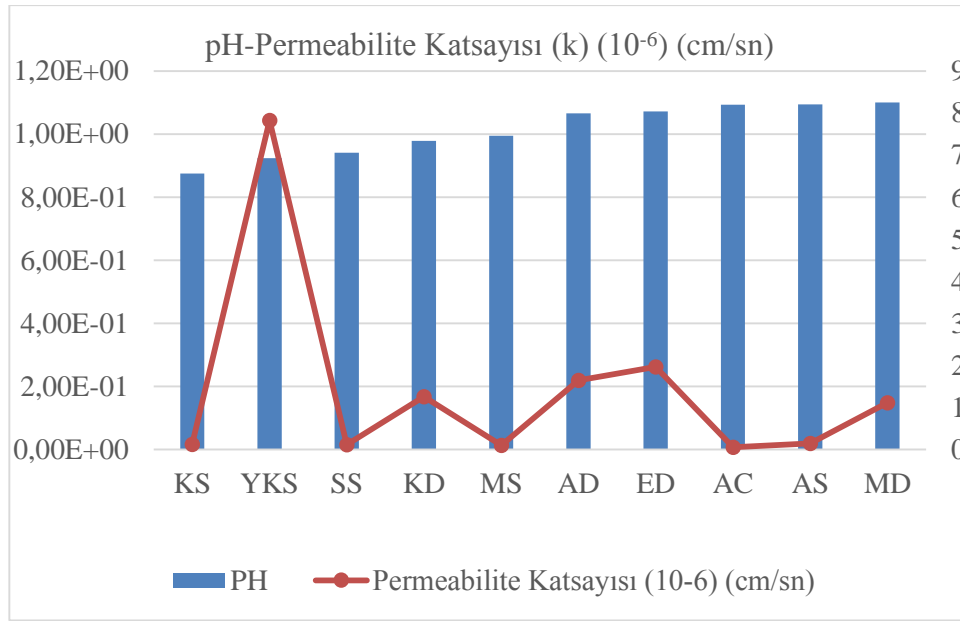
Şekil 3.3. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.1.2. Suların PH Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen pH değerleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. PH değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Çizelge 3.4 ve Şekil 3.4 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, pH değerlerinin birbirine yakın olması ve permeabilite katsayıları arasındaki farkın çok büyük olmasından kaynaklı olarak net bir ilişki kurulamamıştır.

Çizelge 3.4. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	pH	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
KS	6,56	1,55E-02
YKS	6,93	1,04E+00
SS	7,06	1,46E-02
KD	7,34	1,67E-01
MS	7,46	1,28E-02
AD	7,99	2,19E-01
ED	8,04	2,62E-01
AC	8,2	6,81E-03
AS	8,21	1,90E-02
MD	8,25	1,48E-01



Şekil 3.4. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

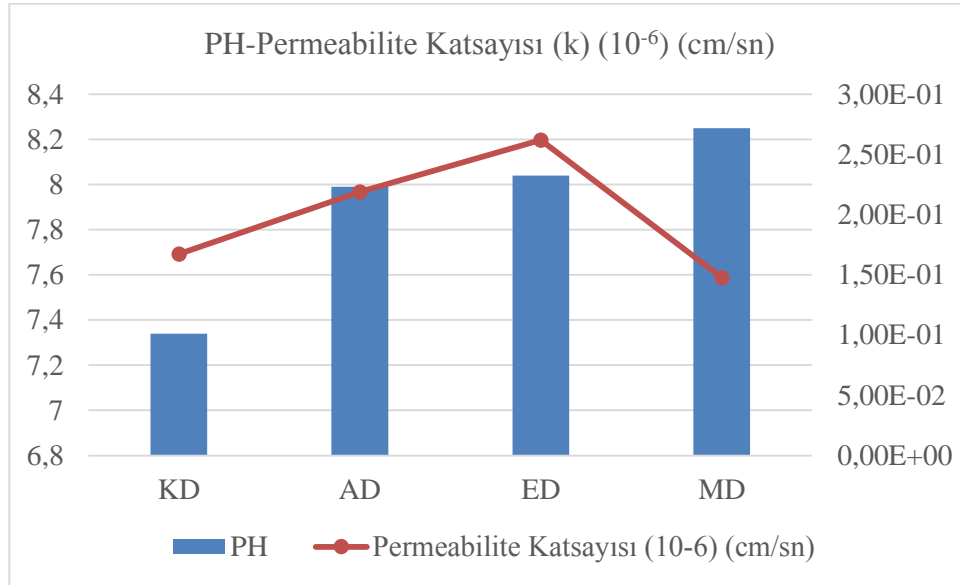
PH değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenecek pH değerinin permeabilite üzerindeki etkisi tartışılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen pH değerleri Çizelge 3.5’de verilmiştir. PH değerleri ile permeabilite katsayıları

arasındaki ilişki ise Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Çizelge 3.5 ve Şekil 3.5 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, pH değerinin 8,04 değerine kadar artmış ve bu değerden itibaren azalışa geçmiştir. Fakat genel olarak net bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.5. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	pH	Permeabilite Katsayısı (k) (10^{-6}) (cm/sn)
KD	7,34	1,67E-01
AD	7,99	2,19E-01
ED	8,04	2,62E-01
MD	8,25	1,48E-01

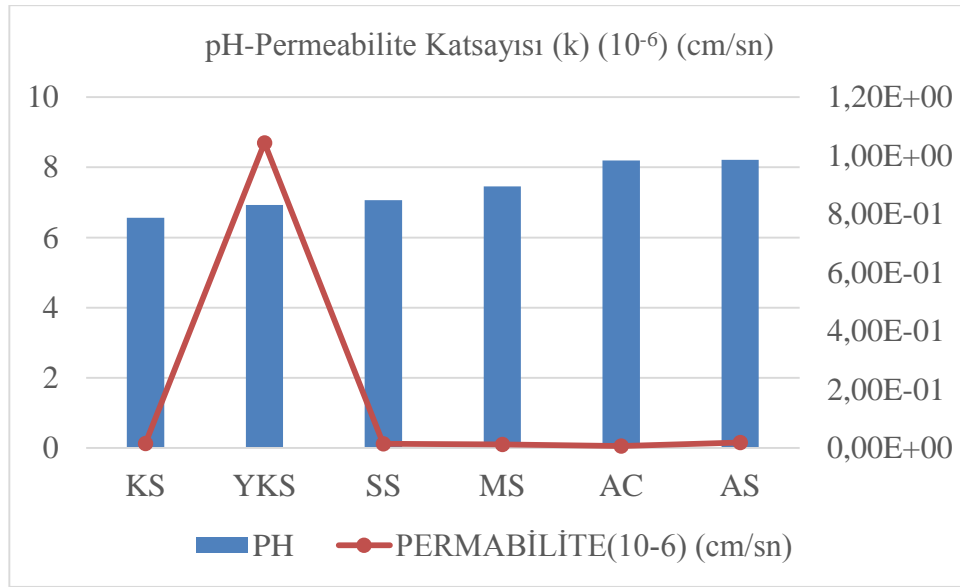


Şekil 3.5. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde pH ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.6’daki gibidir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.6’ya göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.6. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda ph ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	pH	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (k) (cm/sn)
KS	6,56	1,55E-02
YKS	6,93	1,04E+00
SS	7,06	1,46E-02
MS	7,46	1,28E-02
AC	8,2	6,81E-03
AS	8,21	1,90E-02



Şekil 3.6. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda ph ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

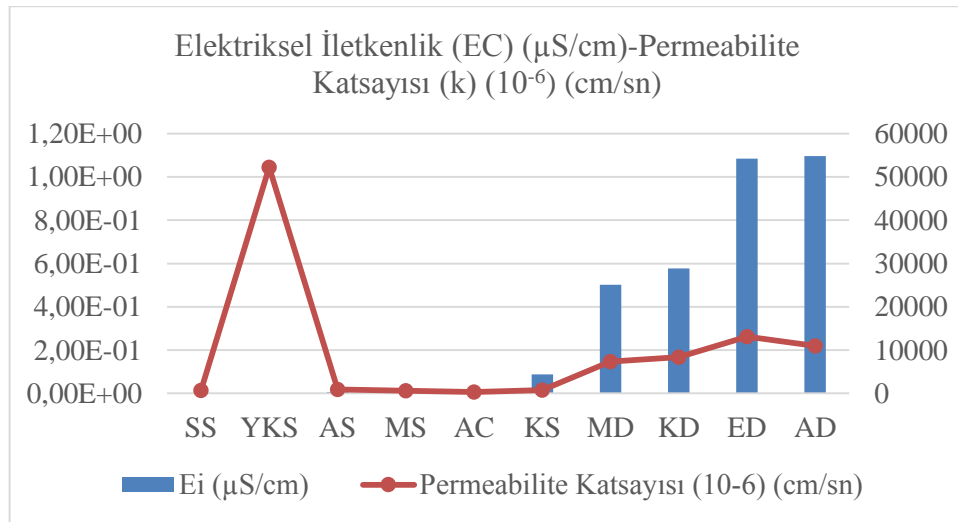
3.1.3. Suların EC (Elektriksel İletkenlik) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.7 gösterilmiştir. Çizelge 3.7 ve Şekil 3.7 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, elektriksel iletkenlik değerinin 4385 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinden itibaren

genel bir artış içerisinde olduğu gözlenmiştir. Bu artışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumun sebebi ise elektriksel iletkenliğin, elektrik yükü taşıyan iyonların dolaşımından oluşması, elektrik akımlarının iyonik tuzlarla taşınmasından kaynaklı olduğu ve deniz suları ile kaplıca suyunda iyon derişimlerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak elektriksel iletkenlik değerini oluşturan tuzluluk ve tuzluluk iyonlarının artışının permeabilite katsayısını arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 3.7. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	44	1,46E-02
YKS	71	1,04E+00
AS	299	1,90E-02
MS	422	1,28E-02
AC	623	6,81E-03
KS	4385	1,55E-02
MD	25081	1,48E-01
KD	28856	1,67E-01
ED	54205	2,62E-01
AD	54794	2,19E-01



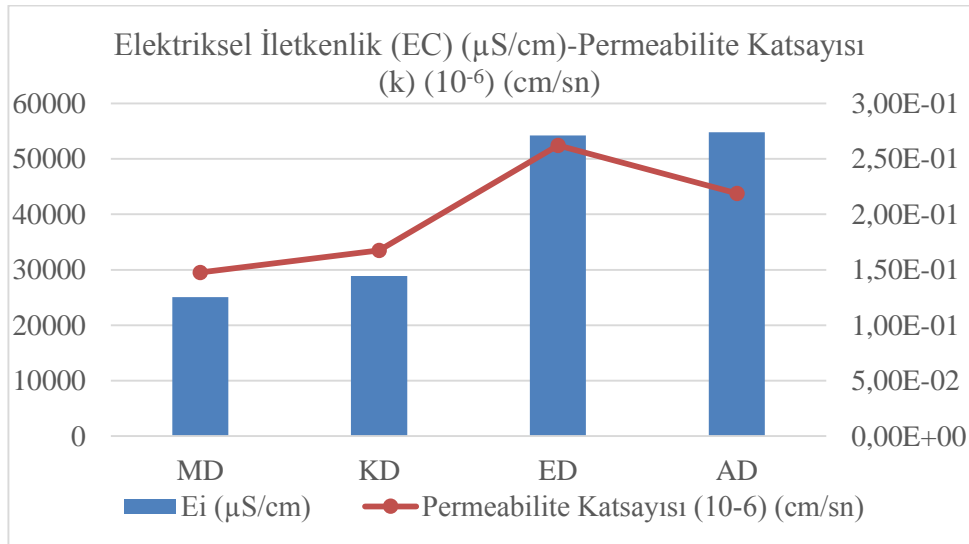
Şekil 3.7. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Elektriksel iletkenlik değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerek elektriksel iletkenlik değerlerinin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Çizelge 3.8 ve Şekil 3.8 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, elektriksel iletkenlik değerinin 54205 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerine kadar arttığı ve bu değerden itibaren azalışa geçtiği görülmektedir.

Çizelge 3.8. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	25081	1,48E-01
KD	28856	1,67E-01
ED	54205	2,62E-01
AD	54794	2,19E-01

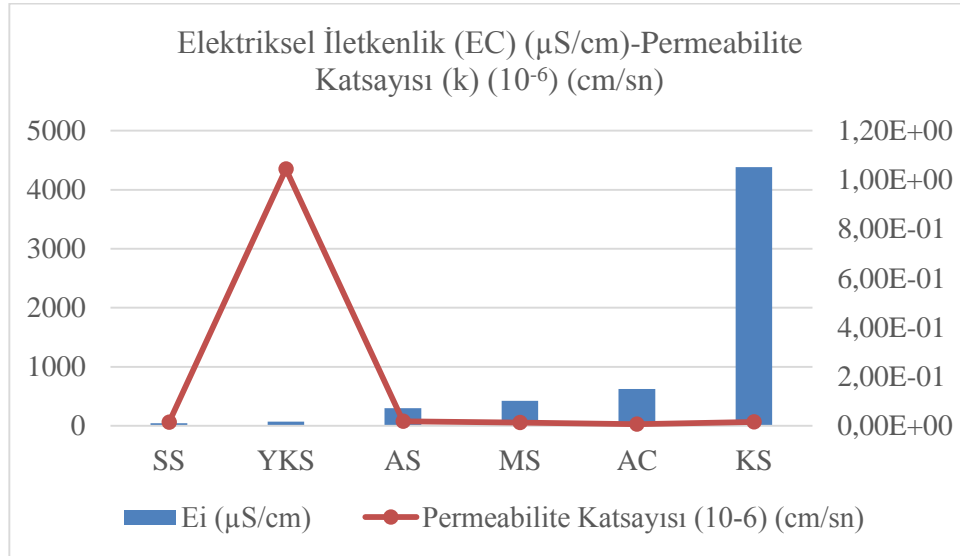


Şekil 3.8. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde elektriksel iletkenlik ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.9'daki gibidir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.9'a göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, elektriksel iletkenlik permeabilite ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.9. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	44	1,46E-02
YKS	71	1,04E+00
AS	299	1,90E-02
MS	422	1,28E-02
AC	623	6,81E-03
KS	4385	1,55E-02



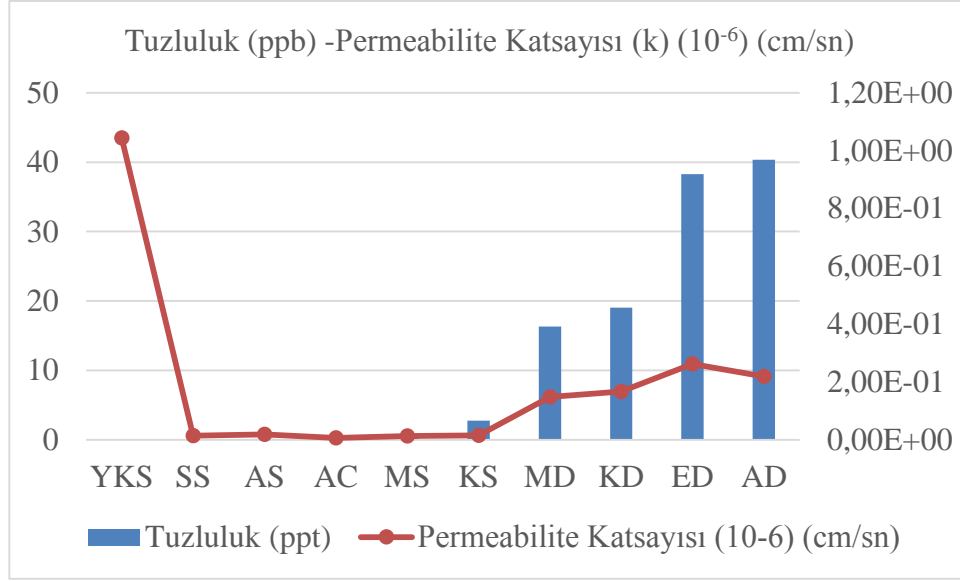
Şekil 3.9. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.1.4. Suların Tuzluluk (ppb) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve Multiparametre ölçer YSI-256 cihazının ölçümünden elde edilen tuzluluk değerleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Tuzluluk değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Çizelge 3.10 ve Şekil 3.10 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, tuzluluk değerinin 2,75 ppb olduğu değerden itibaren genel bir artış göstermiştir. Bu durumun sebebi olarak, killi zemin karışımı içerisinde bulunan yüksek tuz konsantrasyonu kil partiküllerinin topaklanmasına (flokülasyonuna) sebep olmaktadır. Bu oluşumun sonucunda zemin tanecikleri arasındaki boşluklar genişlemekte ve zemin daha yüksek geçirgenlik değerine ulaşmaktadır. Zemin çözeltisindeki yüksek tuz konsantrasyonu, iyonları kil parçacıklarının yüzeylerine daha kuvvetli bir şekilde itmekte ve iyonların kil parçacıkları tarafından tutulmasını arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı tuzluluk ve tuzluluğu oluşturan iyonların artması kil oranı yüksek olan zemin karışımında topaklanmayı (flokülasyonu) arttırmış olduğu değerlendirilerek permeabilite katsayısını artmasında bir etken olarak düşünülmüştür.

Çizelge 3.10. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Tuzluluk (ppb)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
YKS	0,04	1,04E+00
SS	0,08	1,46E-02
AS	0,15	1,90E-02
AC	0,35	6,81E-03
MS	0,41	1,28E-02
KS	2,75	1,55E-02
MD	16,31	1,48E-01
KD	19,05	1,67E-01
ED	38,27	2,62E-01
AD	40,34	2,19E-01



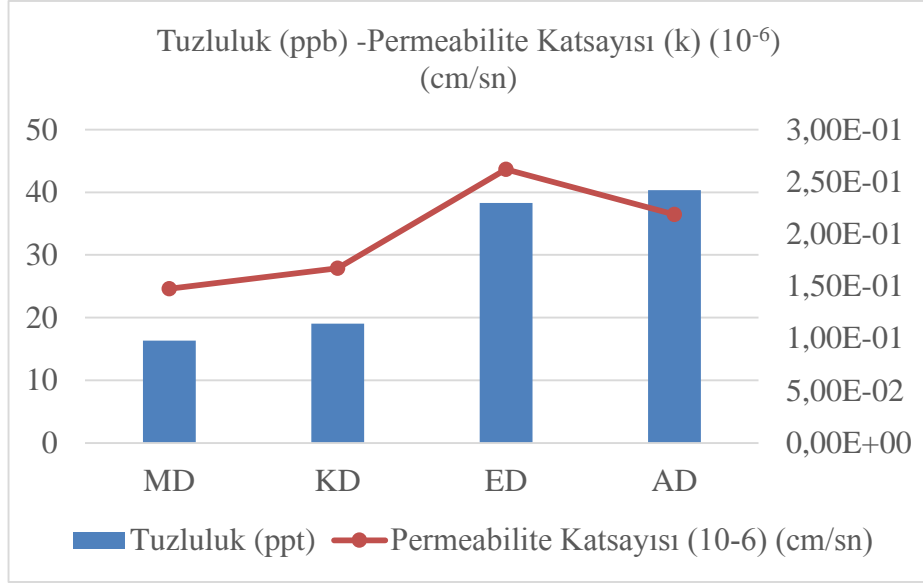
Şekil 3.10. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tuzluluk değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenecek tuzluluk değerlerinin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve Multiparametre ölçer YSI-256 cihazının ölçümünden elde edilen tuzluluk değerleri Çizelge 3.11’de verilmiştir. Tuzluluk değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Çizelge 3.11 ve Şekil 3.11 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, tuzluluk değerinin 38,27 ppb olduğu değere kadar artmış ve bu değerden itibaren azalışa geçtiği görülmüştür.

