

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GÖZENEKLİ ORTAM OLARAK TOPRAĞIN ÖZELLİKLERİNİN GAMA
IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE SAPTANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Cevdet CEBE

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Yüksek Lisans Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GÖZENEKLİ ORTAM OLARAK TOPRAĞIN ÖZELLİKLERİNİN GAMA
IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE SAPTANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Cevdet CEBE
(302111011)**

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ

MAYIS 2014

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302111011 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Mehmet Cevdet CEBE, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GÖZENEKLİ ORTAM OLARAK TOPRAĞIN ÖZELLİKLERİNİN GAMA IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE SAPTANMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Ş. İpek KARAASLAN
Yeditepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, gama geçirgenlik tekniği kullanılarak Türkiye' nin 7 farklı bölgesindeki toprak numunelerinin gözeneklilik, su tutma kapasiteleri ve bunlara bağlı olarak özellikleri incelenmiştir. Bu bağlamda elde edilen sonuçların hem kendi aralarında hem de toprakların kimyasal yapılarına bağlı olarak mukayeseli incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Yüksek Lisans Eğitimi hayatımın başlangıcından itibaren gerek ders aşamasında gerek tez aşamasında bilgi birikimini benden esirgemeyen, takipçiliği ve disiplinli çalışma anlayışı ile yoğun çalışma hayatımda beni cesaretlendiren ve enerjimi yüksek tutan, hayata dair yaptığımız sohbetlerde geleceğime katkısı olacağına inandığım değerli düşüncelerini bana aktaran, geniş hoşgörü ve sabrını her daim gösteren değerli hocam Sn. Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ 'a en içten duygularıyla sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bu yüksek lisans tezi süresince, katkılarını esirgemeyen ve laboratuvar çalışmalarında Türkiye' nin farklı bölgelerinden toprak numuneleri tedarik etmemde yardımcı olan Siemens çalışma arkadaşlarıma ve yüksek lisans sınıf arkadaşlarım Esra İNAÇ' a, desteklerinden ötürü yüksek lisans sınıf arkadaşlarım Ertuğrul DEMİR ve Hüseyin YILDIRIM' a ve bu çalışma süresince yakın alaka ve fikirleriyle beni destekleyen Araş. Gör. Dr. Bülent BÜYÜK'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Bunlardan ayrı olarak bu çalışmayı destekleyen ve olanaklarını kullandıran İTÜ Enerji Enstitüsü' ne, Yüksek Lisans Eğitimin başlangıcından bu günlere kadar desteklerini ve güvenlerini eksik etmeyen Siemens yöneticilerine ve eğitimim boyunca derslere devamlılığında desteklerini esirgemeyen Siemens takım arkadaşlarıma ve operasyon ekibine teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, beni ben yapan, hayatımın her anında desteklerini esirgemeyen, ülkem için faydalı bir birey olmamı sağlayan, başarılarımda büyük yerleri olan değerli AİLEM'e, sabır ve desteğini hep hissettiren eşim Tülay Karakartal CEBE' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

M. Cevdet CEBE
Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Hipotez.....	4
2. GÖZENEKLİ ORTAMLARIN GAMA-IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ	5
2.1 Gözenekli Ortamla	5
2.2 Gözeneklilik	8
2.2.1 Tanımı ve Hesaplanması.....	8
2.2.2 Gözenekliliğin Ölçülmesi	9
2.3 Gama Işını Geçirgenlik Tekniği	10
2.3.1 Gama Radyasyonunun Malzeme İle Etkileşimi	11
2.4 Gama-Işını Geçirgenlik Ölçümlerinin Gözenekli Ortamın İncelenmesinde Kullanımı	12
3. DENEY KOŞULLARININ TANITILMASI.....	15
3.1 Deney Düzenine Ait Bilgiler	15
3.1.1 Gama Kaynağı.....	15
3.1.2 Ölçüm Sistemi	16
3.1.3 Kolimatörler	18
3.1.4 Örnek Kabı.....	19
3.2 Toprak Numuneleri İlgili Bilgiler	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
4.1 Kuru Toprakla Yapılan Çalışmalar	25
4.2 Islak Toprak Çalışmaları.....	26
4.2.1 Toprak Kolonunun Suyu Doyurulması.....	27
4.2.2 Doymuş Toprak Kolonundan Suyun Süzülmesi	29
4.3 Toprak Kolonunda Islanmanın Zamana Bağlı İncelenmesi	31
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	41
6. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	47

KISALTMALAR

NaI(Tl) : Sodyum İyodür Talyum Sintilasyon Algılayıcısı

HPGe : Yüksek Safılıkta Germanyum Algılayıcısı

CdTe : Kadmiyum Tellür Algılayıcısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Gözeneklilik ölçüm teknikleri (Kaviany, 1995).....	10
Çizelge 3.1: Gama ışını kaynağı özellikleri.....	15
Çizelge 3.2: Toprak numunelerin kimyasal analizi.....	22
Çizelge 3.3: Toprak numunelerin özkütleri.....	23
Çizelge 4.1: Kuru toprak numunelerinin lineer zayıflatma katsayıları.....	26
Çizelge 4.2: Kuru toprak numunelerinin kütleli zayıflatma katsayıları.....	26
Çizelge 4.3: Toprakların gözeneklilik değeri.....	29
Çizelge 4.4: Kuru ve suya doymuş toprakların lineer zayıflatma katsayıları.....	29
Çizelge 4.5: Toprakların gözeneklilik değeri.....	30
Çizelge 4.6: Kuru, suya doymuş ve süzölmüş toprakların lineer zayıflatma katsayıları.....	31
Çizelge 4.7: Kimyasal yapı, gözeneklilik ve su tutma kapasitesi.....	31
Çizelge 4.8: Doyma aşaması boyunca lineer zayıflatma katsayısı zamana bağı değişimi.....	32
Çizelge 4.9: Tahliye aşaması boyunca zamana bağı lineer zayıflatma katsayısı.....	35
Çizelge 4.10: Doyma işlemi boyunca lineer zayıflatma katsayılarının bağı değişimi.....	38
Çizelge 4.11: Tahliye süresince lineer zayıflatma katsayılarının değışimi.....	39
Çizelge 4.12: Kimyasal yapı-lineer zayıflatma katsayılarının bağı değışimi.....	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İnsan akciğerinin çeşitli bölgelerinin elektron mikroskobu ile çekilmiş görüntüleri (Lage ve diğ. 2004).....	6
Şekil 2.2 : Gözenekli ortam örnekleri (a) İnce zar, çekirdeksel gözenekler, lifli ve tanecikli fitler yatakları, (b) Aktif karbon lifler (Miguel, 2004).....	6
Şekil 2.3 : Doğal gözenekli malzemeler: (A) Plaj kumu, (B) Kumtaşı, (C) Kireçtaşı, (D) Ekmek, (E) Tahta, (F) İnsan akciğeri (Nield ve Bejan, 1998).....	7
Şekil 2.4 : (a) Kübik sıralanışa, (b) Eşkenar dörtgen sıralanışa sahip tekdüze kürelerin gözenek uzayı ve düzeni (Greenkorn, 1983).....	9
Şekil 2.5 : Gama geçirgenlik tekniği blok şeması.....	11
Şekil 2.6 : Fotonun madde ile etkileşiminin enerjiye göre değişimi (Knoll, 2002)...	12
Şekil 3.1 : Dar demet geometrisine sahip deney düzeneği blok şeması.....	16
Şekil 3.2 : Kolimatör grubu	17
Şekil 3.3 : Na(Tl) sintilasyon algılayıcısı	17
Şekil 3.4 : Sinyal yükseltici, sinyal zamanlayıcı ve sayacısı grubu	18
Şekil 3.5 : Deney düzeneğinin toplu gösterimi.....	18
Şekil 3.6 : Kolimatörlerin şematik gösterimi	19
Şekil 3.7 : Örnek kabı	20
Şekil 3.8 : Örnek kabı ve ayaklık.	20
Şekil 3.9 : Toprakların alındığı şehirler	21
Şekil 3.10: Deneysel çalışma için hazırlanan toprak numuneleri	21
Şekil 4.1: Toprağın temel bileşenlerinden SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 oksitlerinin % oranlarının topraklara göre dağılımını gösteren grafik.....	27
Şekil 4.2 : Adana toprağı için kolon boyunca gözeneklilik dağılımı.	28
Şekil 4.3 : Samsun için zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı değişimi.....	33
Şekil 4.4 : Adana için zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı değişimi.....	33
Şekil 4.5 : Gaziantep için zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı değişimi.....	34
Şekil 4.6 : Samsun için lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi.....	35
Şekil 4.7 : Adana için lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi.....	36
Şekil 4.8 : Gaziantep için lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi.....	36
Şekil 4.9 : Toprakların lineer zayıflatma katsayılarının doyma haline kadarki değişimlerinin toplu gösterimi.....	37
Şekil 4.10 : Toprakların lineer zayıflatma katsayılarının tahliye işlemi boyunca değişimlerinin toplu gösterimi.....	37