Çizelge 3.11. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Tuzluluk (ppb)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	16,31	1,48E-01
KD	19,05	1,67E-01
ED	38,27	2,62E-01
AD	40,34	2,19E-01

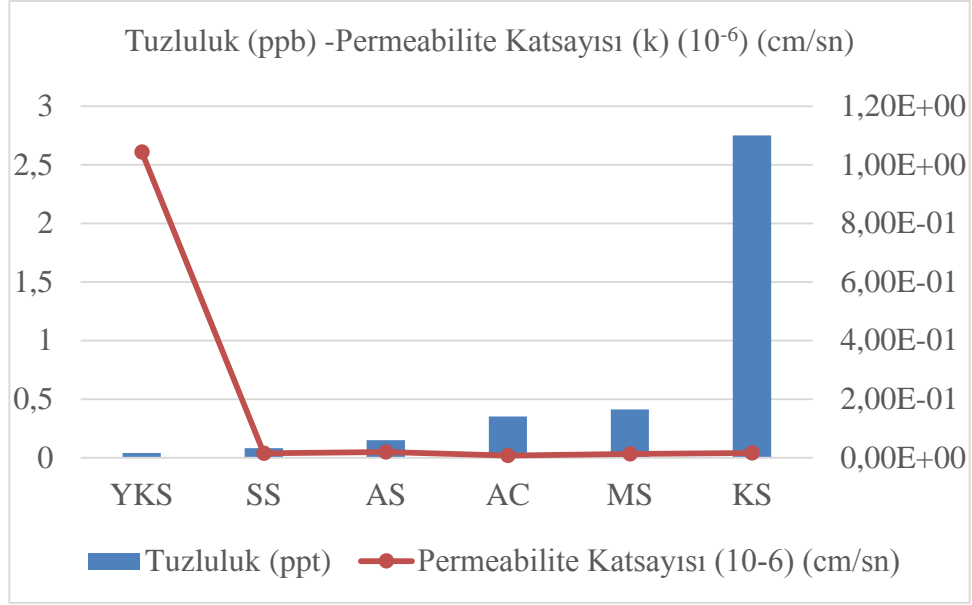


Şekil 3.11. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde tuzluluk oranı ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.12'deki gibidir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.12'ye göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, tuzluluk oranlarının birbirine çok yakın olmasından dolayı permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.12. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Tuzluluk (ppb)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
YKS	0,04	1,04E+00
SS	0,08	1,46E-02
AS	0,15	1,90E-02
AC	0,35	6,81E-03
MS	0,41	1,28E-02
KS	2,75	1,55E-02



Şekil 3.12. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.1.5. Suların Sodyum (Na) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

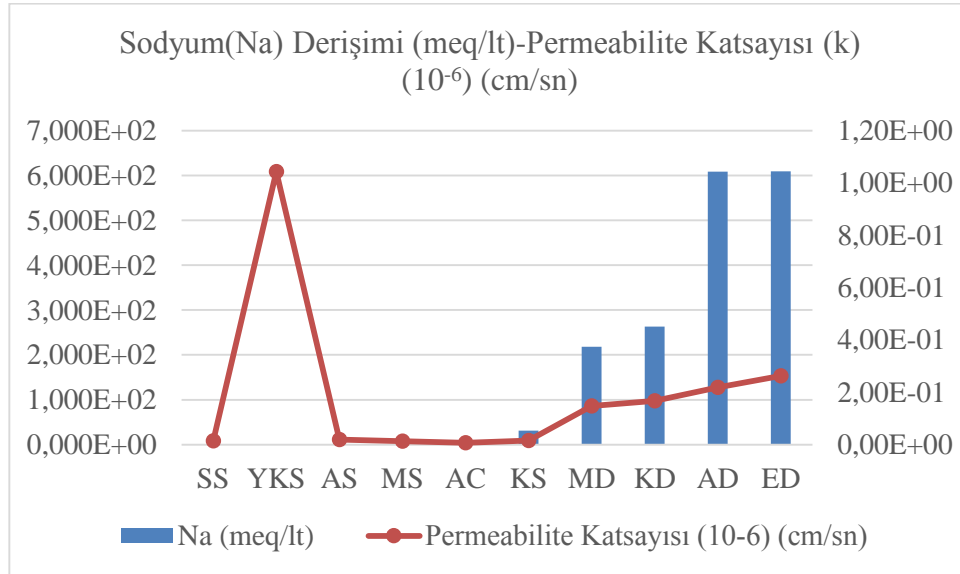
Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sodyum (Na) derişimleri Çizelge 3.13’de verilmiştir.

Sodyum (Na) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Çizelge 3.13 ve Şekil 3.13 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, sodyum (Na) derişiminin 30,90 meq/lt değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında artışa sebep olmuştur. Bu artışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimindeki değişim miktarı yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak, killi zemin karışımı içerisine nüfus eden suda bulunan yüksek tuz konsantrasyonu kil partiküllerinin topaklanmasına (flokülasyonuna) sebep olmaktadır. Zemin çözeltilesindeki yüksek tuz konsantrasyonu, iyonları kil parçacıklarının yüzeylerine daha kuvvetli bir şekilde itmekte ve iyonların kil parçacıkları tarafından tutulmasını arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı tuzluluk ve tuzluluğu oluşturan iyonların artması kil oranı yüksek olan zemin karışımında topaklanmayı (flokülasyonu) arttırmakta

ayrıca sudaki sodyum iyonundaki artışla birlikte tabakalar arası mesafanın genişlemesiyle dispersiyonda artışlar olmakta (Yakupoglu ve Özdemir, 2007) buna bağlı olarak permeabilite katsayısı artmaktadır.

Çizelge 3.13. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Na (meq/l)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,045E-03	1,46E-02
YKS	7,960E-02	1,04E+00
AS	2,540E-01	1,90E-02
MS	2,901E-01	1,28E-02
AC	8,673E-01	6,81E-03
KS	3,090E+01	1,55E-02
MD	2,180E+02	1,48E-01
KD	2,634E+02	1,67E-01
AD	6,091E+02	2,19E-01
ED	6,096E+02	2,62E-01



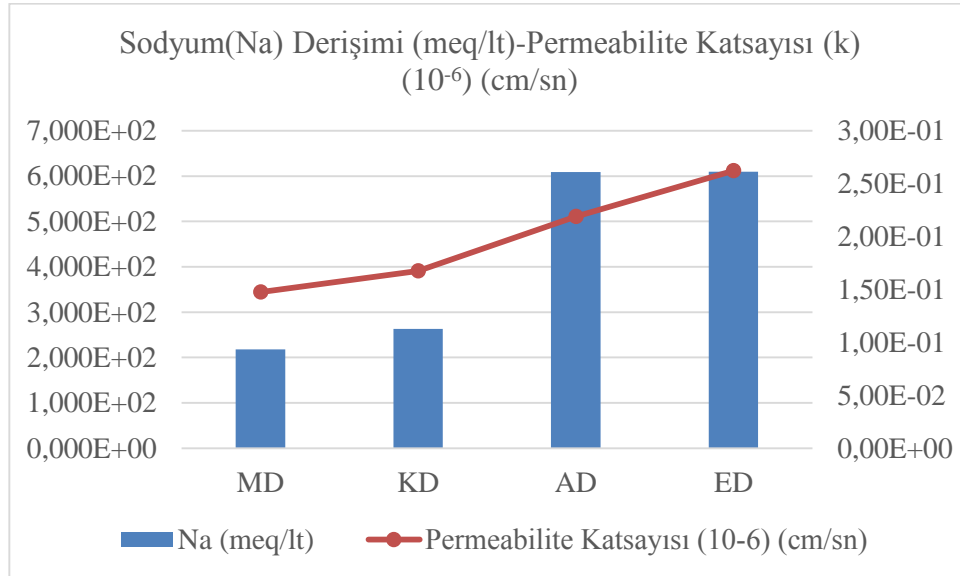
Şekil 3.13. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Sodyum (Na) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerak Sodyum derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sodyum (Na) derişimleri Çizelge 3.14’de verilmiştir. Sodyum (Na) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Çizelge 3.14 ve Şekil 3.14 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, sodyum (Na) derişiminin artmasıyla birlikte artmıştır.

Çizelge 3.14. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Na (meq/l)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	2,180E+02	1,48E-01
KD	2,634E+02	1,67E-01
AD	6,091E+02	2,19E-01
ED	6,096E+02	2,62E-01



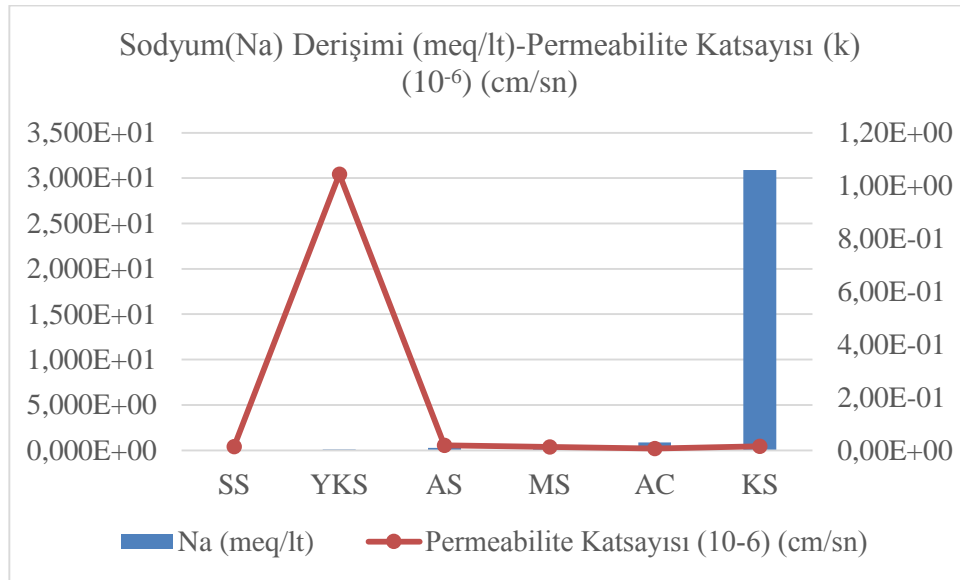
Şekil 3.14. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde Sodyum (Na) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.15’deki gibidir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.15’e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, sodyum (Na) derişimi ile permeabilite katsayısı ilişkisi ise

sodyum (Na) derişimlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.15. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Na (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,045E-03	1,46E-02
YKS	7,960E-02	1,04E+00
AS	2,540E-01	1,90E-02
MS	2,901E-01	1,28E-02
AC	8,673E-01	6,81E-03
KS	3,090E+01	1,55E-02



Şekil 3.15. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

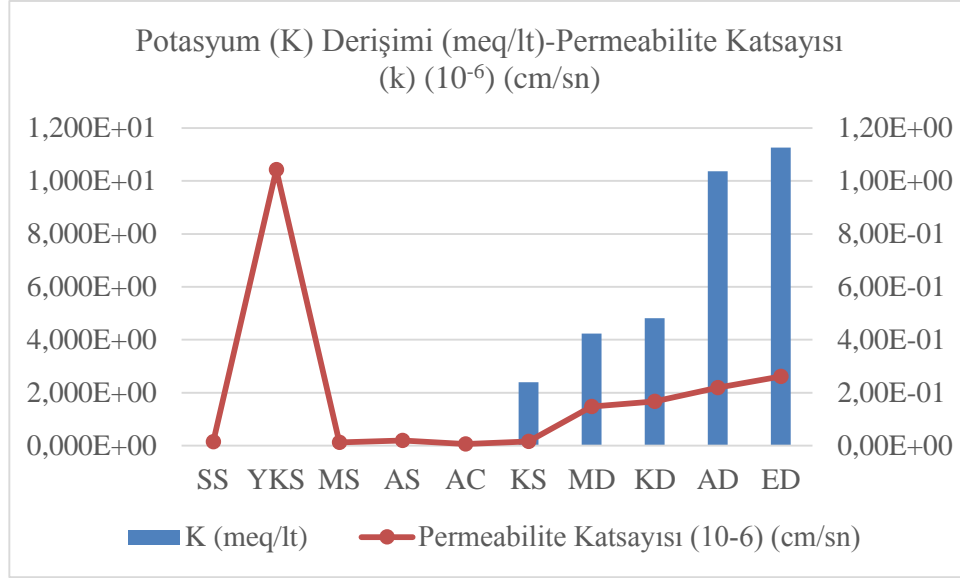
3.1.6. Suların Potasyum (K) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen potasyum (K) derişimleri Çizelge 3.16'da verilmiştir. Potasyum (K) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.16'da

gösterilmiştir. Çizelge 3.16 ve Şekil 3.16 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı potasyum (K) derişiminin artmasıyla birlikte genel bir artış göstermiştir. Bu artışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durum killi zemin karışımı içerisinde nüfus eden sudaki yüksek tuz konsantrasyonuna bağlı olarak kil partiküllerinin topaklanması (flokülasyonuna) ve sudaki Potasyum iyonu (K) tabakalar arasındaki fazla negatif yükleri dengelemesi ile açıklanmıştır. Bu oluşumun sonucunda zemin tanecikleri arasındaki boşluklar genişlemekte ve zemin daha yüksek geçirgenlik değerine ulaşmaktadır. Bu bağlamda Şekil 3.16’da görüleceği üzere sulardaki yüksek iyon derişimleri ile permeabilite katsayısı arasındaki ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Genel bir değerlendirme ile kil oranı yüksek olan zeminlerde tuzluluk ve tuzluluğu oluşturan iyonlara permabilite katsayısının artmasında ana etken olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 3.16. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	K (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10⁻⁶) (cm/sn)
SS	2,558E-04	1,46E-02
YKS	1,714E-02	1,04E+00
MS	1,842E-02	1,28E-02
AS	2,583E-02	1,90E-02
AC	3,504E-02	6,81E-03
KS	2,393E+00	1,55E-02
MD	4,230E+00	1,48E-01
KD	4,816E+00	1,67E-01
AD	1,037E+01	2,19E-01
ED	1,126E+01	2,62E-01



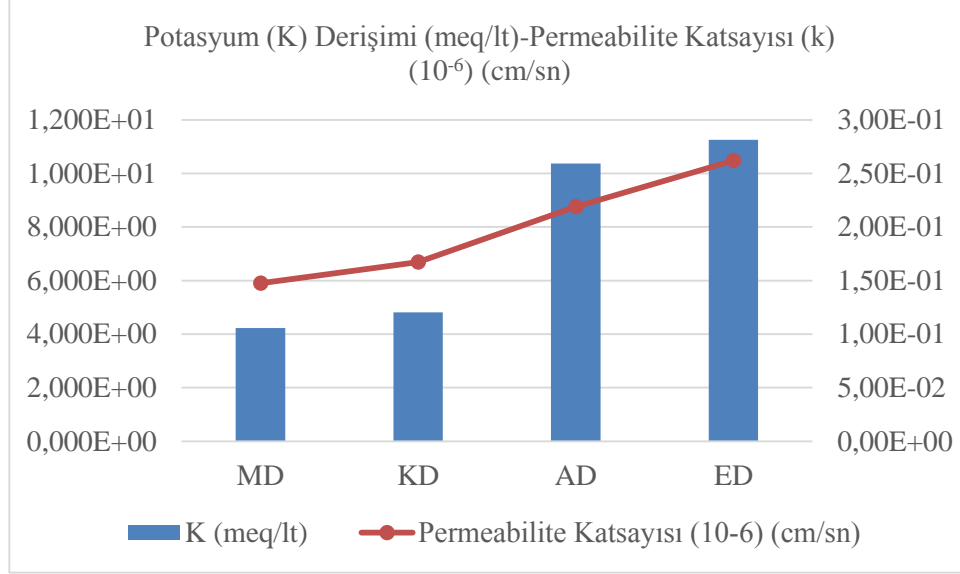
Şekil 3.16. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Potasyum (K) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerek potasyum (K) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen potasyum (K) derişimleri Çizelge 3.17’de verilmiştir. Potasyum (K) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Çizelge 3.17 ve Şekil 3.17 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, potasyum (K) derişiminin artmasıyla birlikte artmıştır.

Çizelge 3.17. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	K (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	4,230E+00	1,48E-01
KD	4,816E+00	1,67E-01
AD	1,037E+01	2,19E-01
ED	1,126E+01	2,62E-01

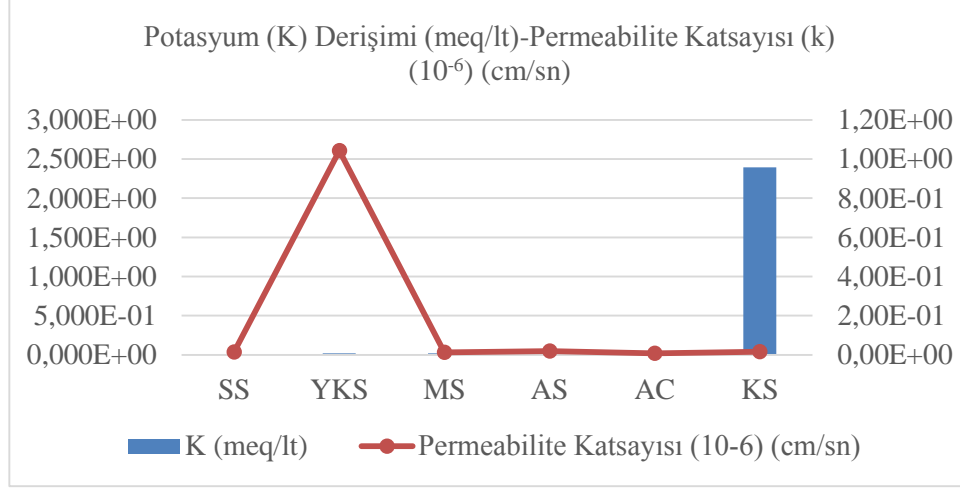


Şekil 3.17. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum (K) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.18'deki gibidir. Sonuçların yorumlanması için tasarlanan Şekil 3.18'e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, potasyum (K) derişimleri birbirine çok yakın değerlerde olduğu için permeabilite katsayısı ile ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.18. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	K (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	2,558E-04	1,46E-02
YKS	1,714E-02	1,04E+00
MS	1,842E-02	1,28E-02
AS	2,583E-02	1,90E-02
AC	3,504E-02	6,81E-03
KS	2,393E+00	1,55E-02



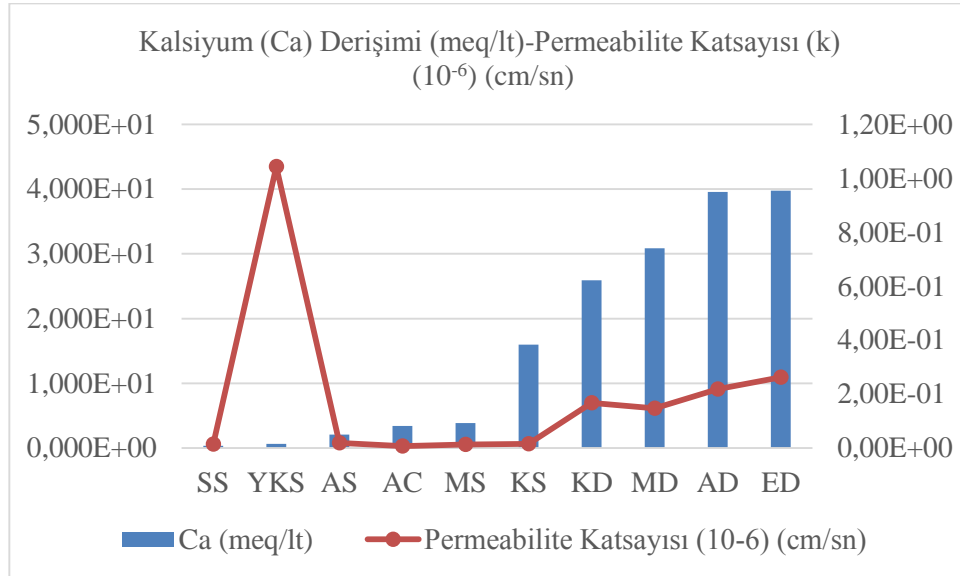
Şekil 3.18. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.1.7. Suların Kalsiyum (Ca) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen kalsiyum (Ca) derişimleri Çizelge 3.19'da verilmiştir. Kalsiyum (Ca) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Çizelge 3.19 ve Şekil 3.19 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve analizlere göre kalsiyum (Ca) derişiminin 3,835 meq/lt derişimden itibaren artışı permeabilite katsayısında artışa sebep olmuştur. Bu artışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Şekil 3.19'dan da görüleceği üzere kalsiyumun belirli bir konsantrasyonun üzerinde çıkması zeminin hava ve su geçirgenliğini artırmaktadır. Artan kalsiyum konsantrasyonu ile birlikte zemin çözeltilesindeki yüksek tuz konsantrasyonu, iyonları kil parçacıklarının yüzeylerine daha kuvvetli bir şekilde itmekte ve iyonların kil parçacıkları tarafından tutulmasını artırmaktadır.

Çizelge 3.19. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Ca (meq/l)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,518E-01	1,46E-02
YKS	6,243E-01	1,04E+00
AS	2,068E+00	1,90E-02
AC	3,429E+00	6,81E-03
MS	3,835E+00	1,28E-02
KS	1,598E+01	1,55E-02
KD	2,591E+01	1,67E-01
MD	3,087E+01	1,48E-01
AD	3,958E+01	2,19E-01
ED	3,973E+01	2,62E-01



Şekil 3.19. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

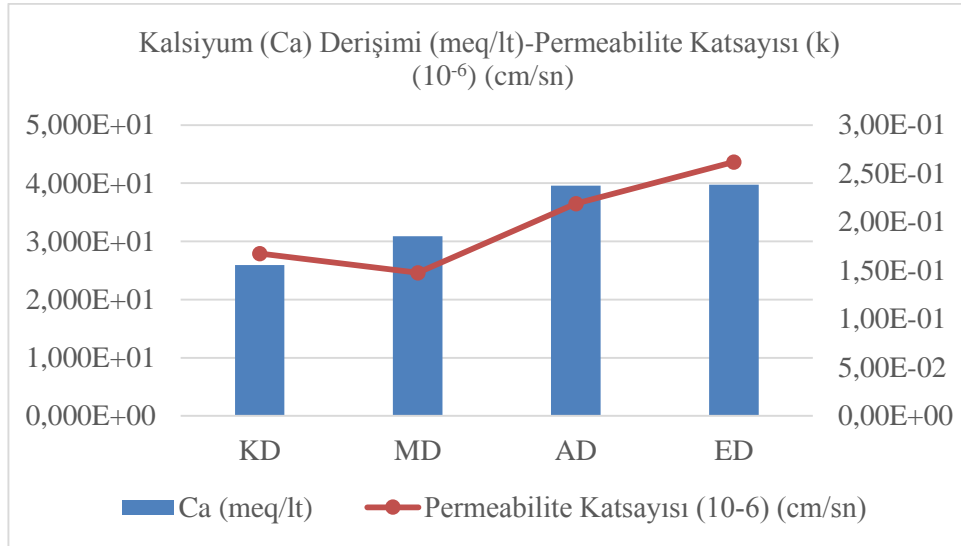
Kalsiyum (Ca) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerek kalsiyum (Ca) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen kalsiyum (Ca) derişimleri Çizelge 3.20'de verilmiştir. Kalsiyum (Ca) derişimleri ile

permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Çizelge 3.20 ve Şekil 3.20 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve analizlere göre 30,87 meq/lt ‘den itibaren kalsiyum (Ca) derişiminin artması permeabilite katsayısını arttırmıştır.

Çizelge 3.20. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Ca (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
KD	2,591E+01	1,67E-01
MD	3,087E+01	1,48E-01
AD	3,958E+01	2,19E-01
ED	3,973E+01	2,62E-01

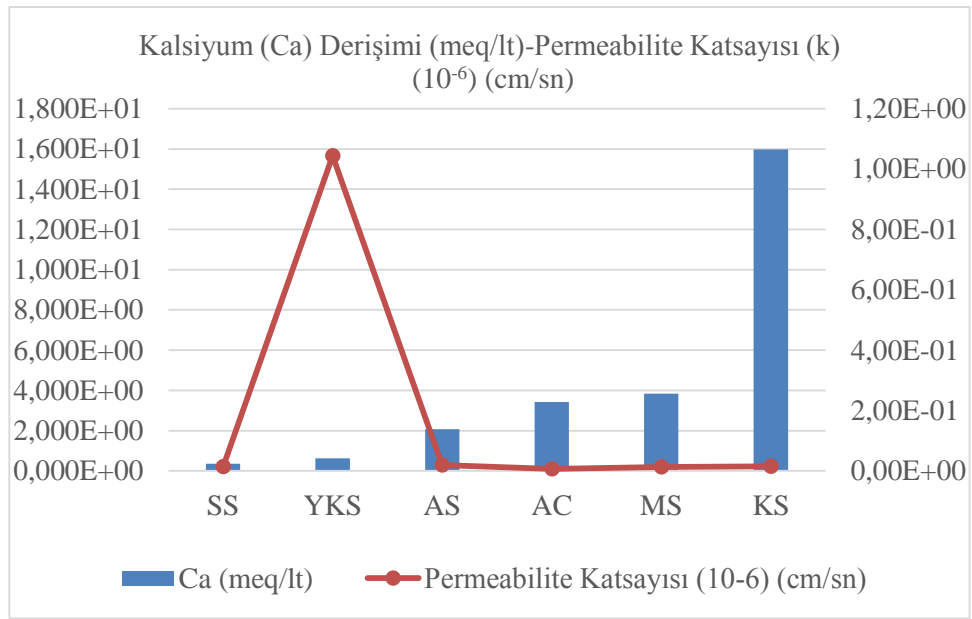


Şekil 3.20. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.21’deki gibi verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.21’e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, kalsiyum (Ca) derişimi permeabilite arasında net bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.21. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Ca (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,518E-01	1,46E-02
YKS	6,243E-01	1,04E+00
AS	2,068E+00	1,90E-02
AC	3,429E+00	6,81E-03
MS	3,835E+00	1,28E-02
KS	1,598E+01	1,55E-02



Şekil 3.21. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

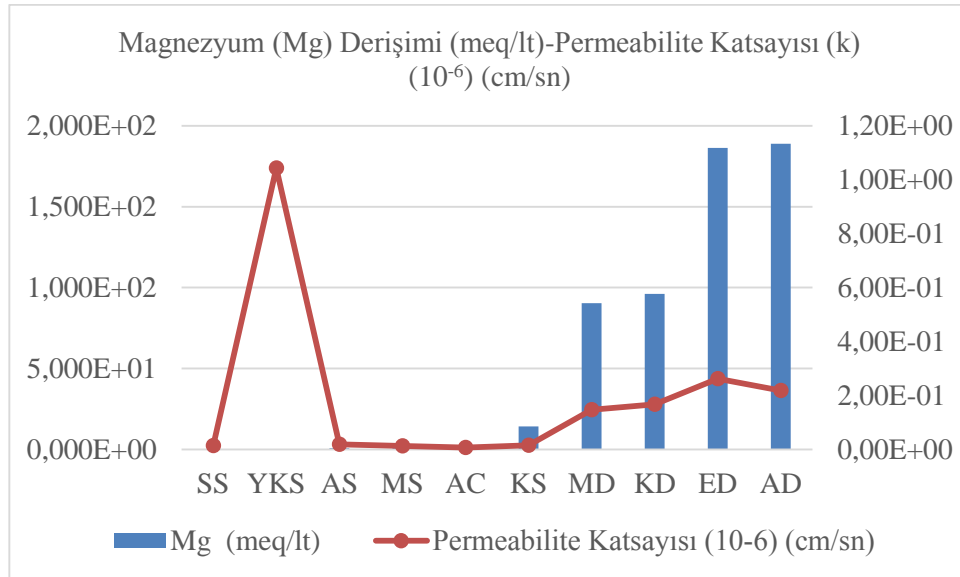
3.1.8. Suların Magnezyum (Mg) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen magnezyum (Mg) derişimleri Çizelge 3.22’de gösterilmiştir. Magnezyum (Mg) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Çizelge 3.22 ve Şekil 3.22 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve çıkarımlara göre magnezyum (Mg) derişiminin 1,783 meq/lt derişimden itibaren artışı permeabilite katsayısında artışa sebep olmuştur. Bu artışların görüldüğü sulu

çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Sudaki yüksek magnezyum oranı zemini tuzlandırmakta ve buna bağlı olarakta zemin çözeltisindeki yüksek tuz konsantrasyonu, iyonları kil parçacıklarının yüzeylerine daha kuvvetli bir şekilde itmekte ve iyonların kil parçacıkları tarafından tutulmasını arttırmaktadır. Buna bağlı olarakta artan topaklanma (flokülasyonu) permeabilite katsayısını artırmaktadır.

Çizelge 3.22. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Mg (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	1,563E-02	1,46E-02
YKS	8,722E-02	1,04E+00
AS	8,221E-01	1,90E-02
MS	1,211E+00	1,28E-02
AC	1,783E+00	6,81E-03
KS	1,424E+01	1,55E-02
MD	9,041E+01	1,48E-01
KD	9,610E+01	1,67E-01
ED	1,864E+02	2,62E-01
AD	1,888E+02	2,19E-01



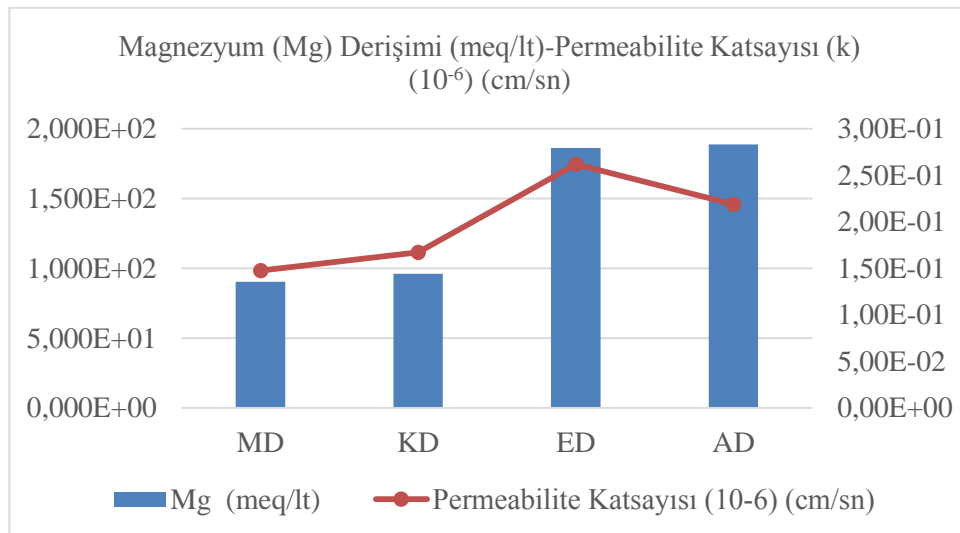
Şekil 3.22. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Magnezyum (Mg) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenerek magnezyum (Mg) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen magnezyum (Mg) derişimleri Çizelge 3.23’de gösterilmiştir. Magnezyum (Mg) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.23’de gösterilmiştir. Çizelge 3.23 ve Şekil 3.23 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve çıkarımlara göre 186,4 meq/lt derişime kadar derişimin yükselmesi permeabilite katsayısını arttırmış ve derişimin daha fazla olması durumunda permeabilite katsayısı azalmıştır.

Çizelge 3.23. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Mg (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	9,041E+01	1,48E-01
KD	9,610E+01	1,67E-01
ED	1,864E+02	2,62E-01
AD	1,888E+02	2,19E-01

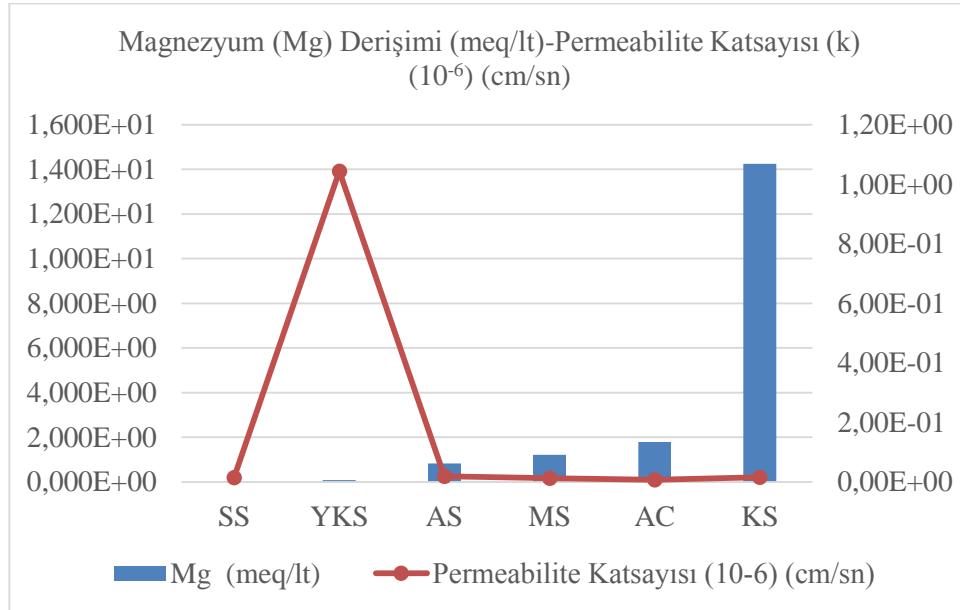


Şekil 3.23. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.24'deki gibi verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.24'e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, magnezyum (Mg) derişimi ile permeabilite katsayısı arasında bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.24. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Mg (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	1,563E-02	1,46E-02
YKS	8,722E-02	1,04E+00
AS	8,221E-01	1,90E-02
MS	1,211E+00	1,28E-02
AC	1,783E+00	6,81E-03
KS	1,424E+01	1,55E-02



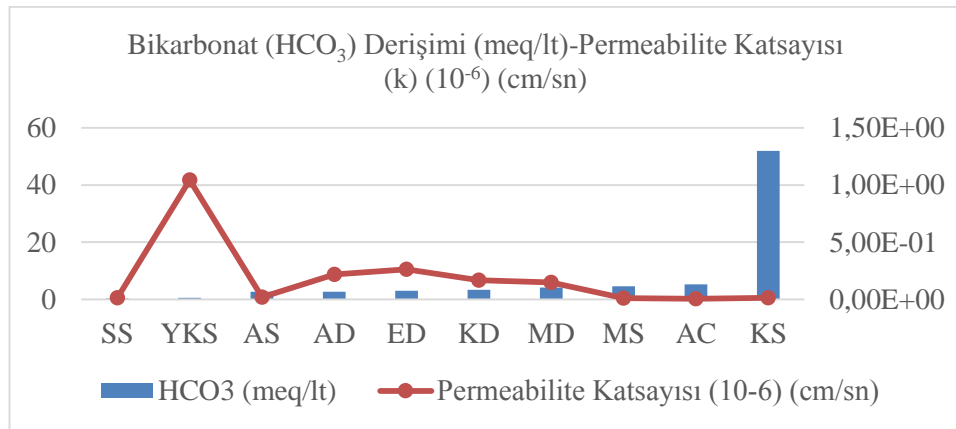
Şekil 3.24. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.1.9. Suların Bikarbonat (HCO₃) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve su analizlerinden elde edilen bikarbonat (HCO₃) derişimleri Çizelge 3.25’de verildiği gibidir. Bikarbonat (HCO₃) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağı Şekil 3.25’de verilmiştir. Çizelge 3.25 ve Şekil 3.25 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre bikarbonat (HCO₃) derişimi ile permeabilite katsayısı arasında net bir ilişki gözlenememiştir. Fakat tablonun geneline bakıldığında derişimin yükselmesi ile katsayı arasında net olmasada bir ters orantı söz konusudur.

Çizelge 3.25. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikarbonat (HCO₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	HCO ₃ (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	0,3299	1,46E-02
YKS	0,6198	1,04E+00
AS	2,699	1,90E-02
AD	2,699	2,19E-01
ED	2,999	2,62E-01
KD	3,399	1,67E-01
MD	4,199	1,48E-01
MS	4,599	1,28E-02
AC	5,294	6,81E-03
KS	51,99	1,55E-02



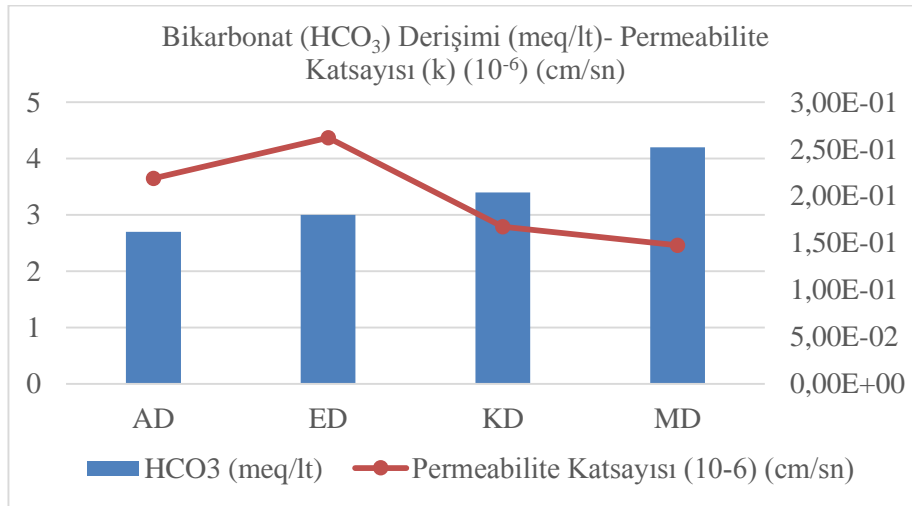
Şekil 3.25. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikarbonat (HCO₃) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Bikarbonat (HCO_3) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenerek Bikarbonat (HCO_3) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen bikarbonat (HCO_3) derişimleri Çizelge 3.26’da verildiği gibidir. Bikarbonat (HCO_3) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.26’da verilmiştir. Çizelge 3.26 ve Şekil 3.26 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre bikarbonat (HCO_3) derişiminin 2,999 meq/lt derişime kadar artması permeabilite katsayısını arttırmış ve bu derişimden itibaren artış permeabilite katsayısını azaltmıştır.

Çizelge 3.26. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	HCO_3 (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
AD	2,699	2,19E-01
ED	2,999	2,62E-01
KD	3,399	1,67E-01
MD	4,199	1,48E-01

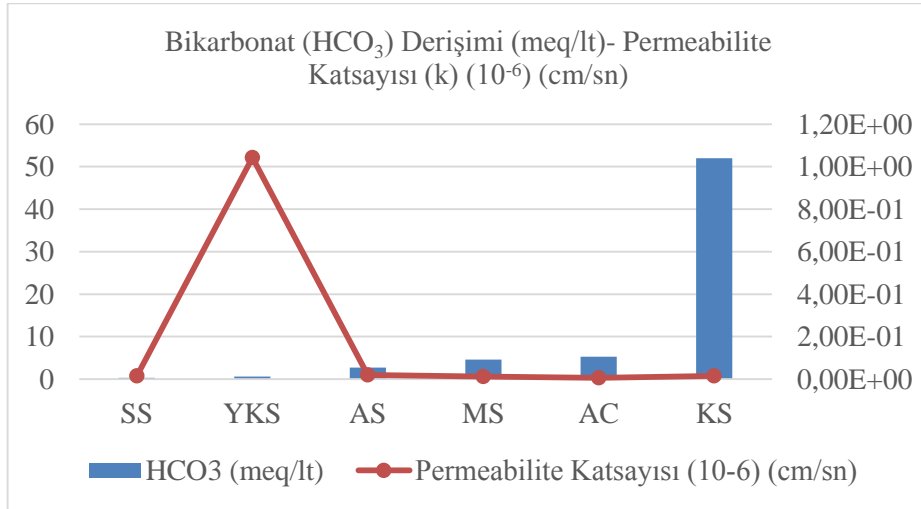


Şekil 3.26. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.27'deki gibidir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.27'ye göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, bikorbonat (HCO_3) derişimi ile permeabilite katsayısı arasında bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.27. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	HCO_3 (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	0,3299	1,46E-02
YKS	0,6198	1,04E+00
AS	2,699	1,90E-02
MS	4,599	1,28E-02
AC	5,294	6,81E-03
KS	51,99	1,55E-02



Şekil 3.27. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

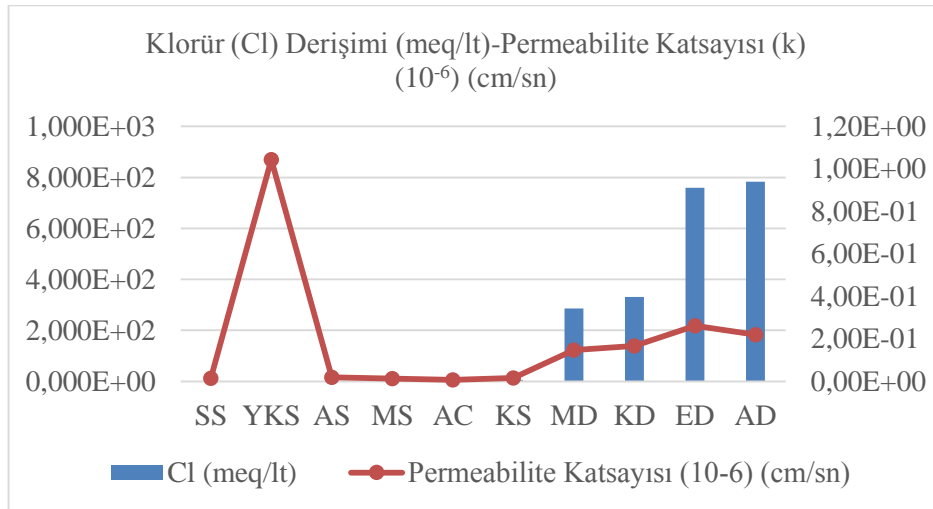
3.1.10. Suların Klorür (Cl) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen klorür (Cl) derişimleri Çizelge 3.28'da verilmiştir. Klor (Cl)

derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.28’de verildiği gibidir. Çizelge 3.28 ve Şekil 3.28 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre klorür (Cl) derişiminin 5,966 meq/lt derişimden itibaren artışı permeabilite katsayısında artışa sebep olmuştur. Bu artışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir Şekilde gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak, killi zemin karışımı içerisine nufus eden sudaki toplam tuz konsantrasyonunun olduğu deęerlendirilmiŐtir.

Çizelge 3.28. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Cl (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	1,410E-03	1,46E-02
YKS	5,077E-02	1,04E+00
AS	8,970E-02	1,90E-02
MS	1,314E-01	1,28E-02
AC	2,175E-01	6,81E-03
KS	5,966E+00	1,55E-02
MD	2,856E+02	1,48E-01
KD	3,312E+02	1,67E-01
ED	7,588E+02	2,62E-01
AD	7,831E+02	2,19E-01



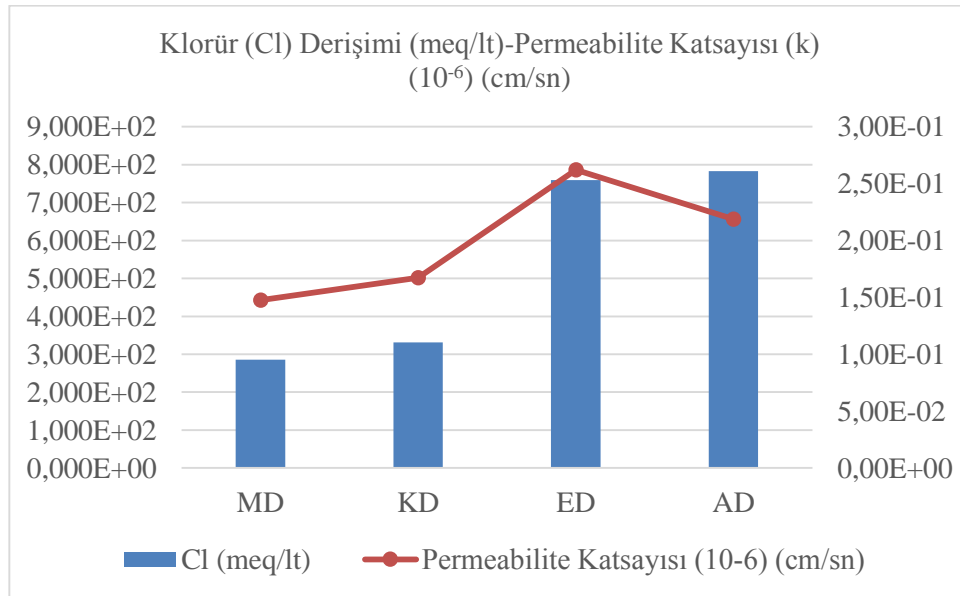
Şekil 3.28. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Klorür (Cl) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenerek klorür (Cl) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen klorür (Cl) derişimleri Çizelge 3.29’da verilmiştir. Klorür (Cl) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.29’da verildiği gibidir. Çizelge 3.29 ve Şekil 3.29 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre klorür (Cl) derişiminin 758,8 meq/lt derişimine kadar artışı ile permeabilite katsayısında artış ve bu derişimden itibaren artışta permeabilite katsayısında bir azalış gözlenmiştir.