GÖZENEKLİ ORTAM OLARAK TOPRAĞIN ÖZELLİKLERİNİN GAMA IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE SAPTANMASI

ÖZET

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, gama geçirgenlik tekniği kullanılarak toprak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmış ve farklı toprakların gözenekli ortam olarak özellikleri birbirleri ile mukayeseli olarak incelenmiştir.

Gama geçirgenlik tekniği, bir gama ışını kaynağından çıkan gama fotonlarının, malzeme ile etkileşmesi sonucu exponansiyel zayıflatmasının incelendiği bir tekniktir. Bu teknik yüksek doğrulukta, hızlı ve tahribatsız bir yöntem olduğundan çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gama geçirgenlik tekniği birçok bilimsel çalışmada ve sanayi, sağlık ve tarım gibi farklı iş sektörlerinde kullanılmaktadır. Sanayide kullanılan kurşun, çelik, alüminyum gibi malzemelerin kalınlık tayini araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sağlık sektöründe görüntüleme teknikleri arasında yer alan gama kameralarda temelinde gama geçirgenlik tekniği ile yapılan ölçümler elektronik bileşenler ve bilgisayar programları kullanılarak görüntü işlemesi yapılmaktadır.

Gözenekli ortamlar, günlük hayatımızda her sahada karşımıza çıkmaktadır. Petrolün yeraltından çıkarılması, jeotermal enerji, kimyasal ve nükleer atıkların depolanması, yalıtım malzemeleri, çakıl yataklı nükleer reaktörlerin tasarımı, hava ve uzay araçlarında aerodinamik ısınmanın önüne geçmek için kullanılan ısıl kalkanı problemleri gözenekli ortam modelinin kullanıldığı alanlardır. Gama ışını zayıflatma tekniği gözenekli ortam dolu bir kolon boyunca yerel gözenekliliğin ölçülebildiği nadir tekniklerden birisidir. Bunun için dar demet geometrili bir gama zayıflatma düzeneği kullanılır. Tarım sektöründe toprağın yapısının ürün verimliliği açısından önem arz etmesi, gözenekli bir ortam olan toprağın özelliklerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır, bu konuda yapılan araştırmalarda da gama geçirgenlik tekniği kullanılmaktadır.

Bu bağlamda toprağın yapısını gama geçirgenlik tekniği ile incelemek bu yüksek lisans tez çalışmasının da özünü oluşturmaktadır. İTÜ Enerji Enstitüsü'nde mevcut dar demet geometrili gama geçirgenlik düzeneği ve Co-60 gama ışını kaynağı kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada; tarımsal alanlara yakın farklı bölgelerden alınan 7 toprak numunesi kullanılmıştır. Temin edilen toprak örnekleri laboratuvar koşullarında kurutma, öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilerek pleksiglas deney kaplarına önceden belirlenen oranlarda titizlikle doldurulmuştur. Takiben, önce kuru toprak için ölçümler alınmış ve kaydedilmiştir, sonrasında doymuş toprak ve son olarak suyu tahliye edilmiş toprak için ayrı aşamalarda deneyler yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Radyoaktif ölçümler NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile pleksiglas deney kaplarında dış yüzeyinden dört farklı derinlikte sayım alınarak gerçekleştirilmiştir. Alınan sayımlardan doğal sayım (background) çıkarılarak ulaşılan net sayımlar çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Elde edilen ölçüm değerleri ile hesaplanan lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak literatürde bilenen temel denklemler yardımı ile toprakların gözeneklilikleri ve su tutma kapasiteleri hesaplanmış olup numuneler arası karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar dahilinde, hesaplanan gözeneklilik ve su tutma kapasitelerine göre 7 farklı toprak numunesi içinde yapılan sıralama sonucu değerleri en büyük, en küçük ve orta seviyede olan 3 farklı toprak numunesi seçilerek toprağın doyması ve ardından suyun tahliye edilmesi zamana bağlı olarak gözlemlenmiştir.

Deneylerin ikinci aşamasında; toprak kolonunun orta bölgesinde belli bir derinlikte suya doyma ve suyun tahliyesi aşamalarında yapılan ölçümlerler kullanılarak, lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi grafiklerle incelenmiş ve hesaplanan toprak parametreleri değerleri ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Ayrıca toprakların kimyasal yapısının, incelenen toprak özellikleri üzerindeki etkisi mukayeseli olarak gösterilmiştir.

EVALUATION OF PARAMETERS OF POROUS MEDIUM OF SOIL BY GAMMA TRANSMISSION METHOD

SUMMARY

In this thesis, the soil parameters were evaluated by gamma transmission method and all the results were compared each other and also were compared with the chemical structure of soil samples.

Gama transmission method which uses the attenuation of during the interaction of gamma radiaton with matter. There is an exponential attenuation between the incident intensity of photon and transmitted intensity of photon. The most advantages of the gamma tranmission method are high accuracy, reliable, fast and non-destructive.

Gamma transmission method is used in many scientific research and many different sectors like as industry, healthcare and agriculture. In industry frequently used metals which are steel, lead and alumium are analysied of thickness measurement by using the gamma transmission method. Also in healthcare sector, the gama tansmission method is the fundamental method of diagnostic purpose with gamma camera. By using the gamma tranmission method, the radiation attenuation values are measured and after the diagnostic image are created by supported of electronic components and the computer programs.

Otherwise, the gamma transmission technique is one of the exceptional techniques that the basic properties of porous media can be determined locally in high accuracy. The structure of soil is one of the most important property at agriculture sector for better quantity of crops and many investigations are performed by using the gamma transmission method for this area. Also, the soil which is as a porous medium parameters are investigated by using the gamma tranmission method at this thesis.

Porous medium is available for nearly all natural and chemical or man made marerials. Porous medium is also well-known that is the containing pores or voids in the material. These pores are also so important that analyzing the fluid flow inside the materials. The analyzing of porous medium is commonly used in many areas such as material science, engineering, geosciences, biology and agriculture.

The most important property of porous medium is the porosity. The measurement of empty spaces determines the porosity fraction which is a fraction of empty spaces over the whole volume. The percentage of the fraction shows the porosity of material. The term of porosity is also used in many fields such as pharmaceutics, metallurgy, earth sciences, soil mechanics and engineering.

The porosity of soil is so important for agricultural soil. The flow of water is affected by the porosity so it directly affects the level of water content at agricultural soil during the raining time or irrigating the agricultural area. According to the porosity parameter, the variety of seeds is determined before sowed for the best quality and the highest quantity of crops. The gamma transmission method is commonly used in

the soil mechanics for determination of water content, the values saturation period and also the values of the drainage period.