Çizelge 3.29. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Cl (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	2,856E+02	1,48E-01
KD	3,312E+02	1,67E-01
ED	7,588E+02	2,62E-01
AD	7,831E+02	2,19E-01

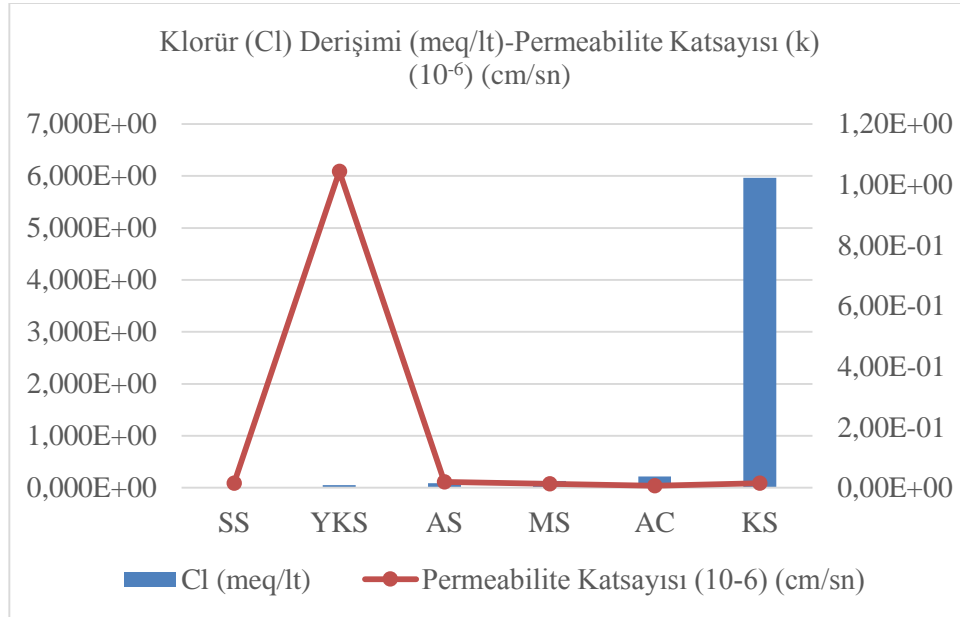


Şekil 3.29. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde klorür (Cl) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.30’da verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.30’a göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, klorür (Cl) derişimi ile permeabilite katsayısı arasında bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.30. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Cl (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	1,410E-03	1,46E-02
YKS	5,077E-02	1,04E+00
AS	8,970E-02	1,90E-02
MS	1,314E-01	1,28E-02
AC	2,175E-01	6,81E-03
KS	5,966E+00	1,55E-02



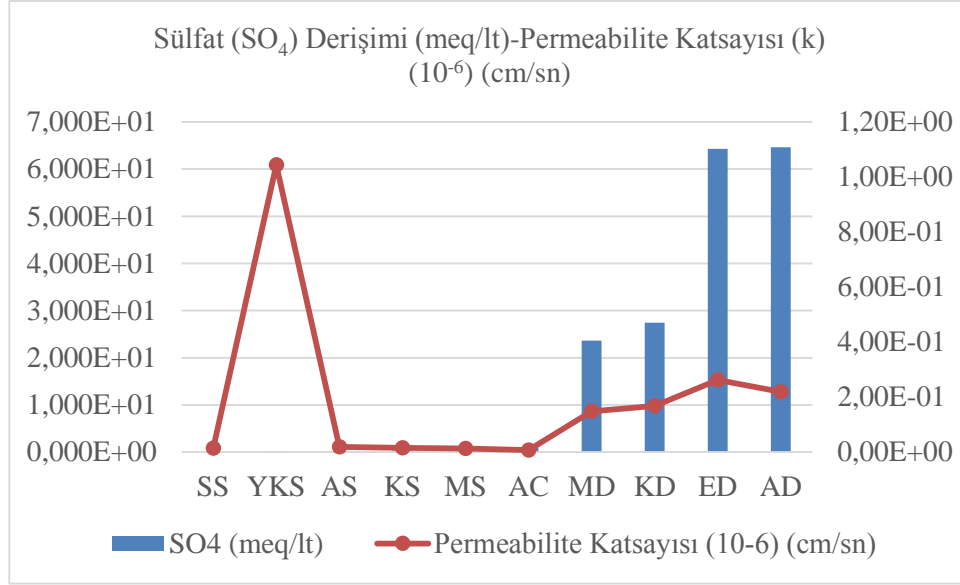
Şekil 3.30. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.1.11. Suların Sülfat (SO₄) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sülfat (SO₄) derişimleri Çizelge 3.31’de verildiği gibidir. Sülfat (SO₄) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.31’de verildiği gibidir. Çizelge 3.31 ve Şekil 3.31 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre sülfat (SO₄) derişiminin 0,9073 meq/lt derişimden itibaren artışı permeabilite katsayısında artışa sebep olmuştur. Bu artışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Sülfat (SO₄) miktarındaki artışla birlikte yüksek tuz konsantrasyonu, iyonları kil parçacıklarının yüzeylerine daha kuvvetli bir şekilde itmekte ve iyonların kil parçacıkları tarafından tutulmasını arttırmakta ve buna bağlı olarak tuzluluk ve tuzluluğu oluşturan iyonların artması kil oranı yüksek olan zemin karışımında topaklanmayı (flokülasyonu) arttırarak permeabilite katsayısını yüksek değerlere çıkarmaktadır.

Çizelge 3.31. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	SO ₄ (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	1,249E-03	1,46E-02
YKS	1,026E-01	1,04E+00
AS	2,394E-01	1,90E-02
KS	3,269E-01	1,55E-02
MS	3,292E-01	1,28E-02
AC	9,073E-01	6,81E-03
MD	2,362E+01	1,48E-01
KD	2,742E+01	1,67E-01
ED	6,426E+01	2,62E-01
AD	6,461E+01	2,19E-01



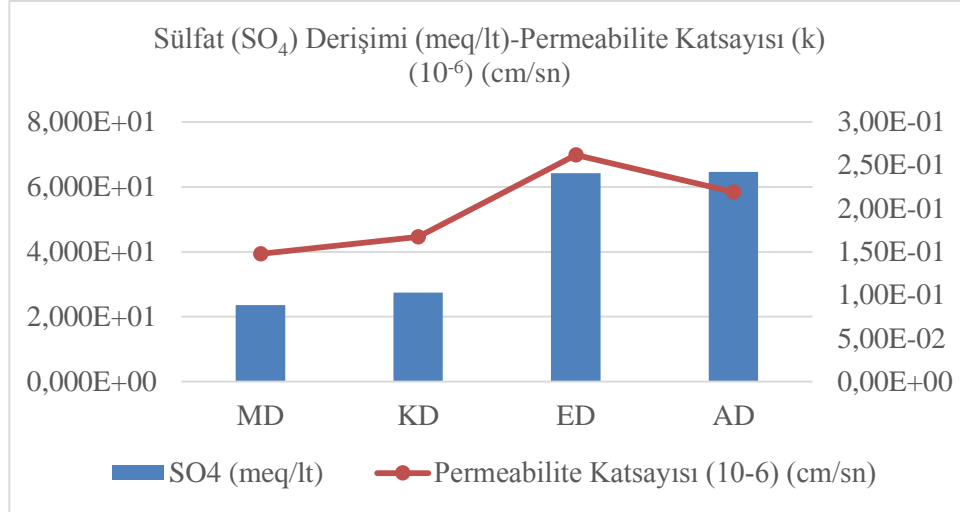
Şekil 3.31. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Sülfat (SO₄) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenecek sülfat (SO₄) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sülfat (SO₄) derişimleri Çizelge 3.32’de verildiği gibidir. Sülfat (SO₄) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.32’de verildiği gibidir. Çizelge 3.32 ve Şekil 3.32 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre sülfat (SO₄) derişiminin 64,26 meq/Lt derişime kadar artması permeabilite katsayısını arttırmış ve bu derişimden itibaren artış permeabilite katsayısını azda olsa azalttı gözlenmiştir.

Çizelge 3.32. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	SO ₄ (meq/Lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	2,362E+01	1,48E-01
KD	2,742E+01	1,67E-01
ED	6,426E+01	2,62E-01
AD	6,461E+01	2,19E-01

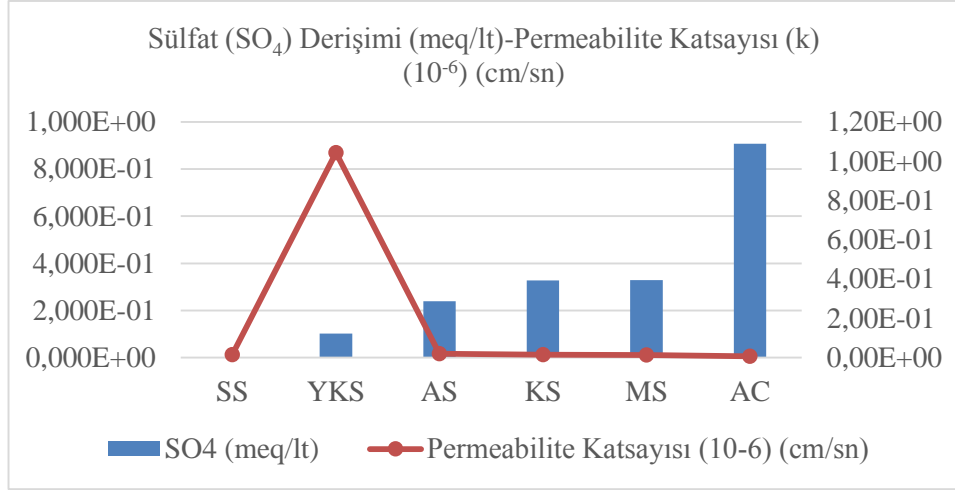


Şekil 3.32. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.33’de verildiği gibidir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.33’e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, sülfat (SO₄) derişiminin çok düşük olmasından kaynaklı olarak permeabilite katsayısı ile arasında bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.33. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	SO ₄ (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	1,249E-03	1,46E-02
YKS	1,026E-01	1,04E+00
AS	2,394E-01	1,90E-02
KS	3,269E-01	1,55E-02
MS	3,292E-01	1,28E-02
AC	9,073E-01	6,81E-03



Şekil 3.33. %30 kum + %70 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

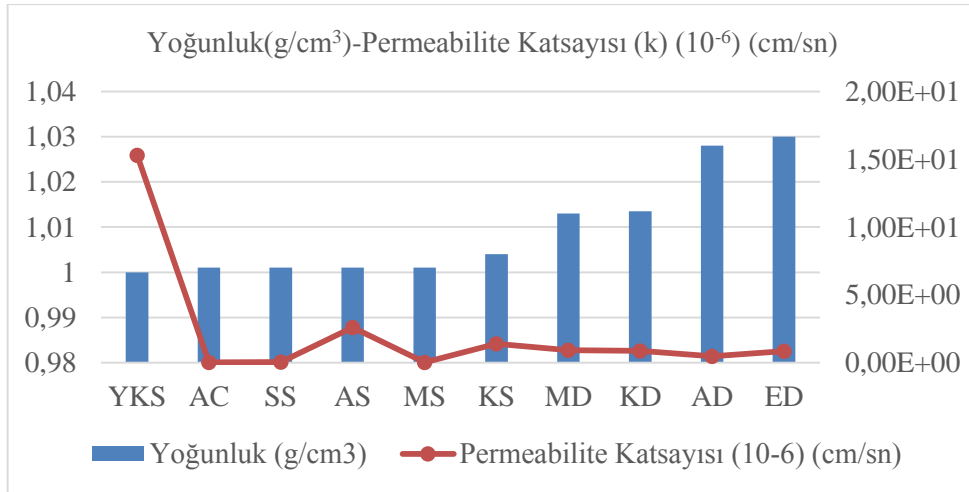
3.2. %70 KUM +%30 BENTONİT ÜZERİNDE YAPILAN PERMEABİLİTE DENEYLERİNİN SONUÇLARI İLE SU KİMYASI ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ

3.2.1. Suların Yoğunluğu ile Permeabilite katsayısının karşılaştırılması

Su yoğunluğunun permabilite üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için deneylerde kullanılan tüm suların yoğunlukları 151 nolu hidrometre yardımı ile belirlenmiştir. Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve suların hidrometre ile belirlenen yoğunluk değerleri Çizelge 3.34'de verildiği gibidir. Yoğunluk değeri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.34'de verilmiştir. Çizelge 3.34 ve Şekil 3.34 incelendiğinde sularının yoğunluğunun 1,004 g/cm³ değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu çözeltilerin yoğunlukları yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak suların içerisinde bulunan tuzların ve tuzluluğu oluşturan iyon derişimlerinin yüksek olmasından kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Bu durumun sebebi, kumlu zemin parçacıklarının yüzey alanlarının iyonlarla yüksek reaksiyonlara girmemesi sonucunda tuzluluğun kum oranı yüksek olan zemin karışımının içerisindeki gözenekleri tıkaması olarak düşünülmüştür.

Çizelge 3.34. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
YKS	1	1,53E+01
AC	1,001	2,34E-02
SS	1,001	3,34E-02
AS	1,001	2,60E+00
MS	1,001	2,95E-02
KS	1,004	1,38E+00
MD	1,013	9,21E-01
KD	1,0135	8,61E-01
AD	1,028	4,77E-01
ED	1,03	8,46E-01



Şekil 3.34. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

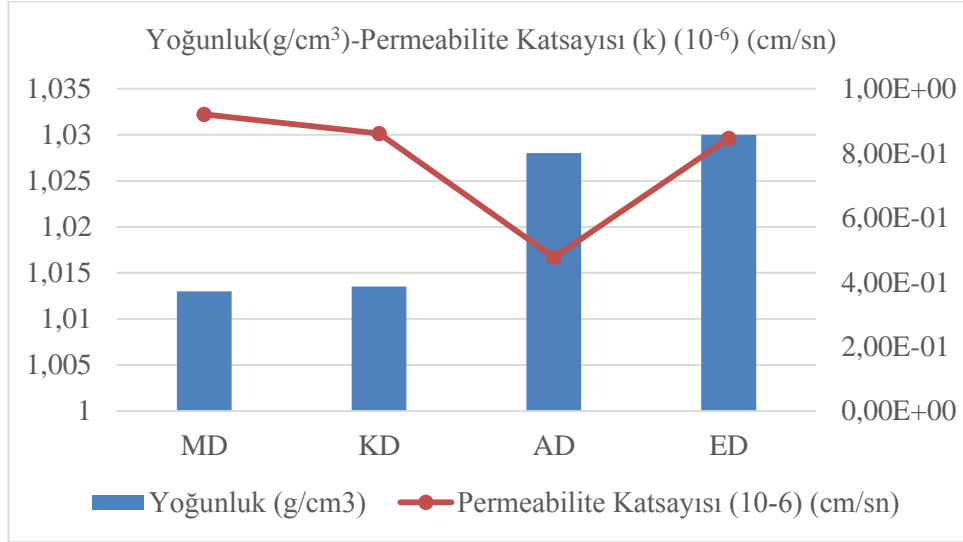
Yoğunluk değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenecek Yoğunluk değerini permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi incelenmiştir.

Su yoğunluğunun permabilite üzerindeki ki etkisinin belirlenebilmesi için deneylerde kullanılan tüm suların yoğunlukları 151 nolu hidrometre yardımı ile belirlenmiştir. Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile kum-bentonit karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permabilite ve suların hidrometre ile belirlenen yoğunluk değerleri Çizelge 3.35’de verildiği gibidir. Yoğunluk değeri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise şekil 3.35’de verilmiştir. Çizelge 3.35 ve Şekil 3.35

incelendiğinde deniz sularının yoğunluğunun $1,028 \text{ g/cm}^3$ değerine kadar artması permeabilite katsayısını azaltmış ve $1,028 \text{ g/cm}^3$ değerinden daha fazla olması durumunda ise permeabilite katsayısını azda olsa artırdığı gözlenmiştir.

Çizelge 3.35. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Yoğunluk (g/cm^3)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	1,013	9,21E-01
KD	1,0135	8,61E-01
AD	1,028	4,77E-01
ED	1,03	8,46E-01

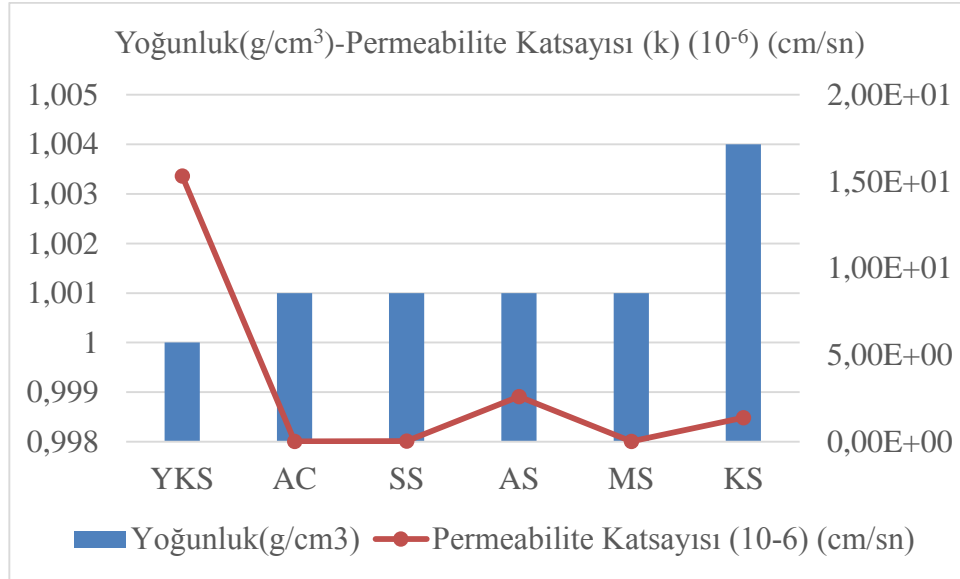


Şekil 3.35. %70 Kum + %30 Bentonit karışımı ile hesaplanan Deniz sularında Yoğunluk ve Permeabilite Katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) kendi içerisinde değerlendirdiğinde ise yoğunluk ve permabilite sonuçları Çizelge 3.36'daki gibidir. Sonuçların analizi için bu veriler grafik olarak yorumlandığında Şekil 3.36 görüldüğü üzere ve kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, permeabilite katsayısı yoğunluk ilişkisi net bir şekilde gözlenmemiştir. Bu durum yoğunluğun tüm sularda çok yakın ve bir çoğunun eşit olmasından kaynaklı olmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 3.36. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Permeabilite Katsayısı (k) (10 ⁻⁶) (cm/sn)
YKS	1	1,53E+01
AC	1,001	2,34E-02
SS	1,001	3,34E-02
AS	1,001	2,60E+00
MS	1,001	2,95E-02
KS	1,004	1,38E+00



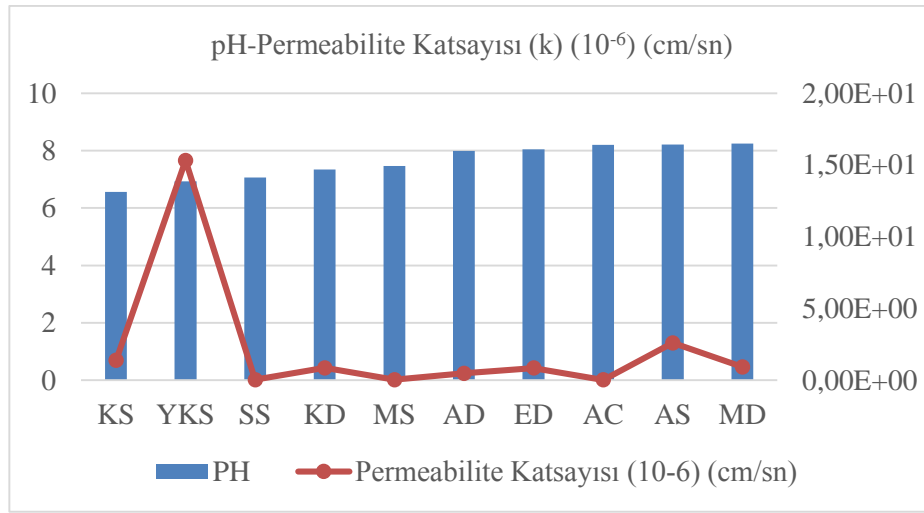
Şekil 3.36. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda yoğunluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi

3.2.2. Suların pH Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen pH değerleri Çizelge 3.37 verilmiştir. pH değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.37 gösterilmiştir. Çizelge 3.37 ve Şekil 3.37 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı ile pH değere arasında net bir ilişki kurulamamıştır.

Çizelge 3.37. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	pH	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
KS	6,56	1,38E+00
YKS	6,93	1,53E+01
SS	7,06	3,34E-02
KD	7,34	8,61E-01
MS	7,46	2,95E-02
AD	7,99	4,77E-01
ED	8,04	8,46E-01
AC	8,2	2,34E-02
AS	8,21	2,60E+00
MD	8,25	9,21E-01

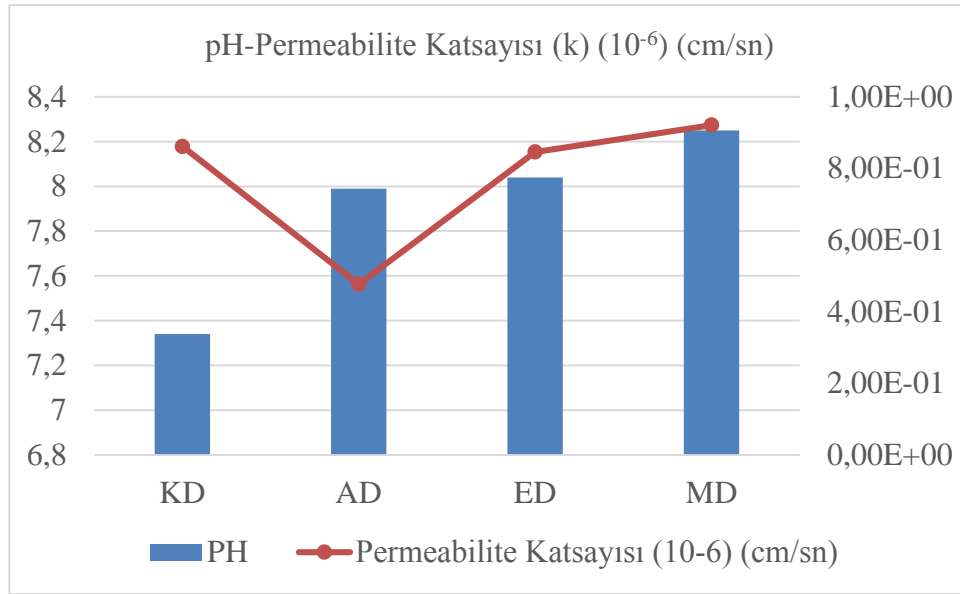


Şekil 3.37. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

pH değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerak pH değerinin permeabilite üzerindeki ekisi tartışılmıştır. Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen pH değerleri Çizelge 3.38’de verilmiştir. pH değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.38’de gösterilmiştir. Çizelge 3.38 ve şekil 3.38 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, pH değerinin 7,99 değerine kadar azalmış ve bu değerden itibaren artışa geçmiştir.

Çizelge 3.38. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	pH	Permeabilite Katsayısı (k) (10^{-6}) (cm/sn)
KD	7,34	8,61E-01
AD	7,99	4,77E-01
ED	8,04	8,46E-01
MD	8,25	9,21E-01

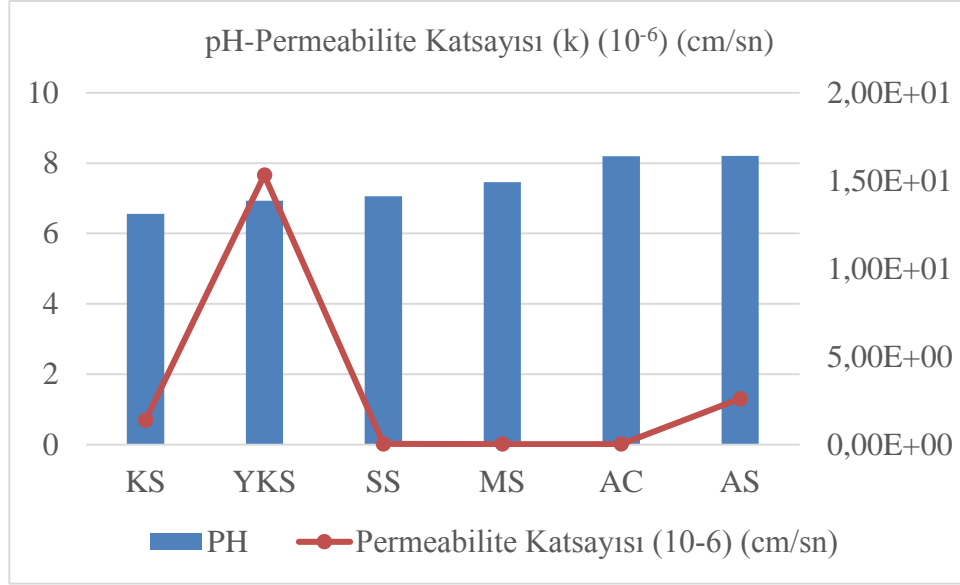


Şekil 3.38. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde pH ve permeabilite sonuçları çizelge 3.39’da verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.39’a göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, pH değeri ile permeabilite katsayısı arasındaki ilişki net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.39. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda pH ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	pH	Permeabilite Katsayısı (k) (10^{-6}) (cm/sn)
KS	6,56	1,38E+00
YKS	6,93	1,53E+01
SS	7,06	3,34E-02
MS	7,46	2,95E-02
AC	8,2	2,34E-02
AS	8,21	2,60E+00



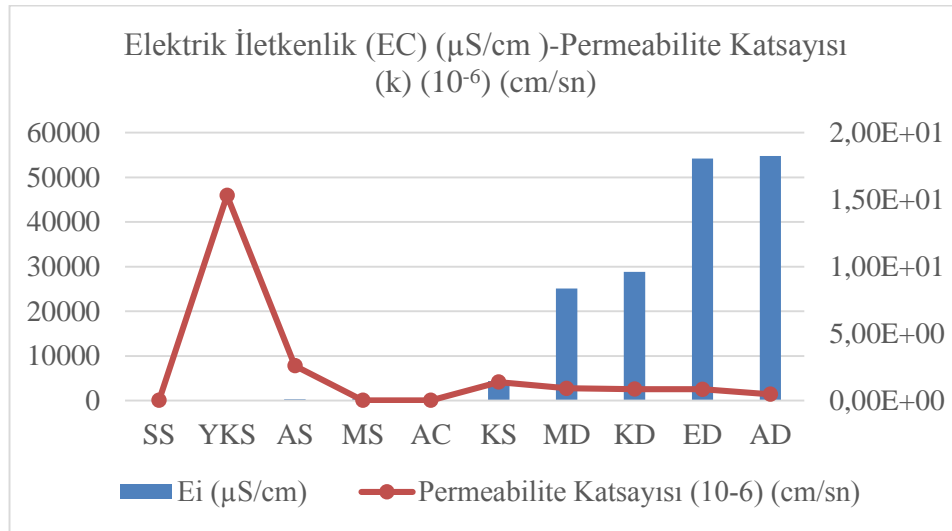
Şekil 3.39. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda pH ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.2.3. Suların EC (Elektrik İletkenlik) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 3.40'da verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.40'da gösterilmiştir. Çizelge 3.40 ve Şekil 3.40 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, elektriksel iletkenlik değerinin 4385 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu çözeltilerin elektriksel iletkenlik değerleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumun sebebi ise elektriksel iletkenliğin, elektrik yükü taşıyan iyonların dolaşımından oluşması, elektrik akımlarının iyonik tuzlarla taşınmasından kaynaklı olduğu ve deniz suları ile kaplıca suyunda iyon derişimlerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak elektriksel iletkenlik değerini oluşturan tuzluluk ve tuzluluk iyonlarının artması kumlu zeminlerde permeabilite katsayısını azalttığı görülmüştür.

Çizelge 3.40. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	44	3,34E-02
YKS	71	1,53E+01
AS	299	2,60E+00
MS	422	2,95E-02
AC	623	2,34E-02
KS	4385	1,38E+00
MD	25081	9,21E-01
KD	28856	8,61E-01
ED	54205	8,46E-01
AD	54794	4,77E-01



Şekil 3.40. %70 kum + %30 bentonit bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların elektriksel iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

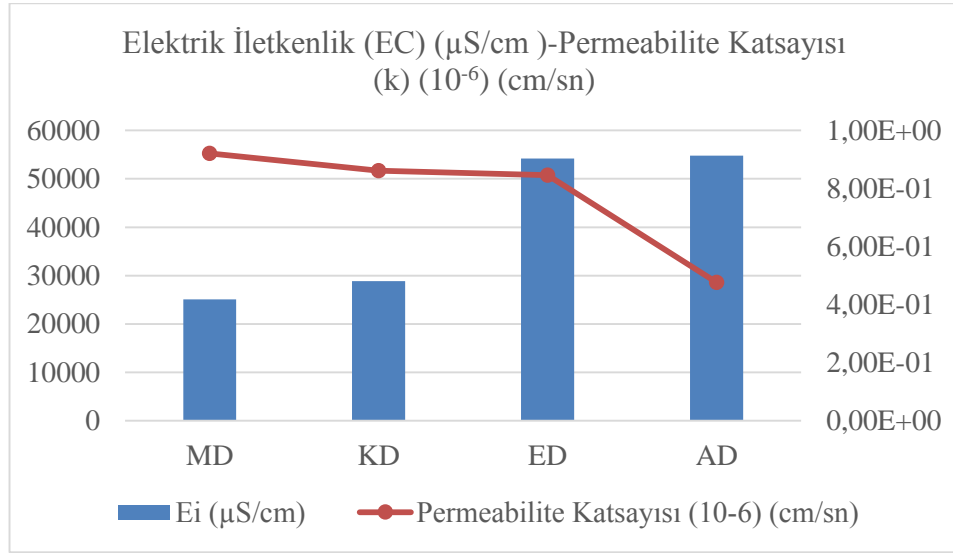
Elektrik iletkenlik değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerek elektrik iletkenlik değerlerinin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayıları ve suların kimyasal analizlerinden elde edilen elektrik iletkenlik değerleri Çizelge 3.41’de verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.41’de

gösterilmiştir. Çizelge 3.41 ve Şekil 3.41 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, elektriksel iletkenlik değerinin artması ile azalmıştır.

Çizelge 3.41. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	25081	9,21E-01
KD	28856	8,61E-01
ED	54205	8,46E-01
AD	54794	4,77E-01

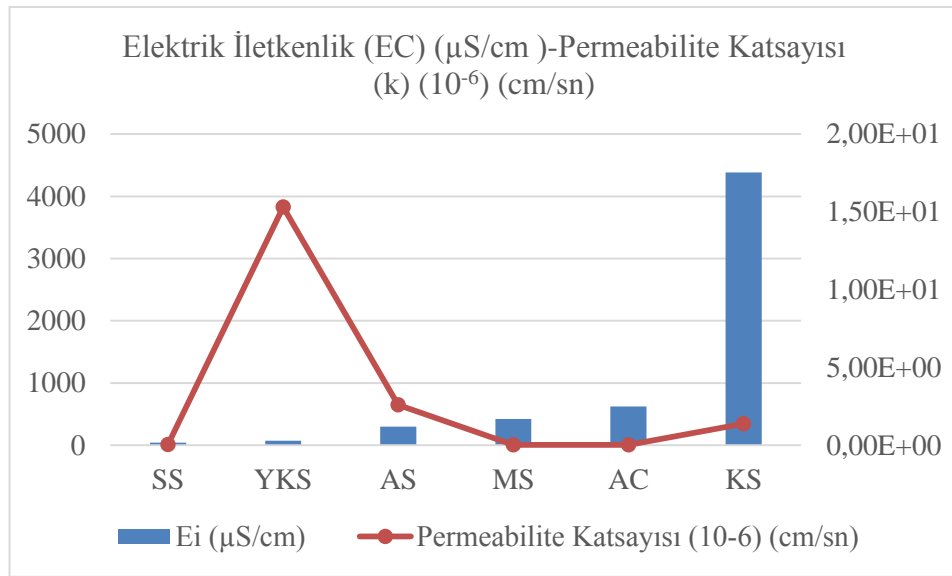


Şekil 3.41. %70 Kum + %30 Bentonit karışımı ile hesaplanan Deniz sularında Elektrik İletkenlik ve Permeabilite Katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde elektrik iletkenlik ve permeabilite sonuçları çizelge 3.42'deki gibidir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.42'ye göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, tatlı sularda permeabilite katsayısı elektrik iletkenlik değerinin $71 \mu\text{S/cm}$ 'den $422 \mu\text{S/cm}$ değerine kadar çıkması ile azalmıştır. Fakat genelinde net bir ilişki gözlenmemiştir.

Çizelge 3.42. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	44	3,34E-02
YKS	71	1,53E+01
AS	299	2,60E+00
MS	422	2,95E-02
AC	623	2,34E-02
KS	4385	1,38E+00



Şekil 3.42. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda elektrik iletkenlik ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

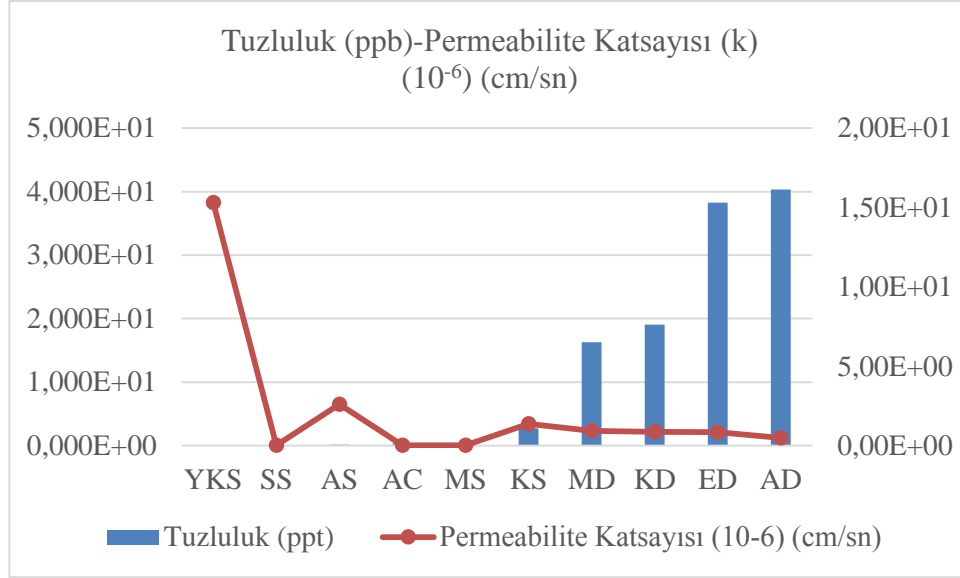
3.2.4. Suların Tuzluluk (ppb) Değerleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve Multiparametre ölçer YSI-256 cihazının ölçümünden elde edilen tuzluluk değerleri Çizelge 3.43'de verilmiştir. Tuzluluk değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.43'de gösterilmiştir. Çizelge 3.43 ve Şekil 3.43 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, tuzluluk değerinin 2.75 ppb değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu

çözeltilerin tuzluluk oranlarının yüksek olmasından dolayı, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır. Bununla birlikte sudaki yüksek sodyum adsorpsiyon oranı, sodyumu zeminde baskın katyon haline getirebilmekte ve sonuç olarak da zemin karışımındaki kil zeminde değişebilir kalsiyum ve magnezyumun bir kısmı sodyum ile değişebilir hale gelmektedir. Bu da zemin parçacıklarının büzülmesine ve kolloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesine neden olmaktadır (Zhang et al. 2020). Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin artması kumlu zeminlerde gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.43. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Tuzluluk (ppb)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
YKS	4,000E-02	1,53E+01
SS	8,000E-02	3,34E-02
AS	1,500E-01	2,60E+00
AC	3,500E-01	2,34E-02
MS	4,100E-01	2,95E-02
KS	2,750E+00	1,38E+00
MD	1,631E+01	9,21E-01
KD	1,905E+01	8,61E-01
ED	3,827E+01	8,46E-01
AD	4,034E+01	4,77E-01



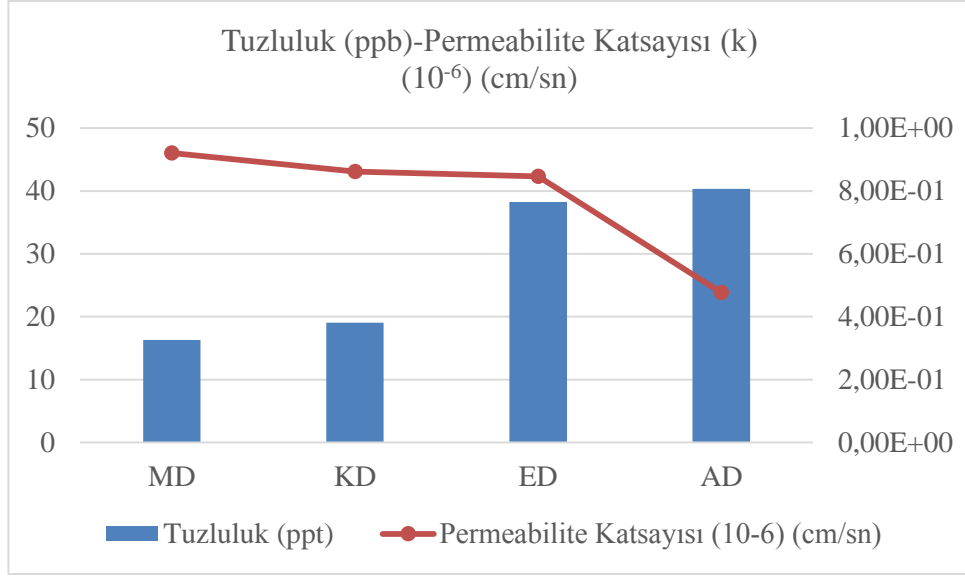
Şekil 3.43. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tuzluluk değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenecek tuzluluk değerlerinin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile kum-bentonit karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve Multiparametre ölçer YSI-256 cihazının ölçümünden elde edilen tuzluluk değerleri Çizelge 3.44’de verilmiştir. Tuzluluk değerleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.44’de gösterilmiştir. Çizelge 3.44 ve Şekil 3.44 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, tuzluluk değerinin artışı ile azalmıştır.

Çizelge 3.44. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Tuzluluk (ppb)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	16,31	9,21E-01
KD	19,05	8,61E-01
ED	38,27	8,46E-01
AD	40,34	4,77E-01

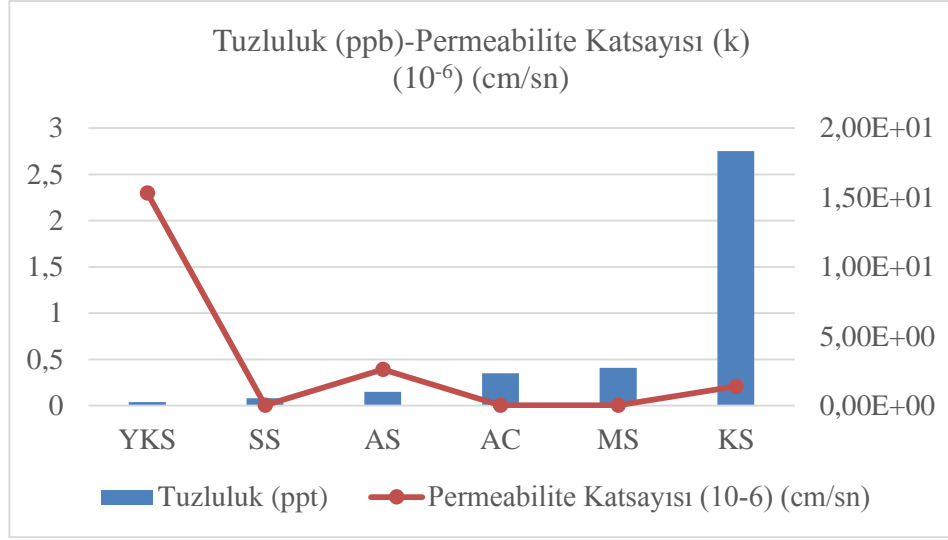


Şekil 3.44. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde tuzluluk ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.45'deki gibidir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.45'e göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, tuzluluk değerlerinin çok düşük olmasından dolayı permeabilite katsayısı ile ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.45. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Tuzluluk (ppb)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
YKS	0,04	1,53E+01
SS	0,08	3,34E-02
AS	0,15	2,60E+00
AC	0,35	2,34E-02
MS	0,41	2,95E-02
KS	2,75	1,38E+00



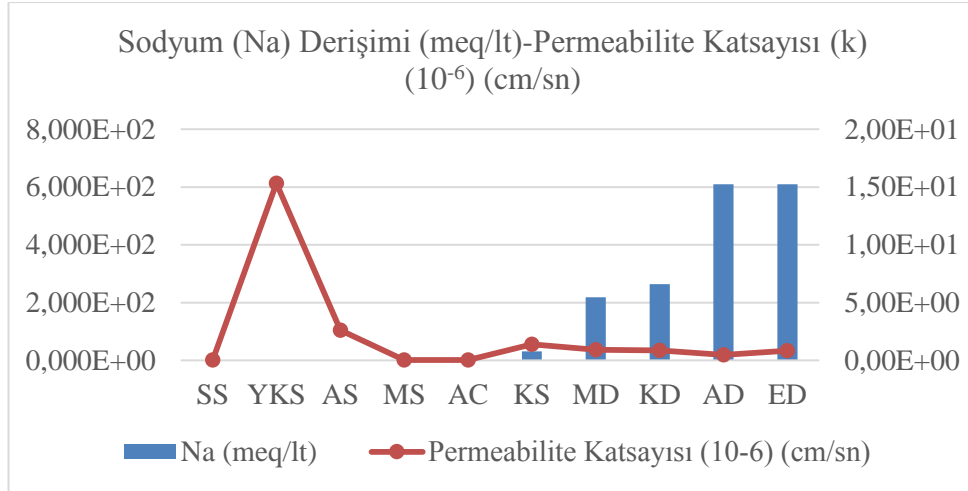
Şekil 3.45. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda tuzluluk ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.2.5. Suların Sodyum (Na) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sodyum (Na) derişimleri Çizelge 3.46’da verilmiştir. Sodyum (Na) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.46’da gösterilmiştir. Çizelge 3.46 ve Şekil 3.46 üzerinde yapılan analizlere göre permeabilite katsayısı, sodyum (Na) derişiminin 30,90 meq/lt değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır. Bu durum zemin parçacıklarının büzülmesiyle birlikte kolloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesi neden olarak iyon derişiminin artmasıyla birlikte kum oranı yüksek zeminde gözenekliliği azaltarak permeabilite katsayısının azaltmasına neden olmuştur.