In this study, the soil samples were collected from seven different regions of Turkey close to agricultural area. These collected soil samples firstly were dried in a 105 °C in oven for 24 hours, and then were passed 250µm - 2 mm sieve and finally packed to Plexiglas container. The experimental measurements performed for three related steps that were for dried soil samples, saturated soil samples and soil samples after draining. For each steps, the intensity of gamma radiation for each soil samples were measured and then the linear attenuation coefficient of soil samples were calculated and compared each soil samples values. The soil parameters were calculated by using calculated linear attenuation coefficient of each soil samples.

The narrow beam gamma transmission setup and Co-60 gamma ray source which are in ITU Energy Institute were used for experimental studies. All measurement could be taken by NaI(Tl) scintillation detector from 4 different depths of Plexiglas container which has soil. During the experimental measurements, the background radiation was also measured and eliminated from the all measured intensity of gamma radiation. The linear attenuation coefficient, the porosity and the field capacity factor were calculated by using the gamma transmission measurements. All these values of parameters of soil samples showed that every soil samples had a different characteristics.

For the first step; the gamma transmission measurements were taken for calculating of linear attenuation of dried soil samples. For the next step; the water was poured on the surface of soil samples by fountain method. The soil samples were saturated means that the soil samples had 1 cm water content above the surface of soil during 24 hours. When the soil samples were saturated, the gamma transmission measurements were taken for calculating the porosity and linear attenuation coefficient of saturated soil samples. For the final step, the valve under the plexiglass column was opened and left for 24 hours for draining. The soil kept water content according its field capacity factor. For determination of field capacity, the gamma transmission measurements were taken at drained soil samples for calculating the linear attenuation coefficient. By using the linear coefficient of drained soil samples, the field capacity factor were calculated of ratio between the linear attenuation of dried soil samples to the linear attenuation coefficient of drained soil samples.

For the next experiment, three soil samples which have maximum, minimum and average values of the field capacity factor were selected and the change of the linear attenuation coefficients of them were investigated in the time period of saturation and drainage. The gamma transmission measurement was taken only one fixed depth of Plexiglas column. During the saturation period, 100 ml water was added into the soil column for every 30 minutes and before adding next 100 ml, transmitted intensity of soil was measured. During the drainage period; the duration measurement was same as the saturation period, the valve which was located below the container was opened for every 30 minutes. Before taking new measurements, the valve was closed, the gamma transmission measurement was taken and then the valve was opened again.

All three soil samples had a similar characteristic of saturation time. Nearly three of them were saturated at the same time. But at drainage period they had a different characteristics. The saving of water contents were different for each other and so it showed that the effect of porosity parameter over the field capacity factor.

In addition to, the results were compared and evaluated according the chemical structure of soil samples. The soils have a different chemical composition such as the presence of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO and MgO in variable concentrations, and other oxide that TiO_2 , MnO and K_2O . The chemical composition of soil samples were also determined by XRF method in the laboratory of any private company. The effects of chemical structure on soil properties were also compared each other.

1. GİRİŞ

Yapay radyoaktivitenin keşfinden sonra, tıpta teşhis ve tedavi, endüstride imalat ve ürün aşamalarında kalite kontrolü, tarımda zararlılarla mücadele ve ürün kalitesinin artırılması gibi birçok farklı alanda radyasyon kullanımı yaygınlaşmıştır. Öte yandan gama ışınlarının malzeme içerisinde zayıflatılması esasına dayanan gama ışını geçirgenlik tekniği, malzeme özelliklerinin saptanmasında tahribatsız bir yöntem olarak önem kazanmıştır. Gama ışınlarının madde ile etkileşerek zayıflatması olasılığını temsil eden foton zayıflatma katsayısı, malzemenin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olmaktadır.

Yapılan birçok çalışmada deneysel ve teorik olarak çok sayıda element için foton zayıflatma katsayıları belirlenmiş olup birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Hubbell (1982) tarafından yapılan teorik çalışmada 1 keV- 20 MeV enerji aralığında metallerden biyolojik kökenli malzemelere kadar birçok farklı elementin kütleli zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır ve günümüzde halen referans kaynak olarak gösterilmektedir. Ayrıca El-Kateb ve Abdul-hamid (1991) tarafından yapılan deneysel çalışmada ise gama geçirgenlik yöntemi ile farklı malzemelerde foton zayıflatma katsayıları belirlenip teorik değerler ile karşılaştırılmıştır.

Gama ışını geçirgenlik tekniği kullanılarak özellikleri tanımlanan bir malzeme grubu da gözenekli ortamlardır. Yapısında birbiri ile ilintili boşluklar içeren, böylece içinde akışkan akışı olabilen gözenekli ortamların en önemli özelliklerinden biri olan gözeneklilik, gama ışını geçirgenlik tekniği ile büyük bir doğrulukta bulunabilmektedir. Gözenekli ortamlara en iyi örneklerden birisi de topraktır. Toprağın gama fotonu zayıflatma katsayısı gama ışını geçirgenlik tekniği ile deneysel olarak bulunarak ve ölçüm verileri ile birlikte kullanılarak toprağın fiziksel ve akış özellikleri saptanabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Gama geçirgenlik tekniği tahribatsız, hızlı ve güvenilir bir yöntem olduğundan bilimsel çalışmalarda, sanayide, tıpta ve tarımda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, gama geçirgenlik tekniği ile gözeneklilik, su tutma kapasitesi gibi bazı toprak parametrelerinin saptanması hedeflenmiştir. Tarım alanında toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı büyük önem göstermektedir. Bu nedenle, tez çalışmasında Türkiye'nin farklı bölgelerinde, tarım yapma derinliğinden alınan toprak örneklerinin, toprağın kuru, suya doymuş ve nemli halleri için foton zayıflatma katsayılarının saptanması ve ölçüm değerleri de kullanılarak diğer toprak parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Literatürde, gözenekli ortamların çeşitli özelliklerinin deneysel olarak saptanmasında gama ışını geçirgenlik tekniğinin kullanımı yaygındır. Yapılan çalışmaların çoğunda gözenekli ortam olarak toprak incelenmiştir, farklı enerjilerdeki gama ışını kaynakları ve genellikle gama verimi yüksek NaI(Tl) sintilasyon algılayıcısı kullanarak, gama ışınının toprak numunelerdeki zayıflatması bilgisi değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmaların yanı sıra bazı teorik çalışmalarda da toprağın foton zayıflatma katsayıları incelenmiştir. Bu çalışmalardan birisi, Singh ve Mudahar (1992) tarafından gerçekleştirilmiş ve çalışmada çok farklı malzemelerin ve toprağın 10 keV-100 GeV enerji aralığındaki foton zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar, kütlesel zayıflatma katsayısındaki değişim orta enerji düzeyinde nemsenmiyecek kadar az olduğu; düşük ve yüksek enerji seviyelerinde değişim olduğunu göstermiştir.

Kum, alüvyon toprak ve killi toprak numunelerinin kullanıldığı bir çalışmada, toprağın gözenekliliği Am-241 kaynağı kullanarak gama geçirgenlik tekniği ile deneysel olarak foton zayıflatma katsayıları belirlenerek hesaplanmış ve teorik olarak hesaplanan gözeneklilik değerleriyle karşılaştırılmıştır (Oliveira ve diğer., 1998). Çalışmada deneysel ve teorik değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu ve gama geçirgenlik tekniğinin bu çalışma için kuvvetli bir araç ve tahribatsız bir yöntem olduğuna değerinilmiştir.

Moreira ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada, toprak kolonu Am-241 gama kaynağı ve NaI(Tl) algılayıcısı içeren bir gama geçirgenlik sistemi ile incelenmiştir. Sayım verileri kullanılarak toprak kolonunun içerdiği hacimsel nem miktarı ve toprak numunelerinin hidrolik iletkenliği saptanmıştır.

Baytaş ve Akbal (2002) tarafından yapılan çalışmada, farklı enerji seviyelerine sahip gama kaynakları kullanılarak toprak numunelerin kütleli zayıflatma katsayıları incelenmiştir. Ayrıca, lineer zayıflatma katsayısı ile su tutma kapasitesi ve gözeneklilik arasındaki ilişkiler de gözlemlenmiştir. Çalışmada deney düzeneğinde NaI(Tl) algılayıcısı, çok kanallı analizör ve 468 keV Ir-192, 662 keV Cs-137, 1173 ve 1332 keV Co-60 gama kaynakları kullanılmıştır. Sonuçlar, kimyasal olarak farklı SiO₂ ağırlıksal oranlarına sahip topraklar için orta enerji düzeyinde yapılan ölçümlerin birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir, aynı çalışmada lineer zayıflatma katsayısı ile su tutma kapasitesi ve gözeneklilik arasındaki ilişkiler de gözlemlenmiştir.

İshakoğlu ve Baytaş (2002), çalışmalarında gözenekli ortam olarak standart bir kumu kullanmışlar ve gama ışını geçirgenlik tekniği ile kum kolonunun gözenekliliğini saptamışlardır. Çalışmada, gözenekliliğin yanı sıra çeşitli sıvıların ortam içerisindeki ilerlemeleri, dolayısıyla gözenekli ortamda akışkan akışı gama ışını geçirgenlik tekniği ile incelemiş ve sonuçlar sıvılara göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Kayaçlar, kumtaşı ve toprakların incelendiği bir diğer çalışmada toprağın gözenekliliği geleneksel Arşimet ve gama ışını geçirgenlik teknikleri ile bulunup karşılaştırılmıştır (Appoloni ve Pottker, 2004). 59,54 KeV enerjiye sahip Am-241 gama kaynağı ve dar demet geometrisindeki NaI(Tl) algılayıcılı deney düzeneği kullanılmıştır. Çalışmada gözenekliliğin saptanmasında hızlı ve tahribatsız olması nedeni ile gama ışını geçirgenlik tekniğinin üstünlüğüne değinilmiştir.

Pires ve diğ. (2005), çalışmalarında toprağın suyu tutma karakteristiğini, toprak-su matrisine basınç uygulanmasına dayanan geleneksel bir teknik ile gama ışını geçirgenlik tekniğini karşılaştırarak incelemişlerdir. Sonuçlar, toprak nemliliğinin daha yüksek bir doğrulukla ve daha hızlı bir şekilde gama ışını geçirgenlik tekniği ile saptanabildiğini göstermiştir.

Alüvyon toprak kullanılan bir başka çalışmada ise 3 farklı enerjiye sahip gama kaynakları ile toprağın kütleli zayıflatma katsayısı deneysel olarak belirlenip teorik

değerler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada sırasıyla 60, 356 ve 662 keV farklı enerjilere sahip Am-241, Ba-133 ve Cs-137 gama kaynakları kullanılmış ve NaI(Tl) algılayıcı ile dar demet geometrisine sahip deney düzeneği oluşturulmuştur. Çalışmada toprağın su tutma kapasitesi ile gözeneklilik arasındaki ilişki incelenmiştir ve gama geçirgenlik tekniğinin ucuz pratik ve hızlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Demir ve diğ., 2008).

Brezilya’da yapılan bir çalışmada, tarım toprağından 0-10cm derinliğine kadar toplanan toprak örneklerinin yığın yoğunluğunun saptanması gama geçirgenlik tekniğı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Pires ve diğ., 2009). Ölçüm sisteminde Am-241 gama kaynağı kullanılmış ve kolimatör deliğinin 1 ve 2 mm olduğu hallerde yığın yoğunluğunun daha doğru bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Ün ve diğ. (2011) Erzurum civarından tarımsal amaçlı topraklardan toplanan örnekleri, Am-241, Cs-137 ve Ba-133 gama kaynakları ve CdTe algılayıcı kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada toprakların, kütsel zayıflatma katsayıları, yoğunlukları ve hacimsel su içerikleri gama ışını zayıflatma tekniğı kullanılarak saptanmıştır.

Farklı kimyasal yapıya sahip 5 farklı toprak numunesinin kullanıldığı bir başka çalışmada ise 4 farklı gama kaynağı kullanılarak enerji aralığı geniş tutulmuş ve gama enerjisine bağlı olarak foton zayıflatma katsayıları incelenmiştir. Algılayıcı olarak HPGe kullanılmış olup deney düzeneğı dar demet yapısına sahiptir. Nemlendirme aşamasında da tayin edilen su tutma kapasitesi ile toprakların gözeneklilikleri arasındaki ilişkiye değinilmiştir (Medhat, 2012).

1.3 Hipotez

Gama ışını geçirgenlik tekniğı, gözenekli bir ortam olan toprağın çeşitli özelliklerinin saptanmasında, ortam içerisinde akışkan akışının incelenmesinde doğru, hassas ve tahribatsız olarak kullanılabilir.

2. GÖZENEKLİ ORTAMLARIN GAMA-IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNIĞİ İLE İNCELENMESİ

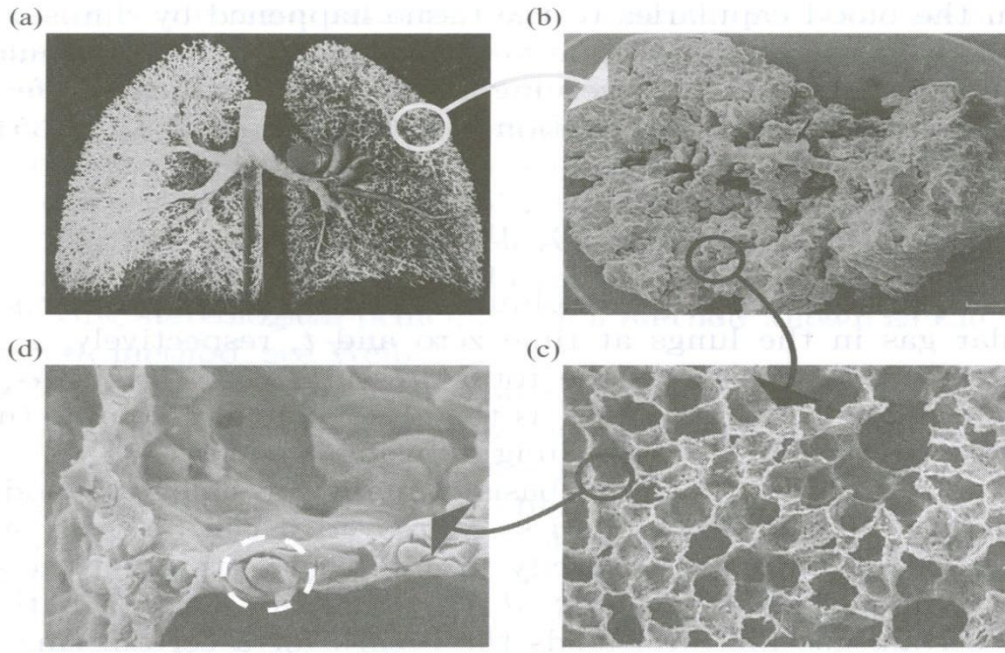
Gözenekli ortam, katı bir iskelet içerisinde birbiri ile irtibatlı boşlukların bulunduğu bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Gözenekli ortamlar, günlük hayatımızda her sahada karşımıza çıkmaktadır. Petrolün yeraltından çıkarılması, jeotermal enerji, kimyasal ve nükleer atıkların depolanması, yalıtım malzemelerinde, çakıl yataklı nükleer reaktörlerin tasarımında, doku içinde kanın akışı ve ısı geçişi problemlerinde, hava ve uzay araçlarında aerodinamik ısınmanın önüne geçmek için kullanılan ısıl kalkan problemleri gibi çok sayıda bilimsel ve teknik alanda gözenekli ortam modellemesi kullanılmaktadır.