Çizelge 3.46. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Na (meq/lit)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,045E-03	3,34E-02
YKS	7,960E-02	1,53E+01
AS	2,540E-01	2,60E+00
MS	2,901E-01	2,95E-02
AC	8,673E-01	2,34E-02
KS	3,090E+01	1,38E+00
MD	2,180E+02	9,21E-01
KD	2,634E+02	8,61E-01
AD	6,091E+02	4,77E-01
ED	6,096E+02	8,46E-01



Şekil 3.46. % 70 kum + % 30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

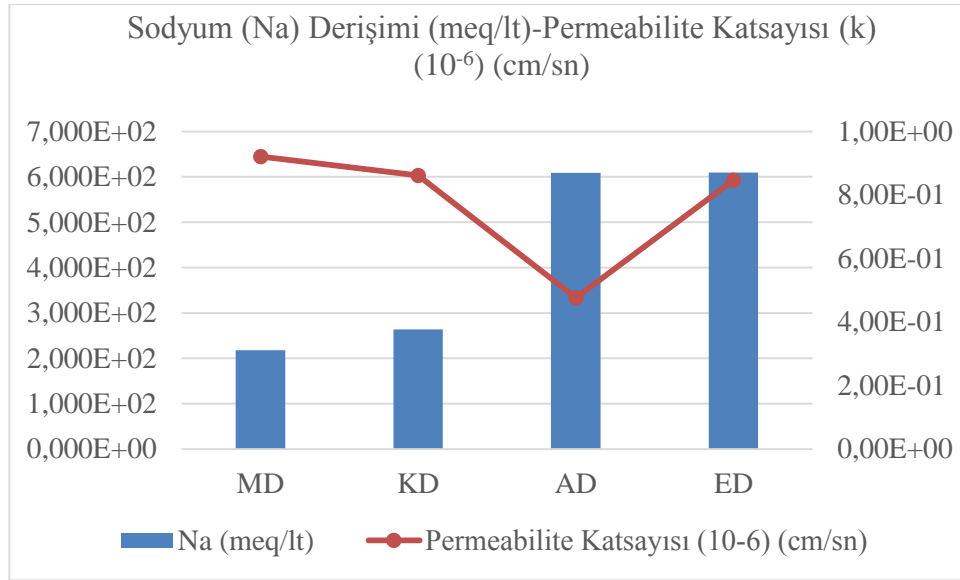
Sodyum (Na) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenecek sodyum (Na) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sodyum

(Na) derişimleri Çizelge 3.45'deki gibidir. Sodyum (Na) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.45'de gösterilmiştir. Çizelge 3.47 ve Şekil 3.47 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, sodyum (Na) derişiminin 609,1 meq/lt değerine kadar azalmış ve bu değerden itibaren derişimin artması ile azda olsa permeabilite katsayısı artmıştır.

Çizelge 3.47. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Na (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	2,180E+02	9,21E-01
KD	2,634E+02	8,61E-01
AD	6,091E+02	4,77E-01
ED	6,096E+02	8,46E-01

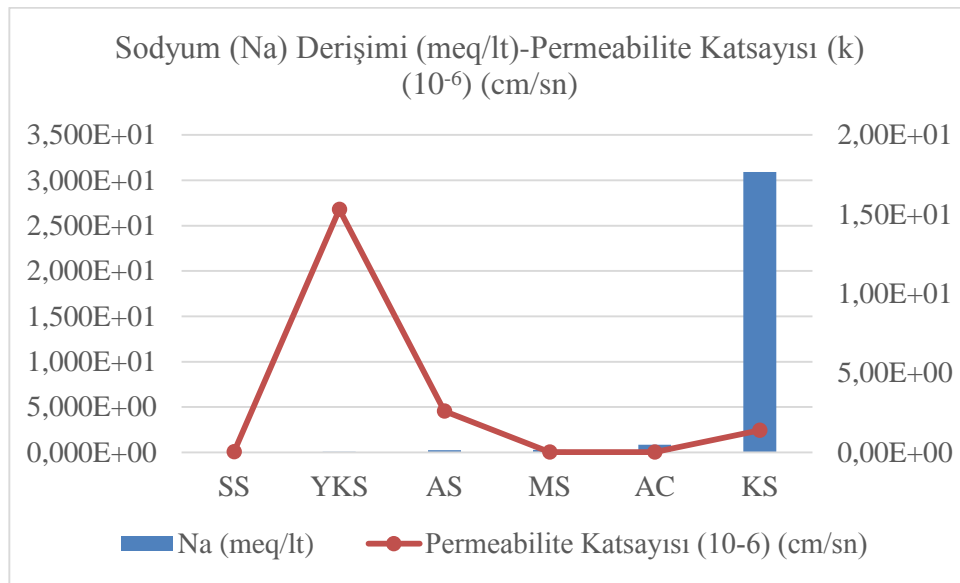


Şekil 3.47. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde sodyum (Na) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.48'de verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için yapılan Şekil 3.48'e göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, sodyum (Na) derişimlerinin çok düşük olmasından dolayı permeabilite ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.48. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Na (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,045E-03	3,34E-02
YKS	7,960E-02	1,53E+01
AS	2,540E-01	2,60E+00
MS	2,901E-01	2,95E-02
AC	8,673E-01	2,34E-02
KS	3,090E+01	1,38E+00



Şekil 3.48. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sodyum (Na) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

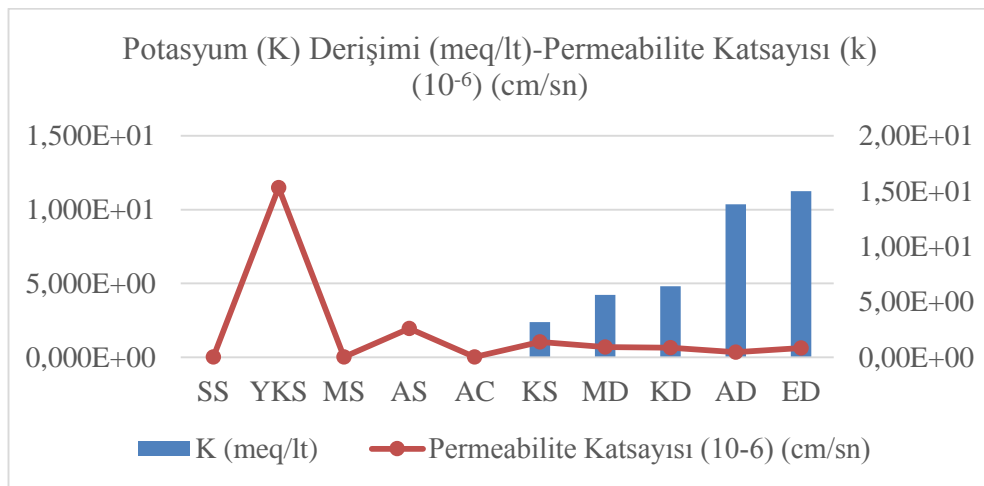
3.2.6. Suların Potasyum (K) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen potasyum (K) derişimleri Çizelge 3.49’da verilmiştir. Potasyum (K) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.49’da gösterilmiştir. Çizelge 3.49 ve Şekil 3.49 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre permeabilite katsayısı, potasyum (K) derişiminin 2,393 meq/lt değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu

çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Suyun zemin içerisine yayılmasıyla zemin gözeneklerinde artan iyon derişimi gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da zemin gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmıştır. Bu da zemin parçacıklarının büzülmesine ve kolloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesine neden olmaktadır (Zhang et al. 2020). Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin artması kum miktarı fazla olan zeminde gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.49. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	K (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	2,558E-04	3,34E-02
YKS	1,714E-02	1,53E+01
MS	1,842E-02	2,95E-02
AS	2,583E-02	2,60E+00
AC	3,504E-02	2,34E-02
KS	2,393E+00	1,38E+00
MD	4,230E+00	9,21E-01
KD	4,816E+00	8,61E-01
AD	1,037E+01	4,77E-01
ED	1,126E+01	8,46E-01



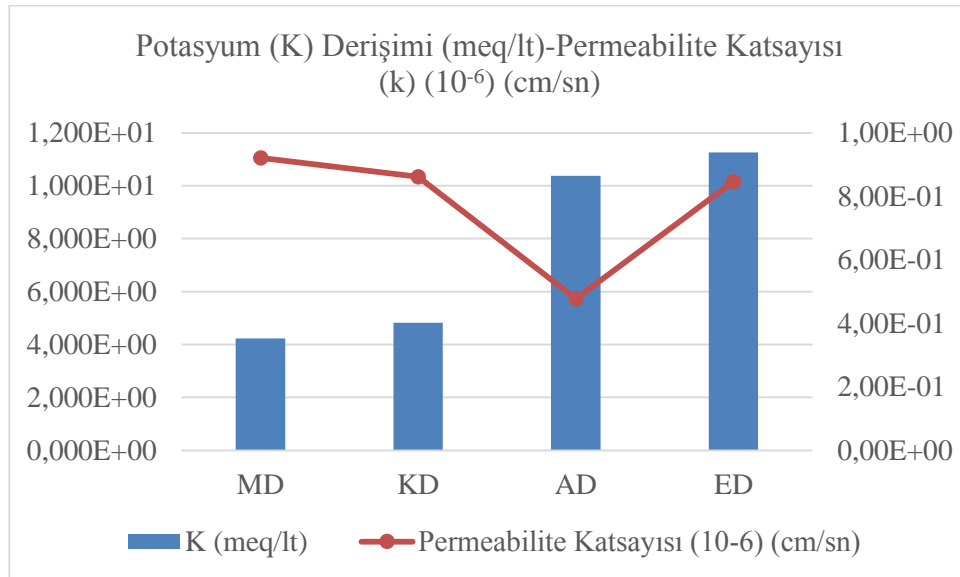
Şekil 3.49. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Potasyum (K) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerek potasyum (K) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi irdelenmiştir.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile kum-bentonit karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen potasyum (K) derişimleri Çizelge 3.50'deki gibidir. Potasyum (K) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.50'de verilmiştir. Çizelge 3.50 ve Şekil 3.50 üzerinde yapılan çıkarımlara göre permeabilite katsayısı, potasyum (K) derişiminin 10,37 meq/lt derişimine kadar artması permeabilite katsayısını azaltmış ve bu derişimden itibaren artış azda olsa permeabilite katsayısını arttırmıştır.

Çizelge 3.50. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	K (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	4,230E+00	9,21E-01
KD	4,816E+00	8,61E-01
AD	1,037E+01	4,77E-01
ED	1,126E+01	8,46E-01

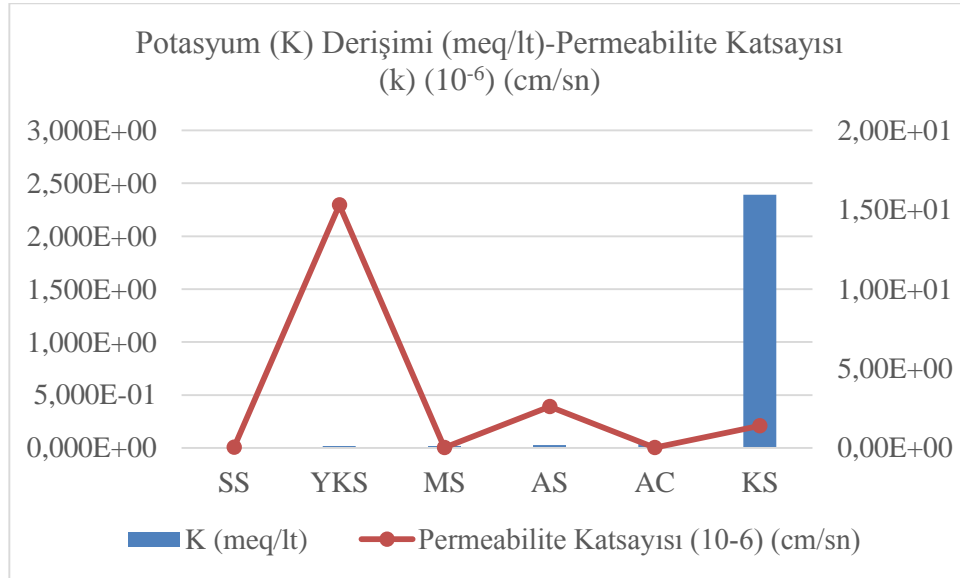


Şekil 3.50. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum (K) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.51'deki gibi verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için tasarlanan Şekil 3.51'e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, potasyum (K) derişimlerinin çok küçük olmasından dolayı permeabilite ilişkisi net bir şekilde gözlenememiştir.

Çizelge 3.51. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	K (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	2,558E-04	3,34E-02
YKS	1,714E-02	1,53E+01
MS	1,842E-02	2,95E-02
AS	2,583E-02	2,60E+00
AC	3,504E-02	2,34E-02
KS	2,393E+00	1,38E+00



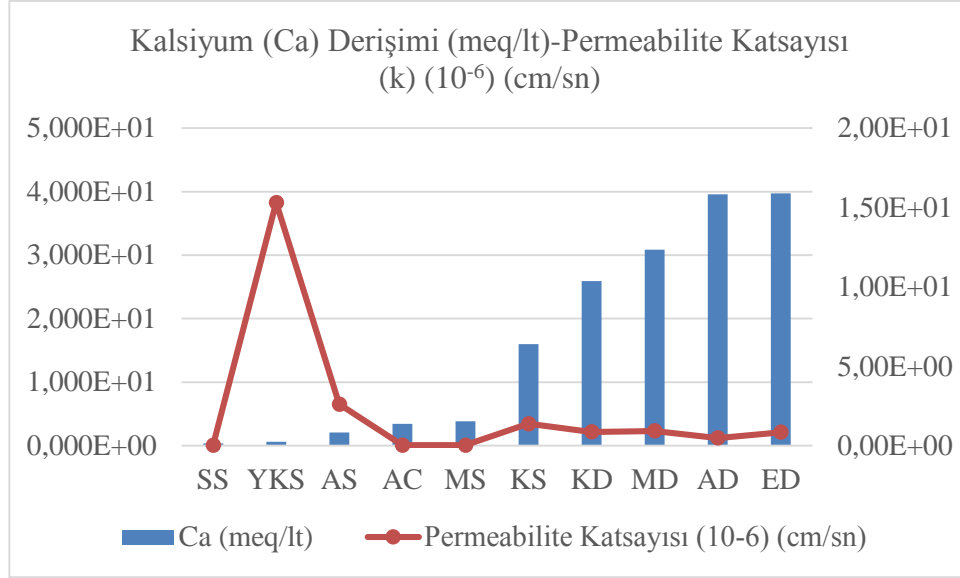
Şekil 3.51. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda potasyum (K) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.2.7. Suların Kalsiyum (Ca) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen kalsiyum (Ca) derişimleri Çizelge 3.52’de verilmiştir. Kalsiyum (Ca) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.52’de gösterilmiştir. Çizelge 3.52 ve Şekil 3.52 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve analizlere göre, kalsiyum (Ca) derişiminin 15,98 meq/lt değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında genel bir azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır. Bununla birlikte sudaki yüksek sodyum adsorpsiyon oranı, sodyumu zeminde baskın katyon haline getirebilmekte ve sonuç olarak da değişebilir kalsiyum ve magnezyumun bir kısmı sodyum ile değişebilir hale gelmektedir. Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin artması kumlu zeminlerde gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.52. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Ca (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,518E-01	3,34E-02
YKS	6,243E-01	1,53E+01
AS	2,068E+00	2,60E+00
AC	3,429E+00	2,34E-02
MS	3,835E+00	2,95E-02
KS	1,598E+01	1,38E+00
KD	2,591E+01	8,61E-01
MD	3,087E+01	9,21E-01
AD	3,958E+01	4,77E-01
ED	3,973E+01	8,46E-01



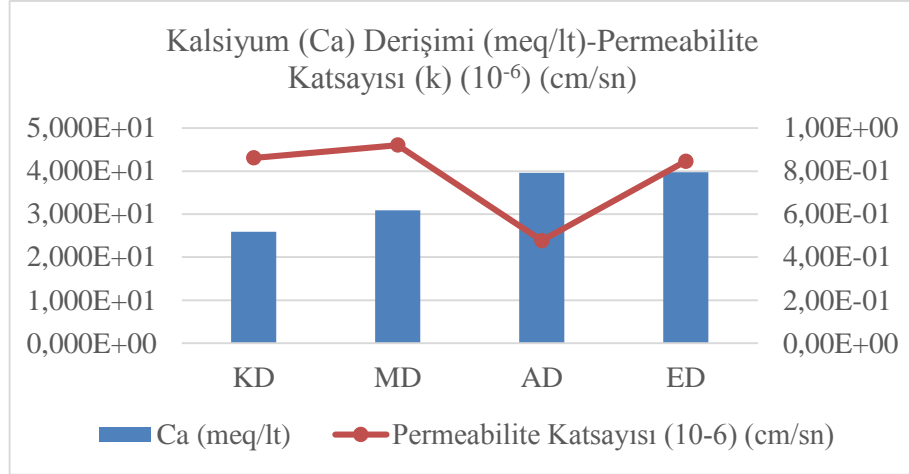
Şekil 3.52. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Kalsiyum (Ca) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için yine sular köken açısından kümelenerek kalsiyum (Ca) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen kalsiyum (Ca) derişimleri Çizelge 3.53’de verilmiştir. Kalsiyum (Ca) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.53’de gösterilmiştir. Çizelge 3.53 ve Şekil 3.53 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve analizlere göre deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ile permeabilite katsayısı arasında bir ilişki kurulamamıştır.

Çizelge 3.53. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Ca (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
KD	2,591E+01	8,61E-01
MD	3,087E+01	9,21E-01
AD	3,958E+01	4,77E-01
ED	3,973E+01	8,46E-01

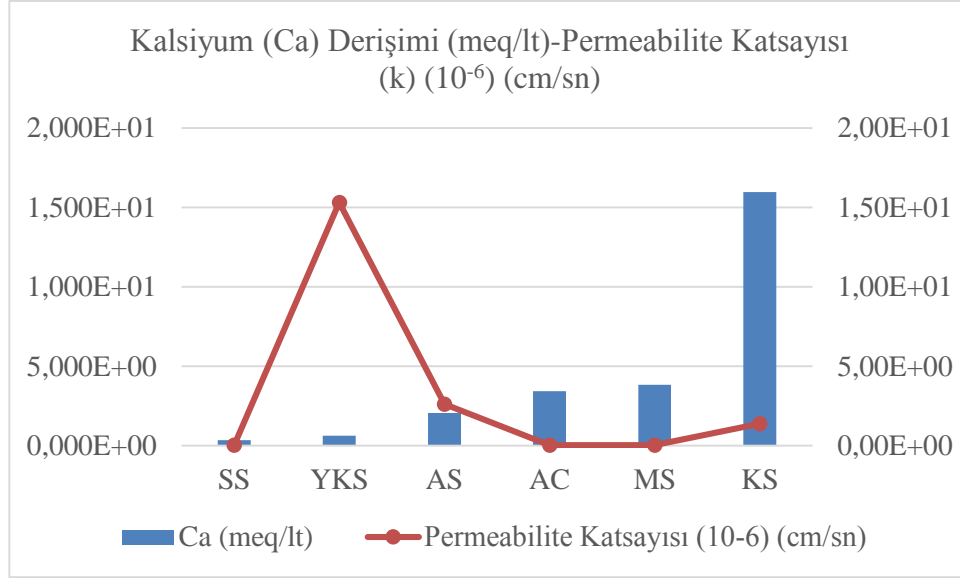


Şekil 3.53. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.54'deki gibi verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.54'e göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, kalsiyum (Ca) derişiminin çok düşük olmasından dolayı permeabilite katsayısı ile arasında net bir ilişki kurulamamıştır.