2.1 Gözenekli Ortamlar

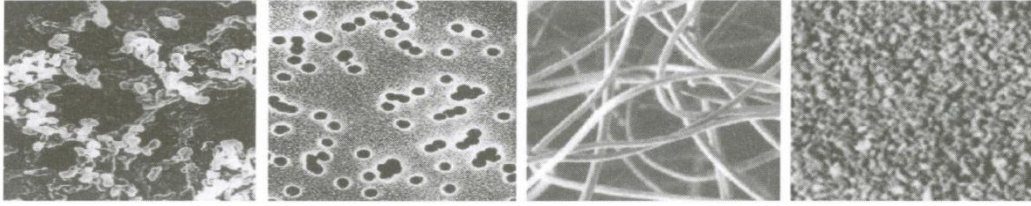
Günlük hayatımızda, teknolojiye ve doğada her yerde karşılaşılan bir malzemeye gözenekli ortam denebilmesi için aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir (Dullien, 1992).

- Malzeme kendi boyutları ile karşılaştırıldığında içerisinde çok küçük ve birbiri ile irtibatlı boşluklar içerir. Bir katı iskelet içerisinde oluşan bu boşluklar, hava, su vb. akışkanlar veya farklı akışkanlardan oluşan karışımlar içerir.
- Akışkan katı malzemenin bir ucundan girip öbür ucundan çıkabilmelidir.

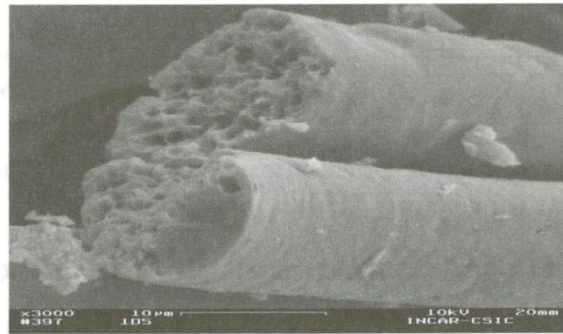
Doğal gözenekli ortam olarak deniz kumu, kumtaşı, kireç taşı, çavdar ekmeği, tahta ve insan akciğerini örnek verebiliriz. Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3’de çeşitli gözenekli ortam örnekleri görülmektedir. Doğal bir gözenekli ortam içinde bulunan boşlukların büyüklüğü ve şekli düzensizdir. Gözenekli ortamın bütün iri ölçekteki özellikleri bu düzensizlik ve rastgelelikten etkilenir. Bu durumda, iri ölçekteki gözenek yapısı değişkenleri gözenekli malzemenin ortalama özelliklerini temsil eder.



Şekil 2.1 : İnsan akciğerinin çeşitli bölgelerinin elektron mikroskobu ile çekilmiş görüntüleri (Lage ve diğ. 2004).

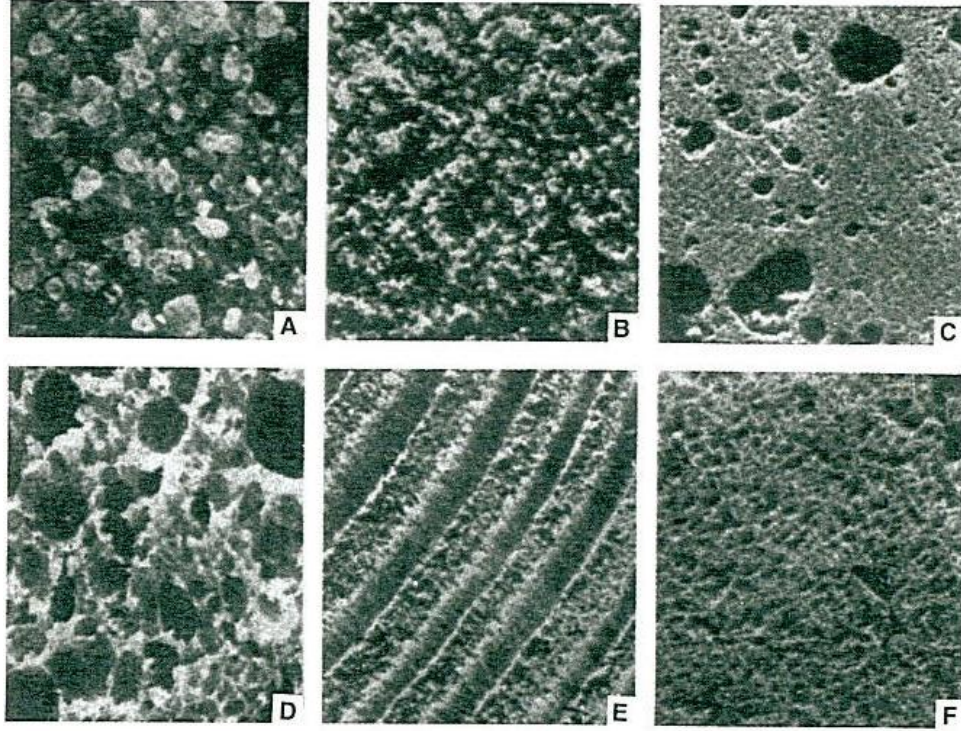


(a)



(b)

Şekil 2.2 : Gözenekli ortam örnekleri (a) İnce zar, çekirdeksel gözenekler, lifli ve tanecikli fitler yatakları, (b) Aktif karbon lifler (Miguel, 2004).



Şekil 2.3 : Doğal gözenekli malzemeler: (A) Plaj kumu, (B) Kumtaşı, (C) Kireçtaşı, (D) Ekmek, (E) Tahta, (F) İnsan akciğeri (Nield ve Bejan, 1998).

Gözenekler yapısal özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki gözeneklerin birbiriyle ilişkili olma veya olmama durumudur ve bu özellik gözenekli ortam içinde akışkanlığı etkiler. Gözenekli yapılar birbirleri ile ilişkili olduklarında akışkan yapı gözenekli madde içerisinde ilerler. Birbiriyle ilişkili olan gözenek boşluklarına etkin boşluk denirken, bütün gözenek boşluğuna da toplam boşluk denir.

Bir diğer sınıflandırma da, gözenekli madde içindeki boşlukların büyüklüklerine bağlı olarak yapılır ve akışkanın boşluk içindeki davranışına göre üç ana sınıflandırma yapılabilir.

- Moleküler boşluk: Katı ve akışkan molekülleri arasındaki moleküler kuvvetler için önem taşıyan en küçük boşluklara denir.
- Mağaralar: Akışkan hareketinin boşluk iç yüzeyinden kısmen etkilendiği çok büyük boşluklara denir.
- Gözenekler: Büyüklük olarak moleküler boşluk ve mağaralar arasında kalan boşluklara denir.

Son olarak gözenekli ortamda gözeneklerin düzenli ve düzensiz dağılımına bağlı bir sınıflandırma yapılabilir. Doğal gözenekli ortamlar düzensiz gözenek yapısına

örnektir. Öte yandan, aynı çapa sahip kürelerin düzgün dizilişi ile oluşturulan gözenekli ortamın gözenek yapısı düzenlidir (İshakoğlu ve Baytaş, 2002).

2.2 Gözeneklilik

2.2.1 Tanımı ve Hesaplanması

Gözeneklilik, bir malzeme içerisindeki boşlukların hacminin katı ve boşluk hacminden oluşan toplam hacme oranıdır. Buna göre;

$$\varepsilon = \frac{V_g}{V_t} \quad (2.1)$$

olarak gösterilir. Denklem bir oran olduğu için gözenekliliğin birimi yoktur. Burada ε gözenekliliği V_g boşluk hacmini, V_t ise toplam hacmi göstermektedir ve V_k katı hacmi olmak üzere, $V_t = V_g + V_k$ şeklindedir (Dullien, 1992). Bir malzemenin gözenekliliği 0 ile 1 arasında değişmektedir.

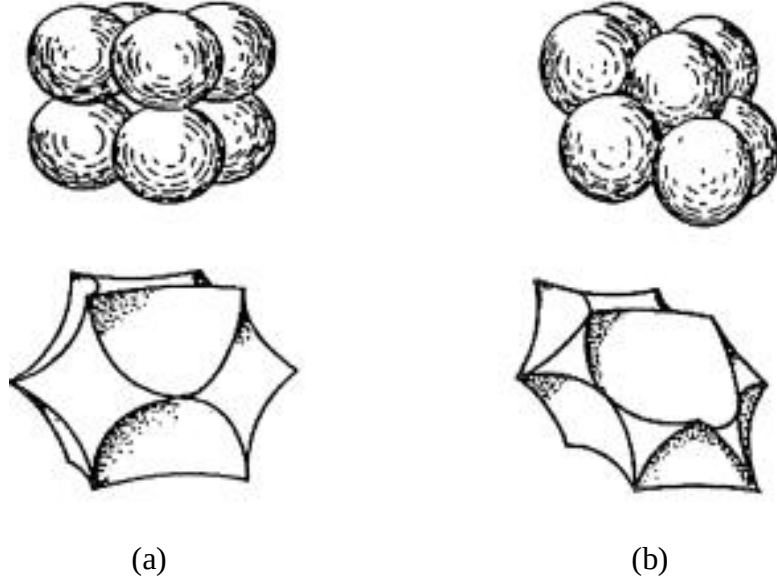
Gözenekler arası ilişkiye göre iki tip gözeneklilik vardır. Bunlar;

- Mutlak gözeneklilik: Gözenek ilişkileri göz ardı edilerek alınan toplam hacmin boşluk hacimlerine oranıdır.
- Etkin gözeneklilik: Toplam hacmin birbiri ile ilişkili boşluk hacimlerine oranıdır.

Doğal gözenekli ortamlar düşünülürse, örneğin lav ve manyetik kayalarda mutlak gözeneklilik yüksektir ancak etkin gözeneklilik önemsenmeyecek ölçüde küçüktür.

Tekdüze kürelerin düzgün sıralanışı göz önüne alınarak, gözenekliliğin malzemenin yapısına bağlı değişimi incelenebilir. Şekil 2.4 (a) ve (b)' de sırasıyla tekdüze kürelerin kübik ve eşkenar dörtgen şeklinde dizilişi sonucu birim hücrelerde oluşan gözeneklilik görülmektedir.

Teoride tekdüze kürelerin sıralanışı sonucu oluşan gözeneklilik ile kürelerin büyüklüğü birbirinden bağımsız ise de doğal maddelerde durum aynı değildir. Tekdüze tane boyutundaki kumlarda tane boyutunun küçülmesi ile gözenekliliğin arttığı görülmektedir. Yani tane boyutu tekdüze tane büyüklüğüne sahip katılaşmamış doğal maddeler de bunların gözeneklilik değerleri ile ters orantılıdır (Collins, 1973).



Şekil 2.4 : (a) Kübik sıralanışa, (b) Eşkenar dörtgen sıralanışa sahip tekdüze kürelerin gözenek uzayı ve düzeni (Greenkorn, 1983).

Düzgün tane büyüklüğü olmayan katılaşmamış doğal maddelerde tane büyüklüğü dağılımı ile gözeneklilik arasında bağlantı vardır. Tane büyüklüğünün çeşitli olması, büyük tanelerin arasında kalan boşlukların daha küçük boyuttaki tanelerle dolmasına ve gözenekliliğin azalmasına yol açar. Bu nedenle, tane boyutu değişken olan bir malzeme, iyi elenmiş ve tane boyutu nerdeyse tekdüze hale getirilmiş bir malzemedir daha düşük değerlerde bir gözenekliliğe sahiptir (İshakoğlu ve Baytaş, 2002).

Doğal gözenekli ortam olan toprağın gözenekliliği, ölçüm için paketlenme yoğunluğuna, tane boyutuna ve dağılımına, taneciklerin şekline, çimentolanmaya bağlı olarak değişir. Çimentolanma, zamanla gözenek boşluklarının toprak katmanlarındaki çeşitli maddelerle dolması ile ortaya çıkan bir durumdur ve gözenekliliği azaltır. Öte yandan toprak katmanlarının sıkışması yani uygulanan basınç gözenekliliği etkiler. Toprağın gözenekliliği 0,3 ile 0,7 arasında değişir (Nimmo, 2004).

2.2.2 Gözenekliliğin Ölçülmesi

Mutlak (gerçek) gözeneklilik ve etkin (effektif) gözeneklilik için farklı ölçüm teknikleri mevcuttur. Çizelge 2.1’de farklı ölçüm teknikleri ile ölçümde kullanılan büyüklükler verilmiş olup hangi gözeneklilik türünün belirlendiği ve bölgesel olarak

ölçümün mümkün olup olmadığına değinilmiştir. Bölgesel gözeneklilik ölçüm olasılığı sadece fotoğraf ve gama geçirgenlik tekniğinde mümkün olmaktadır.

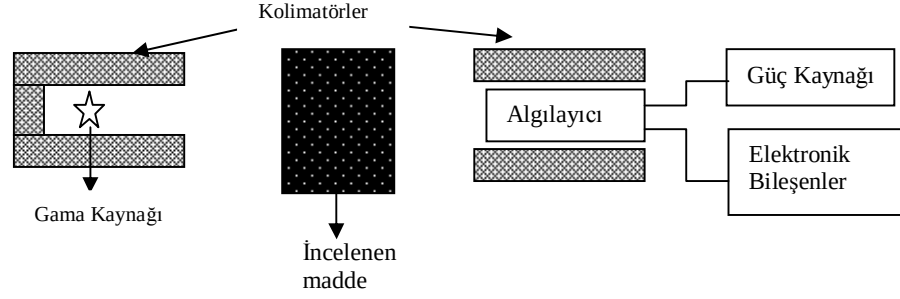
Çizelge 2.1 : Gözeneklilik ölçüm teknikleri (Kaviany, 1995).

Teknik	Temel İlke	Ölçüm Büyüklüğü	Gözeneklilik Türü	Bölgesel Gözeneklilik Ölçüm Olasılığı
Doğrudan Ölçüm	Kaba hacmin toplam hacme oranı	Hacim	Mutlak	Yok
Fotoğraf (İki boyutlu)	Katı alanların toplamının boşluk alanlarınıninkine oranı	Alan	Mutlak	Var
Emme (Islatan sıvı)	Islatan akışkanı tamamen emmiş kütlenin kuru kütleye oranı	Kütle & Hacim	Etkin	Yok
Civa Enjeksiyonu (Islatmayan sıvı)	Ortam içerisinde ilerleyen civanın hacmi	Hacim	Etkin	Yok
Gaz Enjeksiyonu	Genleşmeden önce ve sonraki ortamı bir arada tutan basınç	Basınç & Hacim	Etkin	Yok
Gamma Işını Geçirgenliği	Gözenekli ortamdan geçen gama ışınının aynı kalınlıktaki bir katı maddeden geçerkenki zayıflatması ile karşılaştırılması	Radyasyon Şiddeti	Mutlak	Var

2.3 Gama Işını Geçirgenlik Tekniği

Endüstri, tıp, tarım gibi birçok farklı dalda malzeme özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan gama geçirgenlik tekniğine ait blok şeması Şekil 2.5’ te görülmektedir, şekilde yer alan elektronik bileşenler, ön yükseltici, yükseltici ve sayıcı-zamanlayıcı gibi elemanlardan oluşmaktadır. Gama kaynağından çıkan fotonlar madde ile etkileşime girerek zayıflarlar ve diğer taraftaki algılayıcıya

ulaşırlar. Algılayıcıya gelen fotonlar, bu defa algılayıcı malzemesi ile etkileşip zayıf bir sinyal üretirler. Bu sinyal yükselticide ölçülebilir düzeye getirilir ve sayıcıdan okunan değer radyasyonun birim zamandaki şiddetini verir. Gama fotonunun zayıflatması, incelenen malzemenin özelliklerine bağlı olarak gerçekleşir. Bu nedenle gama-ışını geçirgenlik deneyi ile elde edilen sonuçlar malzemenin özellikleri hakkında doğrudan bilgi vermektedir.