Çizelge 3.54. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Ca (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	3,518E-01	3,34E-02
YKS	6,243E-01	1,53E+01
AS	2,068E+00	2,60E+00
AC	3,429E+00	2,34E-02
MS	3,835E+00	2,95E-02
KS	1,598E+01	1,38E+00



Şekil 3.54. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda kalsiyum (Ca) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

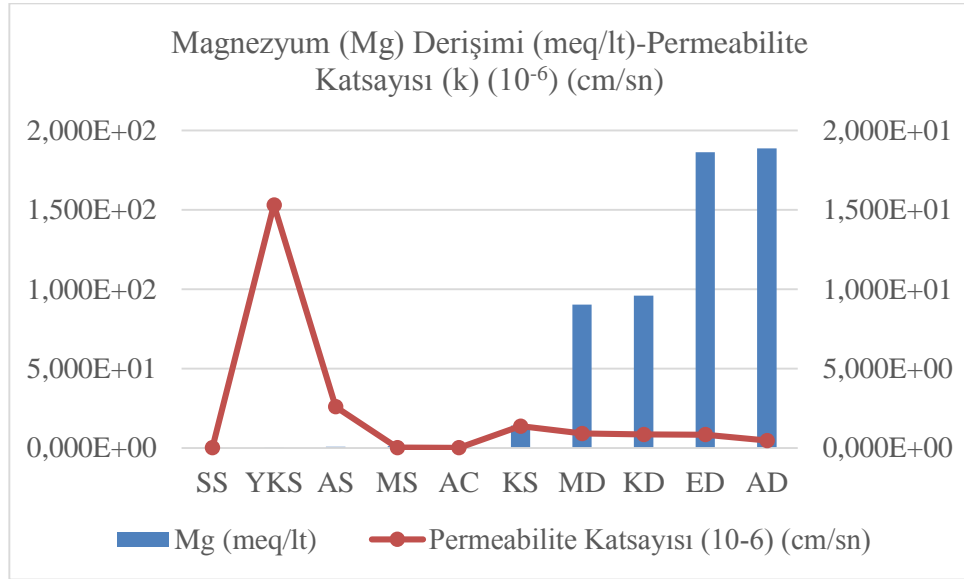
3.2.8. Suların Magnezyum (Mg) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen magnezyum (Mg) derişimleri Çizelge 3.55’de gösterilmiştir. Magnezyum (Mg) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.55’de gösterilmiştir. Çizelge 3.55 ve Şekil 3.55 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve çıkarımlara göre magnezyum (Mg) derişiminin 14,24 meq/l değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır. Bununla birlikte sudaki yüksek sodyum adsorpsiyon oranı, sodyumu zeminde baskın kation haline getirebilmekte ve sonuç olarak da değişebilir kalsiyum ve magnezyumun bir kısmı sodyum ile değişebilir hale gelmektedir. Bu da zemin parçacıklarının büzülmesine ve koloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesine neden olmaktadır (Zhang et al. 2020). Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin

artması gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.55. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Mg (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	1,563E-02	3,339E-02
YKS	8,722E-02	1,531E+01
AS	8,221E-01	2,604E+00
MS	1,211E+00	2,948E-02
AC	1,783E+00	2,340E-02
KS	1,424E+01	1,383E+00
MD	9,041E+01	9,208E-01
KD	9,610E+01	8,614E-01
ED	1,864E+02	8,460E-01
AD	1,888E+02	4,770E-01



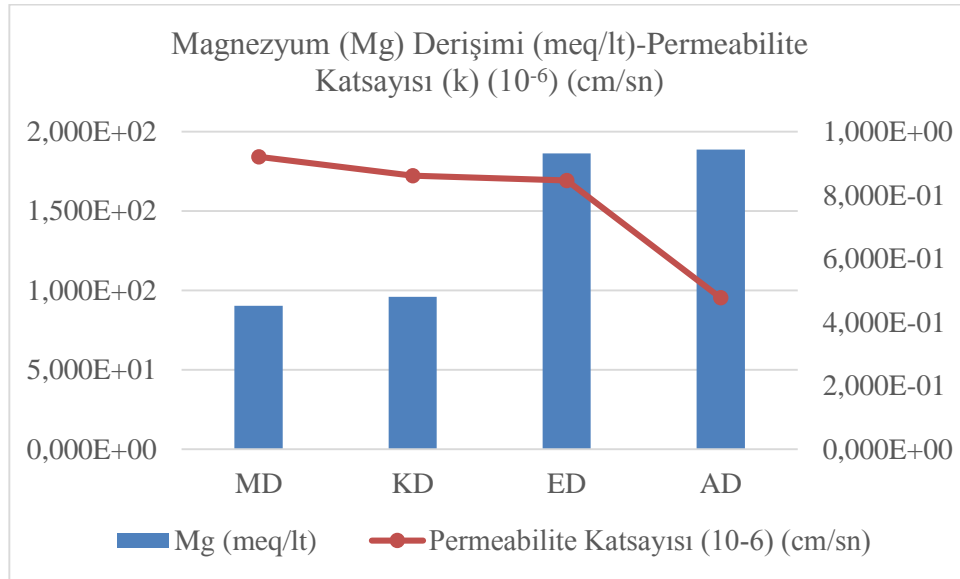
Şekil 3.55. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Magnezyum (Mg) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenerek magnezyum (Mg) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile kum-bentonit karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen magnezyum (Mg) derişimleri Çizelge 3.56'daki gibidir. Magnezyum (Mg) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.56'da gösterilmiştir. Çizelge 3.56 ve Şekil 3.56 üzerinde yapılan değerlendirmelere ve çıkarımlara göre magnezyum (Mg) derişiminin artması deniz sularında permeabilite katsayısını azaltmıştır.

Çizelge 3.56. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Mg (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
MD	9,041E+01	9,208E-01
KD	9,610E+01	8,614E-01
ED	1,864E+02	8,460E-01
AD	1,888E+02	4,770E-01



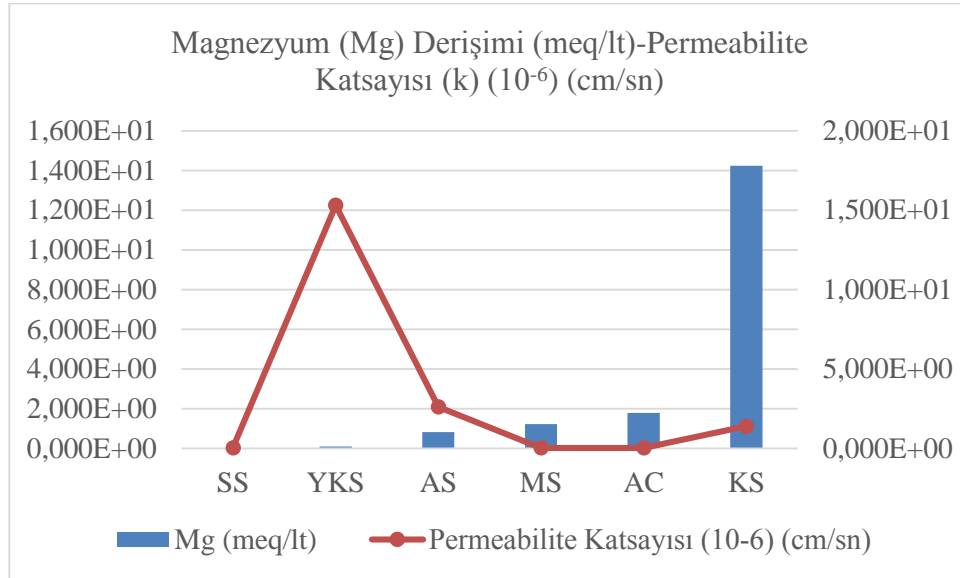
Şekil 3.56. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında magnezyum (Mg) ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.57'deki gibi verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.57'ye göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, magnezyum (Mg) derişimlerinin çok

küçük olmasından dolayı permeabilite katsayısı ile arasında net bir ilişki kurulamamıştır.

Çizelge 3.57. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Mg (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	1,563E-02	3,339E-02
YKS	8,722E-02	1,531E+01
AS	8,221E-01	2,604E+00
MS	1,211E+00	2,948E-02
AC	1,783E+00	2,340E-02
KS	1,424E+01	1,383E+00



Şekil 3.57. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda magnezyum (Mg) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

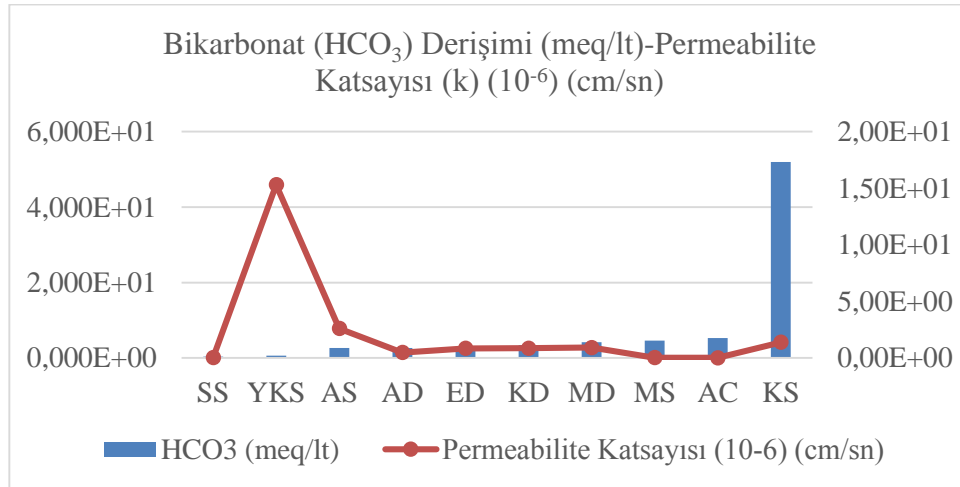
3.2.9. Suların Bikarbonat (HCO_3) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve su analizlerinden elde edilen bikarbonat (HCO_3) derişimleri Çizelge 3.58'de verildiği gibidir. Bikarbonat (HCO_3) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil

3.58'de verilmiştir. Çizelge 3.58 ve Şekil 3.58 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre bikarbonat (HCO_3) derişimi ile permeabilite katsayısı arasında, derişimlerin birbirine çok yakın olmasından dolayı net bir ilişki kurulamamıştır. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır Bu da zemin parçacıklarının büzülmesine ve kolloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesine neden olmaktadır (Zhang et al. 2020). Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin artması gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.58. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	HCO_3 (meq/lit)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,299E-01	3,34E-02
YKS	6,198E-01	1,53E+01
AS	2,699E+00	2,60E+00
AD	2,699E+00	4,77E-01
ED	2,999E+00	8,46E-01
KD	3,399E+00	8,61E-01
MD	4,199E+00	9,21E-01
MS	4,599E+00	2,95E-02
AC	5,294E+00	2,34E-02
KS	5,199E+01	1,38E+00



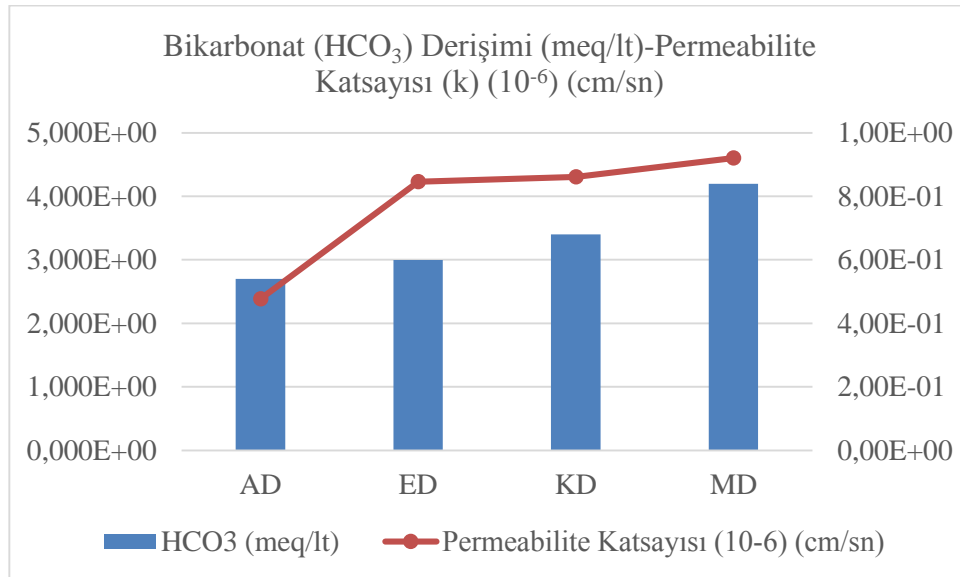
Şekil 3.58. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Bikarbonat (HCO_3) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenerek bikarbonat (HCO_3) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi araştırılmıştır.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen bikarbonat (HCO_3) derişimleri Çizelge 3.59’da verildiği gibidir. Bikarbonat (HCO_3) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.59’da verilmiştir. Çizelge 3.59 ve şekil 3.59 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre bikarbonat (HCO_3) derişiminin artması permeabilite katsayısını arttırmıştır. Fakat derişimler birbirine çok yakın olduğundan net bir yorum yapmak mümkün değildir.

Çizelge 3.59. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	HCO_3 (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
AD	2,699E+00	4,77E-01
ED	2,999E+00	8,46E-01
KD	3,399E+00	8,61E-01
MD	4,199E+00	9,21E-01

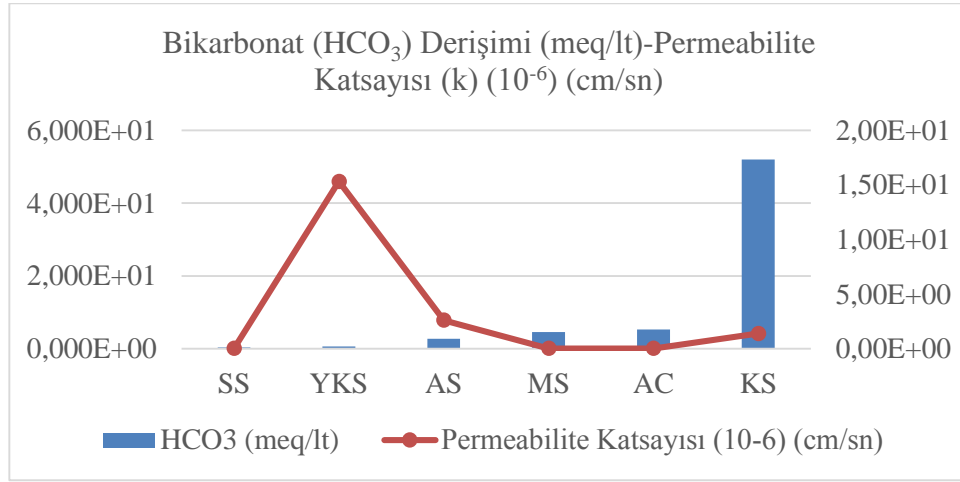


Şekil 3.59. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında bikarbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.60'da verilmiştir. Sonuçların yorumlanması için hazırlanan Şekil 3.60'a göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, bikorbonat (HCO_3) derişimlerinin çok küçük olmasından dolayı permeabilite katsayıları ile arasında bir ilişki gözlenilememiştir.

Çizelge 3.60. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	HCO_3 (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10^{-6}) (cm/sn)
SS	3,299E-01	3,34E-02
YKS	6,198E-01	1,53E+01
AS	2,699E+00	2,60E+00
MS	4,599E+00	2,95E-02
AC	5,294E+00	2,34E-02
KS	5,199E+01	1,38E+00



Şekil 3.60. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda bikorbonat (HCO_3) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

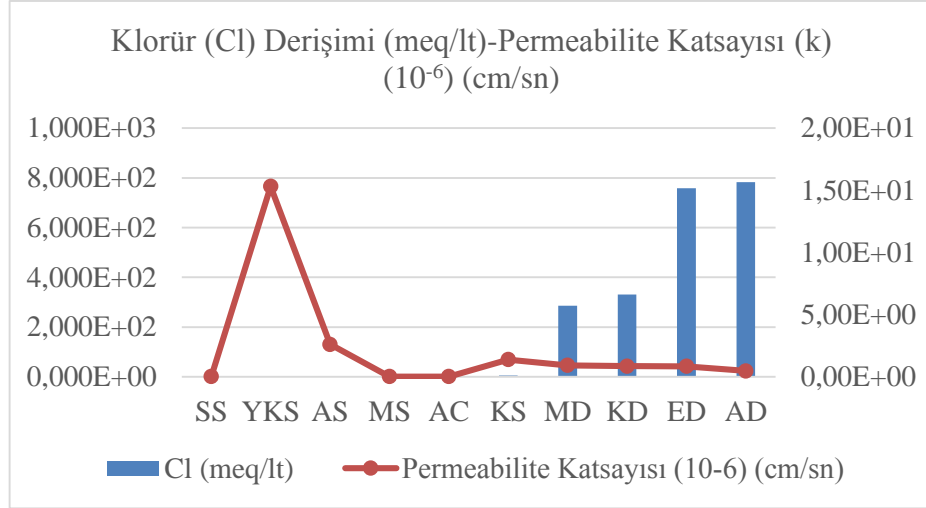
3.2.10. Suların Klorür (CL) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen klorür (Cl) derişimleri Çizelge 3.61'de verilmiştir. Klorür

(Cl) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.61’de verildiği gibidir. Çizelge 3.61 ve Şekil 3.61 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre klorür (Cl) derişiminin 5,966 meq/lt değerinden itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu zeltelerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir Şekilde gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır. Bu da zemin parçacıklarının büzülmesine ve kolloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesine neden olmaktadır (Zhang et al. 2020). Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin artması gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu grlmŐtir.

Çizelge 3.61. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Cl (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10⁻⁶) (cm/sn)
SS	1,410E-03	3,34E-02
YKS	5,077E-02	1,53E+01
AS	8,970E-02	2,60E+00
MS	1,314E-01	2,95E-02
AC	2,175E-01	2,34E-02
KS	5,966E+00	1,38E+00
MD	2,856E+02	9,21E-01
KD	3,312E+02	8,61E-01
ED	7,588E+02	8,46E-01
AD	7,831E+02	4,77E-01



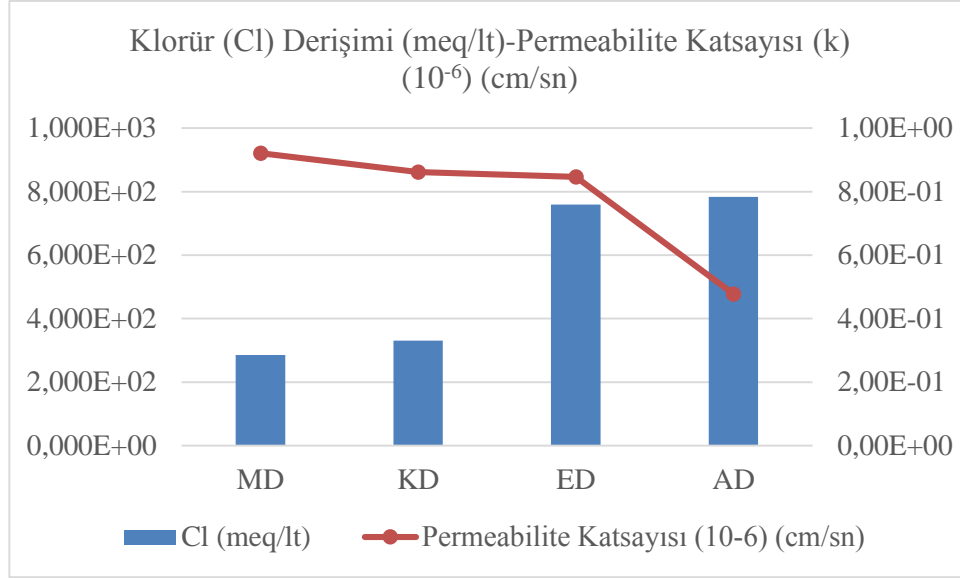
Şekil 3.61. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Klorür (Cl) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenecek klorür (Cl) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen klorür (Cl) derişimleri Çizelge 3.62’de verildiği gibidir. Klorür (Cl) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.62’de verildiği gibidir. Çizelge 3.62 ve Şekil 3.62 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre klorür (Cl) derişiminin artması permeabilite katsayısını azaltmıştır.

Çizelge 3.62. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Cl (meq/l)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	2,856E+02	9,21E-01
KD	3,312E+02	8,61E-01
ED	7,588E+02	8,46E-01
AD	7,831E+02	4,77E-01

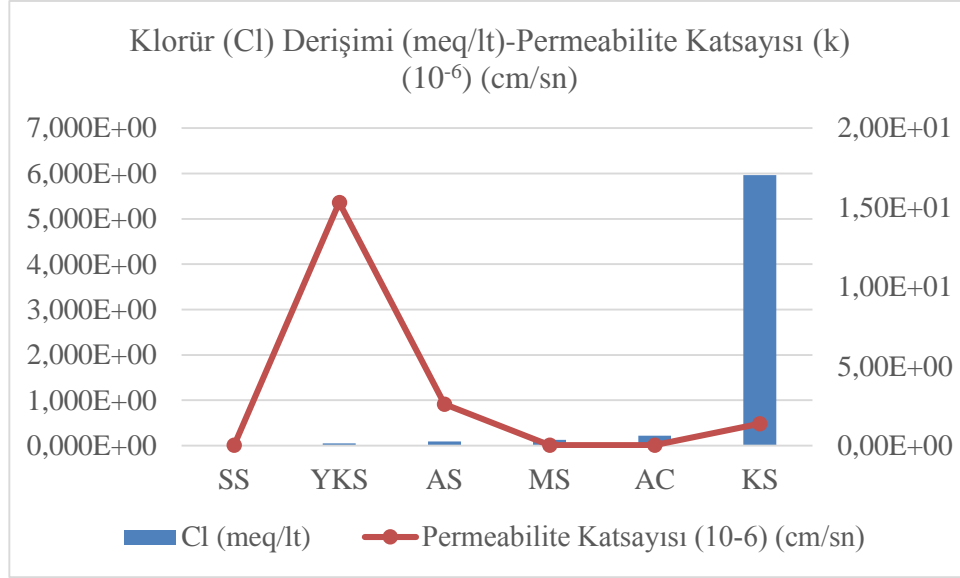


Şekil 3.62. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde klorür (Cl) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.63’de verilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi için hazırlanan şekil 3.63’e göre kum-bentonit karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, klorür (Cl) derişimlerinin çok düşük olmasından dolayı permeabilite katsayısı ile arasında net bir ilişki gözlenememiştir.