Şekil 2.5 : Gama geçirgenlik tekniği blok şeması.

2.3.1 Gama Radyasyonunun Malzeme İle Etkileşimi

Enerjik gama fotonları elektriksel olarak yüksüz ve durgun kütleleri sıfır olduğundan malzeme içerisinde kolaylıkla ilerleyebilirler. Gama radyasyonunun bir malzeme ile etkileşimleri fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumdur.

Fotoelektrik olay

Düşük enerjili gama fotonunun yörünge elektron bulutu ile etkileşmesi, tüm enerjisini bir elektrona vererek elektrona serbest bırakması ile sonuçlanır. Bu olayda bir serbest elektron ve pozitif iyondan oluşan iyon çifti meydana gelir ve gelen foton yok olur. Kopan elektron yerine bir üst katmandan elektron gelmekte ve bu boşluğu doldurmaktadır. İki katman arasındaki enerji farkı kadar karakteristik X-ışını yayınır. Bu etkileşme özellikle düşük enerjili fotonlar ile yüksek atom numaralı malzemelerde görülür.

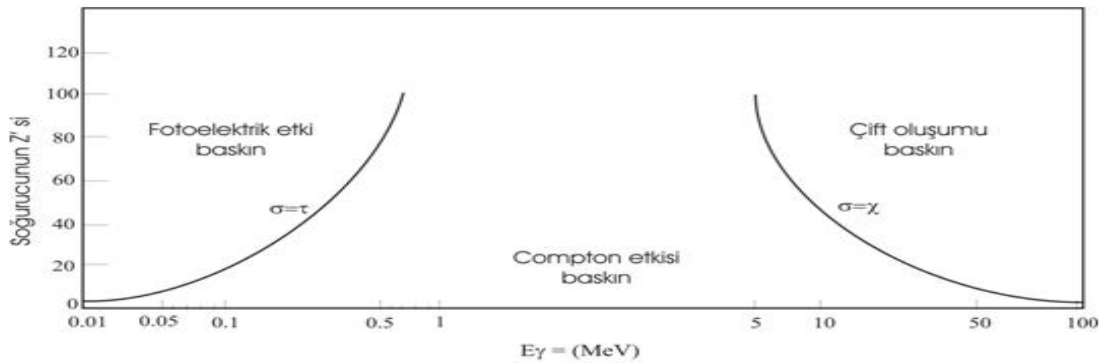
Compton saçılması

Yeteri derecede yüksek enerjiye sahip gama fotonları, maddenin dış yörünge elektron bulutundaki bir elektrona çarparak yörüngesinden çıkartır. Gelen foton enerjisinin bir kısmını kaybeder ve gelme açısı doğrultusunda farklı bir açı ile saçılır. Saçılan foton daha düşük bir enerjiye sahiptir ve fotoelektrik etki ile malzemeye etkileşmeye

devam eder. Compton saçılması özellikle 1 MeV ile 10 MeV enerji aralığındaki fotonlar ile düşük ve orta atom numarasına sahip malzemeler arasında görülmektedir.

Çift oluşumu

En az 1,02 MeV enerjiye sahip gama fotonları, atom çekirdeğinin yakınından geçerken enerjisinin hepsini kaybeder ve bir elektron-pozitron çifti açığa çıkar. Bu elektron-pozitron çiftinin toplam kütle eşdeğer enerjisi 1,02 MeV dir. Bu sebeptendir ki gelen gama fotonun enerjisi en az 1,02 MeV olmalıdır. Çift oluşumunda, gelen gama fotonu yok olur ve oluşan pozitronun bir elektronla etkileşmesi sonucu yok oluş radyasyonu diye adlandırılan birbirine 180° zıt yönde yayılan 2 gama fotonu ortaya çıkar. Bu fotonlar düşük enerjilidir, fotoelektrik olay ile malzemeye etkileşirler. Çift oluşumu önce enerjinin kütleye (gelen foton pozitron-elektron çifti ortaya çıkarır), sonra kütlenin enerjiye (pozitronun elektronla birleşip yok oluşu ve gama fotonlarını ortaya çıkarması) dönüşümünün gerçekleştiği bir olaydır. Gelen fotonun enerjisi arttıkça çift oluşumu olasılığı artar.



Şekil 2.6 : Fotonun madde ile etkileşiminin enerjiye göre değişimi (Knoll, 2002).

Sonuç olarak, gama fotonunun enerjisine bağlı olarak madde ile etkileşme olasılıklarında Şekil 2.6' da verildiği gibi, gelen fotonun enerjisi 1 MeV civarını bulduktan sonra Compton saçılması ve çift oluşumu baskın olmaktadır.

2.4 Gama-Işını Geçirgenlik Ölçümlerinin Gözenekli Ortamın İncelenmesinde Kullanımı

Gama fotonu, malzeme içerisinde Lambert–Beer kanununa göre üstel bir şekilde zayıflar.

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (2.2)$$

Burada; I_0 gelen radyasyon şiddetini, I malzemeyi geçen radyasyon şiddetini, x [cm] malzeme kalınlığını, μ [cm^{-1}] malzemenin lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir.

Kütlesel zayıflatma katsayısı μ' nün malzeme yoğunluğuna bölümü sonucunda bulunur ve birimi cm^2 / gr dır.

Kuru toprak ile dolu bir kolonda radyasyonun zayıflatması denklem 2.2' den yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{kt} = I_0 \exp(-\mu_{kt} x_{kt}) \quad (2.3)$$

Burada; I_{kt} kuru topraktan geçen radyasyon şiddetini, x_{kt} [cm] kolondaki kuru toprak kalınlığı ve μ_{kt} [cm^{-1}] kuru toprağın lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir. Toprak suya doyurulduktan sonra, doymuş toprak kolonundan geçen radyasyon şiddeti,

$$I_{dt} = I_0 \exp(-\mu_{kt} x_{kt} - \mu_s x_{ds}) \quad (2.4)$$

şeklinde. Burada; I_{dt} doymuş topraktan geçen radyasyon şiddetini, x_{ds} [cm] kolondaki % 100 doymuş topraktaki temsili sıvı kalınlığını ve μ_s [cm^{-1}] suyun lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir. Toprağın suya doyması, suyun yavaş bir şekilde toprağa ilave edilmesi ve bu işlemin toprağın yüzeyinde 1 cm su kalıncaya kadar devam etmesi ile gerçekleştirilir (Kumar ve diğ., 1979). Denklem 2.3 ve 2.4' ü kullanılarak x_{ds} aşağıdaki gibi elde edilir.

$$x_{ds} = \frac{\ln(I_{kt}/I_{dt})}{\mu_s} \quad (2.5)$$

Gözeneklilik tanımından hareketle, kolondaki kuru toprak kalınlığı ve temsili sıvı kalınlığı kullanılarak gözeneklilik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\varepsilon = \frac{x_{ds}}{(x_{ds} + x_{kt})} \quad (2.6)$$

Denklem 2.5, denklem 2.6' da yerine konup yeniden düzenleme yapılırsa gözeneklilik aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\varepsilon = \left(1 + \frac{x_{kt} \mu_s}{\ln(I_{kt}/I_{dt})}\right)^{-1} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7' den görüleceği gibi kuru toprak kalınlığı, suyun lineer zayıflatma katsayısı, kuru topraktan geçen radyasyon şiddeti ve suya doymuş toprak kolonundan

geçen radyasyon şiddeti kullanılarak, gözeneklilik deneysel olarak saptanabilmektedir.