Çizelge 3.63. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	Cl (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	1,410E-03	3,34E-02
YKS	5,077E-02	1,53E+01
AS	8,970E-02	2,60E+00
MS	1,314E-01	2,95E-02
AC	2,175E-01	2,34E-02
KS	5,966E+00	1,38E+00



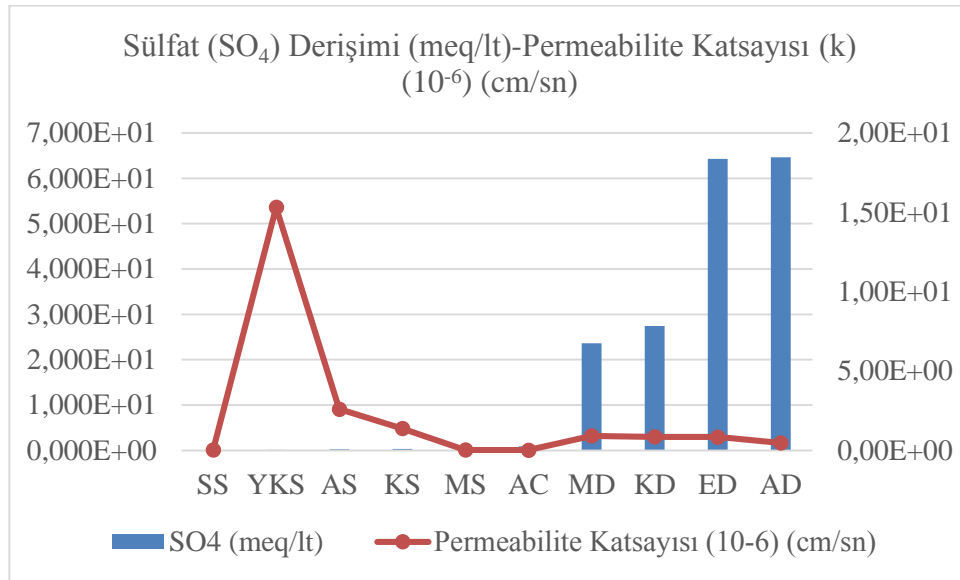
Şekil 3.63. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda klorür (Cl) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

3.2.11. Suların Sülfat (SO₄) Derişimleri ile Permeabilite Katsayısının Karşılaştırılması

Tüm sular (KD, AD, ED, MD, AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite katsayısı ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sülfat (SO₄) derişimleri Çizelge 3.64’de verildiği gibidir. Sülfat (SO₄) derişimleri ile permeabilite katsayıları arasındaki bağ ise Şekil 3.64’de verildiği gibidir. Çizelge 3.64 ve Şekil 3.64 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre sülfat (SO₄) derişiminin 23,62 meq/l’ten itibaren artışı permeabilite katsayısında azalışa sebep olmuştur. Bu azalışların görüldüğü sulu çözeltilerin iyon derişimleri yüksek olduğundan, permeabilite katsayısı ile olan ilişkisi net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak, iyon derişimi yüksek olan su zemin içerisine yayıldığında iyonlar zemin gözeneklerinde yayılarak, gözeneklerin tıkanmasına ve dolayısıyla da gözenekliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır. Bu da zemin parçacıklarının büzülmesine ve koloidal parçacıkların dağılmasına ve genişlemesine neden olmaktadır (Zhang et al. 2020). Bu sebeplerden kaynaklı olarak iyon derişiminin artması gözenekliliği azaltmış ve buna bağlı olarak permeabilite katsayısını azaltmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.64. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	SO ₄ (meq/lit)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	1,249E-03	3,34E-02
YKS	1,026E-01	1,53E+01
AS	2,394E-01	2,60E+00
KS	3,269E-01	1,38E+00
MS	3,292E-01	2,95E-02
AC	9,073E-01	2,34E-02
MD	2,362E+01	9,21E-01
KD	2,742E+01	8,61E-01
ED	6,426E+01	8,46E-01
AD	6,461E+01	4,77E-01



Şekil 3.64. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tüm suların Sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

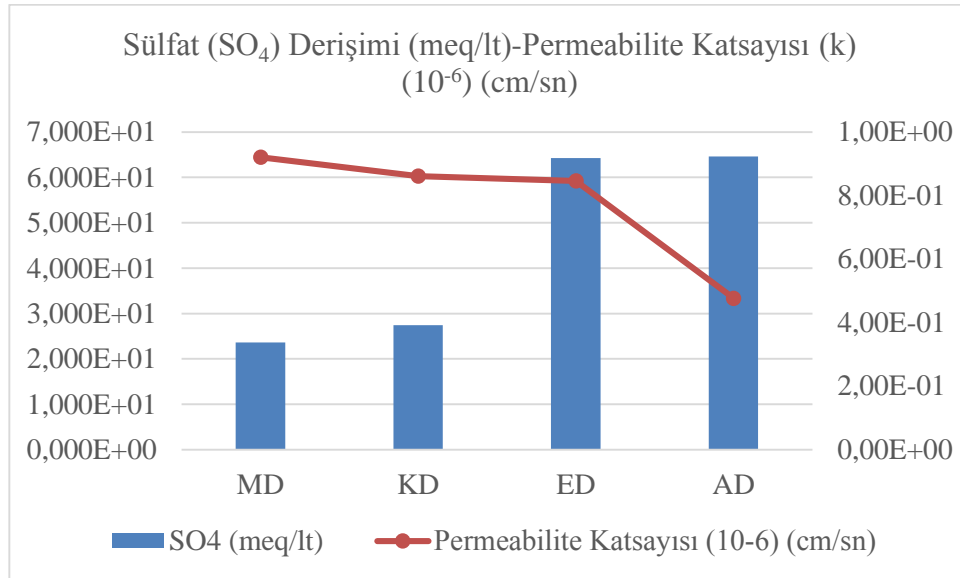
Sülfat (SO₄) derişim değerini ön plana çıkarabilmek için sular köken açısından kümelenerak sülfat (SO₄) derişiminin permeabilite katsayısı üzerindeki ekisi incelenmiştir.

Deniz suları (KD, AD, ED, MD) ile bentonit-kum karışımı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen permeabilite ve kimyasal su analizlerinden elde edilen sülfat (SO₄) derişimleri Çizelge 3.65’de verilmiştir. Sülfat (SO₄) derişimleri ile permeabilite

katsayıları arasındaki ilişki ise Şekil 3.65’de verildiği gibidir. Çizelge 3.65 ve Şekil 3.65 üzerinde yapılan değerlendirmelere göre deniz sularında sülfat (SO₄) derişiminin artması permeabilite katsayısını azaltmıştır.

Çizelge 3.65. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	SO ₄ (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
MD	2,362E+01	9,21E-01
KD	2,742E+01	8,61E-01
ED	6,426E+01	8,46E-01
AD	6,461E+01	4,77E-01

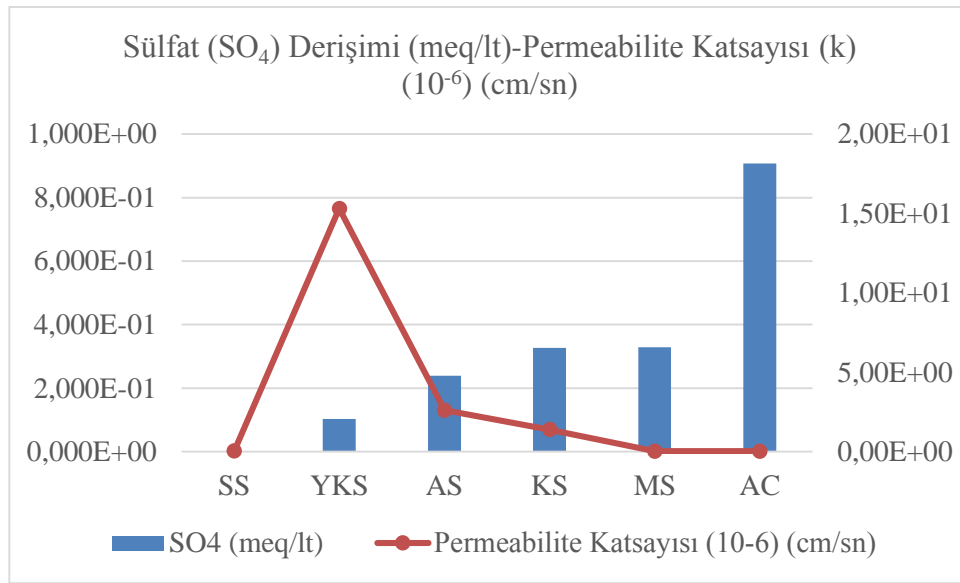


Şekil 3.65. %70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan deniz sularında sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

Tatlı sular (AC, SS, AS, KS, MS, YKS) ise kendi içerisinde değerlendirildiğinde sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite sonuçları Çizelge 3.66’da verildiği gibidir. Sonuçların değerlendirilmesi için hazırlanan Şekil 3.66’ya göre bentonit-kum karışımı ile yapılan permeabilite analizlerinde, sülfat (SO₄) derişiminin 0,1026 meq/lt değerinden itibaren artması permeabilite katsayısını azaltmıştır.

Çizelge 3.66. % 70 kum + %30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı değerleri.

Su Türü	SO ₄ (meq/lt)	Permeabilite Katsayısı (10 ⁻⁶) (cm/sn)
SS	1,249E-03	3,34E-02
YKS	1,026E-01	1,53E+01
AS	2,394E-01	2,60E+00
KS	3,269E-01	1,38E+00
MS	3,292E-01	2,95E-02
AC	9,073E-01	2,34E-02



Şekil 3.66. % 70 kum + % 30 bentonit karışımı ile hesaplanan tatlı sularda sülfat (SO₄) derişimi ve permeabilite katsayısı ilişkisi.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, zemin permeabilitesine su özelliklerinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda %30 silis kumu ile %70 bentonit kili ve %70 silis kumu ile %30 bentonit kili olacak şekilde karışım numuneleri üzerinde 10 farklı su ile permabilite deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları ile suların analiz ve ölçümler vasıtasıyla, yoğunluk, ph, elektriksel iletkenlik, tuzluluk ve iyon derişimleri karşılaştırılarak sonuçlar çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre;

%30 kum ile %70 bentonit karışımı için;

Yoğunluk artışı;

Tüm sulara, yoğunluk artışı ile permeabilite katsayısı arasında su yoğunluklarının bir çoğunun birbirine çok yakın değerler almasından kaynaklı genel çerçeve net bir ilişki kurulamamıştır. Fakat tuzlu suların ve kaplıca suyunun yoğunluğu ele alındığında yoğunluk artışı ile permeabilite katsayısının artışı gözlenmiştir.

pH değerinin artışı;

Tüm sulara, pH değerinin artışı ile permeabilite katsayısı arasında pH değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı net bir ilişki kurulamamıştır.

Elektriksel iletkenlik değeri, tuzluluk ve tuzluluğu oluşturan iyon (sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klorür (Cl), sülfat (SO₄), bikarbonat (HCO₃)) derişimlerinin artması;

Tüm sulara, değerin ve derişimlerin artışı ile permeabilite katsayısı arasında tatlı suların çoğunun değerlerinin ve derişimlerinin düşük değerlerde olmasından dolayı net bir ilişki kurulamamıştır. Fakat tuzlu suların ve kaplıca suyunun değerleri ve derişimleri yüksek olduğundan tuzlu sular ve kaplıca suyu ele alınarak derişimlerin ve değerlerin yükselmesi ile permeabilite katsayılarının yükseldiği görülmüştür.

Elektriksel iletkenlik değerinde ise elektriksel iletkenliğin, elektrik yükü taşıyan iyonların dolaşımından oluşması, elektrik akımlarının iyonik tuzlarla taşınmasından kaynaklı olduğu ve deniz suları ile kaplıca suyunda iyon derişimlerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak elektriksel iletkenlik değerini oluşturan tuzluluk ve tuzluluk iyonlarının artışı ile permeabilite katsayısının arttığı görülmüştür.

%70 kum ile %30 bentonit karışımı için;

Yoğunluk artışı;

Tüm sulara, yoğunluk artışı ile permeabilite katsayısı arasında su yoğunluklarının bir çoğunun birbirine çok yakın değerler almasından kaynaklı genel çerçeve net bir ilişki kurulamamıştır. Fakat tuzlu suların ve kaplıca suyunun yoğunluğu ele alındığında yoğunluk artışı ile permeabilite katsayısının azalışı gözlenmiştir.

pH değerinin artışı;

Tüm sulara, pH değerinin artışı ile permeabilite katsayısı arasında pH değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı net bir ilişki kurulamamıştır.

Elektriksel iletkenlik değeri, tuzluluk ve tuzluluğu oluşturan iyon (sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klorür (Cl), sülfat (SO₄), bikarbonat (HCO₃)) derişimlerinin artması;

Tüm sulara, değerin ve derişimlerin artışı ile permeabilite katsayısı arasında tatlı suların çoğunun değerlerinin ve derişimlerinin düşük değerlerde olmasından dolayı net bir ilişki kurulamamıştır. Fakat tuzlu suların ve kaplıca suyunun değerleri ve

derişimleri yüksek olduğundan tuzlu sular ve kaplıca suyu ele alınarak derişimlerin ve değerlerin yükselmesi ile permeabilite katsayılarının azaldığı görülmüştür.

Elektriksel iletkenlik değerinde ise elektriksel iletkenliğin, elektrik yükü taşıyan iyonların dolaşımından oluşması, elektrik akımlarının iyonik tuzlarla taşınmasından kaynaklı olduğu ve deniz suları ile kaplıca suyunda iyon derişimlerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak elektriksel iletkenlik değerini oluşturan tuzluluk ve tuzluluk iyonlarının artması permeabilite katsayısını azalttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Alpaydın, Ş.G., “Bor Katkılarının Kum-Bentonit Karışımlarının Yüksek Isılar Varlığında Permeabilite Ve Kayma Dayanımı Davranışı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Doğal Ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü*, İzmir, 144 (2019).

Akbulut, S., “Katı Atık Depo Alanlarının Geoteknik Tasarımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2): 223-230 (2003).

ASTM, “American Society of Testing Materials”, Philadelphia.

Aysu, Ş., “Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerde Cam Lifi Katkısının Zeminin Mukavemet, Permeabilite Ve Konsolidasyon Özelliklerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 111 (2020).

Bağrıaçık, B., Güner, E.D., Beycioğlu, A., “Atık Boru Tozunun Kum Zeminlerin Permeabilite Değerleri Üzerindeki Etkileri”, *Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 6-13 (2019).

Bear, J., 1972. Dynamics of fluids in porous media. *Elsevier*, New York.

Bjerrum, L., Nash, J.K.T.L., Kennard, R.M. and Gibson, R.E. (1972) ‘Hydraulic fracturing in field permeability testing’, *Geotechnique*, **22**, 319-332.

Casagrande, A. (1936) The Determination of the Pre-Consolidation Load and its Practical Significance, *Proc. 1st Int.Conf. On SM*, Cambridge, pp.60-64.

Cernica, J.N., 1995. Geotechnical Engineering: Soil Mechanics, *John Willey*, US.

Darcy, H. (1856) Les fontaines publiques de la ville de Dijon, *Dalmont*, Paris, 674p.

Demirkıran, H., “Değişik Sızıntı Sularından Geçirilmiş Geosentetik Kil Örtülerin (GKÖ) Hidrolik İletkenlik Davranışının Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 84 (2014).

Freeze, R.A. and Cherry, J.A. 1979. Groundwater. *Prentice-Hall*, Englewoods Cliffs, N.J

Pearson, R. and Money, M.S. (1977) ‘Improvements in the lugeon or packer permeability test’, *Q. J. Eng. Geol.*, 10, 222-239.

Garcia-Bengochea, I., Lovell, C.W. and Altschaeffl, A.G., 1979. Pore distribution and permeability of silty clays. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105, 7, 839–856.

Gibson, R.E. (1966) ‘A note on the constant head test to measure soil permeability in situ’, *Geotechnique*, **16**, 256-259.

Gibson, R.E. (1970) ‘An extension to the theory of the constant head in situ permeability test’, *Geotechnique*, **20**, 193-197.

Hazen, A. (1892) Some physical properties of sands and gravel with special reference to their use in filtration, *24th Annual Report*, Massachusetts State Board of Health.

Hazen, A. (1911) Discussion of “Dams on Sand Foundations,” by *A.C. Koenig*, *Transactions, ASCE*, Vol.73, pp. 199-203.

İnternet: T.C. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, “Kuars Kumunun Özellikleri”, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars-kumu> (2021).

Kamiloğlu, H.A., “Bazı Trabzon Zeminlerinin Kompaksiyon Deneylerindeki Kompaksiyon Özellikleri İle Geçirimsizlik Katsayıları Arasındaki İlişkiler”, *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 118 (2011).

Karaoğlu, S., “Bentonit-Granüler Zemin Karışımlarının Permeabilitesini Etkileyen Parametreler”, *Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 211 (2010).

Keskin, E., “Zemin Permeabilitesinin Elektriksel Analoji İle Belirlenmesi”, *Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 225 (2013).

Koç, M.E., “Bentonitik Karışımlarının Sızıntı Suları İle Hidrolik İletkenlikleri”, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 65 (2016).

Kozeny, J., 1927. Ueber kapillare Leitung des Wassers im Boden. *Sitzungsberichte Wiener Akademie*, 136, 2, 271–306.

Lambe, T.W. and Whitman, R.V., 1969. Soil mechanics. *Wiley*, New York.

Mbonimpa, M., Aubertin, M., Chapuis, R.P. and Bussière, B., 2002. Practical pedotransfer functions for estimating the saturated hydraulic conductivity. *Geotechnical and Geological Engineering*, 20, 235–259.

Muratoğlu, İ., “Atık Mermer Tozu Katkılı Killi Zeminlerin Konsolidasyon Ve Permeabilite Özelliklerinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 103 (2010).

Muskat, M. (1937) The flow of homogeneous fluids through porous media, *Mc Graw-Hill Book Company*, New York.

Orakoğlu, M.E., and Ekinci, C.E., “Zeminlerin Permeabilite Katsayısı Ve Konsolidasyon Özellikleri Üzerine Bir Çalışma: Elazığ Örneği”, *SDU International Technologic Science*, 5 (1): 44-50 (2013).

Özdemir, Ç.Ö., “Zeminlerin Permeabilite Özelliklerinin Konsolidasyon Ve Düşen Seviyeli Permeabilite Deneylerinde Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 64 (2018).

Özok, İ.H., Zengin, E., Karakuş, H., and Ergüller, Z.A., “Hidrolik İletkenlik İle İnce Taneli Zeminlerin Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 40: 1-6, (2018).

Öztürk-Şahinci, M., “Atapuljitle Geliştirilmiş Geosentetik Kil Örtülerin Hidrolik İletkenlik Ve Şişme Davranışlarının Tuz Çözeltileri İle Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 89 (2018).

Sarı, H., ve Sağlam, M.T., “Aynı Noktadan Alınmış, Bozulmuş Ve Bozulmamış Toprak Örneklerinde Hidrolik İletkenlik İlişkisi”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15 (03), (2018).

Scheidegger, A.E., 1953. Theoretical models of porous matter. *Producers Monthly*, 10, 17, 17–23.

Scheidegger, A.E., 1954. Statistical hydrodynamics in porous media. *Journal of Applied Physics*, 25, 994–1001.

Scheidegger, A.E., 1974. The physics of flow through porous media. *3rd ed. University of Toronto Press*, Toronto, Ont.

Seelheim, F., 1880. Methoden zur Bestimmung der Durchlassigkeit des Bodens. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 19, 387–402.

Soğancı, A.S., “Tekrarlı Donma Ve Çözülmenin Kireç İle Stabilize Edilmiş Zeminlerin Mukavemet Ve Permeabilitesine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 61 (2004).

Sridharan, A.A.G. and Diamond S., 1971. Pore Size Distribution Studies, *ASCE j. Soil Mech.Found. Div.*, 97, 5, 8151.

Taşçı, M., “Killi Zeminlerde Permeabilite Ve Efektif Gerilmenin Kompaksiyon Enerjisine Bağlı Olarak Değişimi”, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 171 (2012).

Taşkesti, B.E., “Birim Alana Gelen Bentonit Kütle Miktarının Yapay Hazırlanmış Geosentetik Kil Örtülerin (Y-GKÖ) Hidrasyon Ve Hidrolik İletkenliklerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 69 (2019).

Taylor, D.W. (1948) Fundamentals of Soil Mechanics, *Wiley*, New York.

Taytak, B., “Biyopolimer Katkılarının Killi Zeminlerin Kompaksiyon, Permeabilite Ve Kayma Dayanımına Etkisinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 81 (2012).

Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1948. Soil mechanics in engineering practice. *John Wiley & Sons*, New York.

Vukovi, M. and Soro, A., 1992. Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. *Water Resources Publications*, Littleton, Colo.

Yakupoğlu, T., Özdemir, N., “Tuzluluk Ve Alkaliliğin Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 132-138 (2007).

Yılmaz, Y., “Değişik Gradasyonlu Kumların Dinamik Üç Eksenli Deneyi İle Tespit Edilen Sıvılaşma Dirençleri İle Geleneksel Direkt Kesme Ve Hidrolik İletkenlik Deney Bulgularının İlişkilendirilmesi”, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 268 (2006).

Yılmaz, I., Yıldırım, M. ve Keskin, İ., 2016, “Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler”, *Seçkin Yayıncılık*, s. 87-92 (2016).

Zhang, R., Sun, Z., Li, G., Wang, H., Cheng, J., Hao, M., “Influences of water chemical property on infiltration into mixed soil consisting of feldspathic sandstone and aeolian sandy soil”, *Scientific Reports*, 10: 19497 (2020).

ÖZGEÇMİŞ

Semih APUL Sinop'ta ilk ve orta öğrenimini tamamladı. Boyabat Türk Telekom Anadolu Öğretmen Lisesinden Sayısal Bölümden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başladı. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Yüksek Lisans Eğitimi hala devam ediyor.