Doğada toprak her zaman bir miktar su içermektedir, ancak tarım alanlarında, havadar bir kök bölgesi ve tarımsal faaliyetler için yeter derecede kuru bir üst toprak sağlamak, kaynağı ne olursa olsun fazla suyu araziden uzaklaştırmak gerekmektedir. Toprağın üst yüzeyinden suyun uzaklaştırılması yani suyun belli bir derinliğe kadar süzülmesi ile toprakta yeterli hava akımı sağlanır ve ortamda fazlalaşan oksijen sayesinde bitki köklerinin solunumu kolaylaşır, ayrıca suyun boşaldığı toprak gözenekleri hava ile dolduğundan ıslak topraklara nazaran toprağın daha çabuk ısınması sağlanır. Bu nedenle toprakların süzme (direnaj) özelliklerinin ve su tutma kapasitesinin bilinmesi tarım açısından önem kazanmaktadır. Gözenekli bir malzemenin akışkan süzme özellikleri, yani akış özellikleri de gama ışını geçirgenlik verileri ile saptanabilir.

Bu amaçla, suya tamamen doymuş toprak kolonundan suyun tahliyesi yapılır. Ancak her toprak kendi bünyesinde bir miktar suyu muhafaza edecektir ve buna bağlı olarak da lineer zayıflatma katsayısı değişecektir. Tahliye sonrası yapılan lineer zayıflatma katsayısı ölçümü ile kuru toprak zayıflatma katsayısı arasındaki oran bize su tutma kapasite faktörünü vermektedir ve aşağıdaki denklem ile gösterilmektedir (Baytaş ve Akbal., 2002).

$$R_{\mu} = \frac{\mu_{kt}}{\mu_{tah.}} \quad (2.8)$$

Burada; R_{μ} su tutma kapasite faktörünü, $\mu_{tah.}$ ise tahliye sonrası lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir.

3. DENEY KOŞULLARININ TANITILMASI

3.1 Deney Düzenine Ait Bilgiler

Çalışmada toprak numunelerinin lineer zayıflatma katsayılarını incelemek için dar demet geometrisine sahip deney düzeneği kullanılmıştır. Bu deney düzeneği İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı bünyesindeki Radyoizotop Laboratuvarında mevcuttur ve aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- Gama ışını kaynağı
- Na(Tl) sintilasyon algılayıcı
- Dar demet geometrisini sağlayan kaynak ve algılayıcı kolimatörleri
- Sayım sistemi

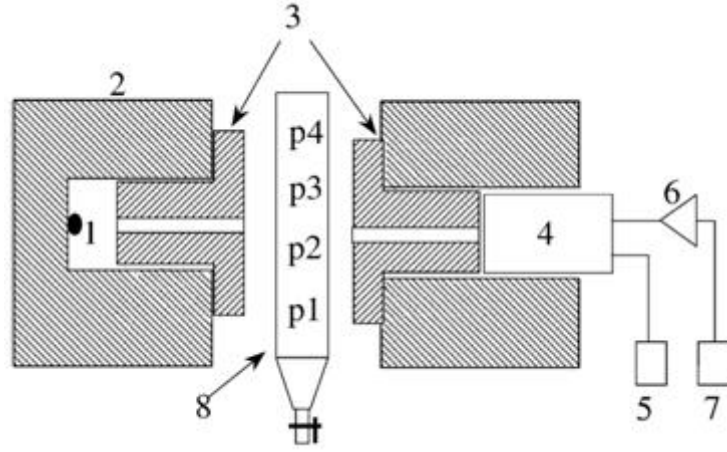
Şekil 3.1' de deney düzeneğinin blok şeması görülmektedir.

3.1.1 Gama Kaynağı

Gama geçirgenlik tekniğinde en yaygın olarak kullanılan gama ışını kaynaklarından biri ^{60}Co dır. Çekmece Nükleer Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nden temin edilmiş olan ve orta enerjili bir gama kaynağı olan ^{60}Co 'ın özellikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir. ^{60}Co ' ın enerji değeri ortalama 1,25MeV olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 : Gama ışını kaynağı özellikleri.

Kaynak	Yarı ömrü (yıl)	Enerji (keV)	Aktivite (μCi)
^{60}Co	5, 27	1173 (100) 1332 (100)	8,38



Şekil 3.1 : Dar demet geometrisine sahip deney düzeneği blok şeması.

Şekil 3.1’ de görüleceği üzere;

1. Gama ışın kaynağı
2. Kurşun zırh
3. Kurşun kolimatörler
4. Na(Tl) sintilasyon algılayıcısı
5. Yüksek voltaj güç kaynağı
6. Yükseltici
7. Sayıcı ve zamanlayıcı
8. Toprak örneklerinin konulduğu kolon kabı ve önceden belirlenen 4 farklı ölçüm noktalarıdır.

3.1.2 Ölçüm Sistemi

Çalışmada kullanılan ölçüm sistemi gama verimi yüksek olan Na(Tl) sintilasyon algılayıcısı, algılayıcıya enerji sağlayan yüksek voltaj güç kaynağı, sinyal yükseltici, sinyal zamanlayıcı ve sayacısından oluşmaktadır. Şekil 3.2’ de kolimatör grubu, Şekil 3.3’ de Na(Tl) sintilasyon algılayıcısı, Şekil 3.4’ de sinyal yükseltici, sinyal zamanlayıcı ve sayacısı grubu ve Şekil 3.5’ de deney düzeneğinin toplu gösterimi verilmiştir. Şekil 3.2’ deki fotoğrafta görüleceği üzere kaynak-algılayıcı ve kolimatörleri taşıyan düzenek, toprak kolonunun farklı noktalarından ölçüm alınabilmesi için yukarı aşağı hareket edebilen bir mekanizmaya bağlı bulunmaktadır.



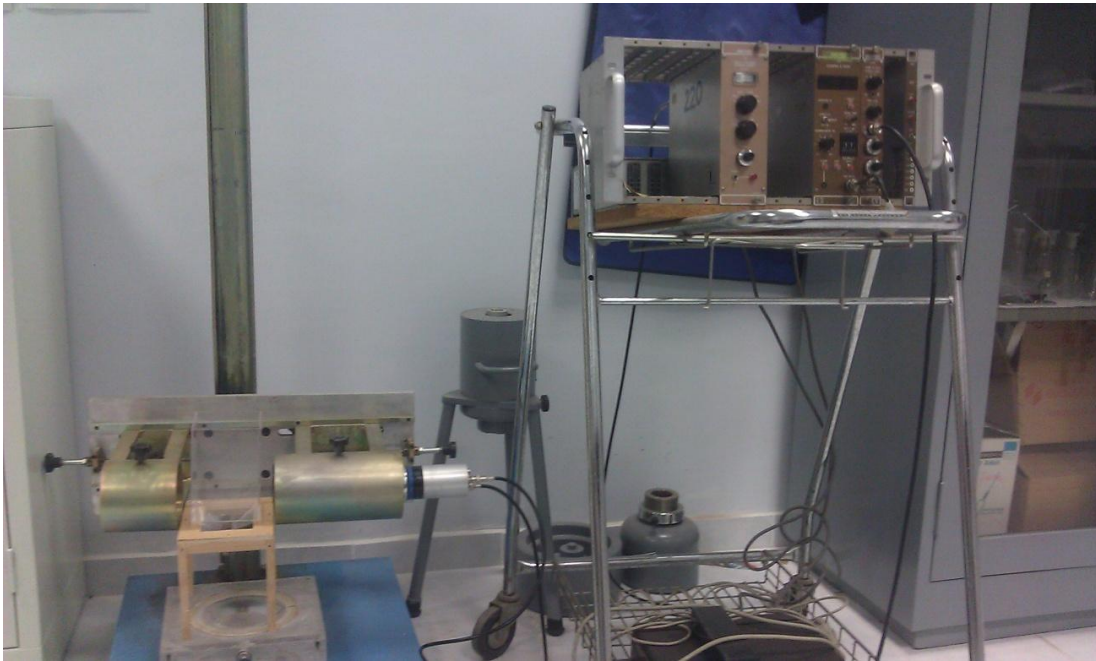
Şekil 3.2 : Kolimatör grubu.



Şekil 3.3 : Na(Tl) sintilasyon algılayıcısı.



Şekil 3.4 : Sinyal yükseltici, sinyal zamanlayıcı ve sayacısı grubu.

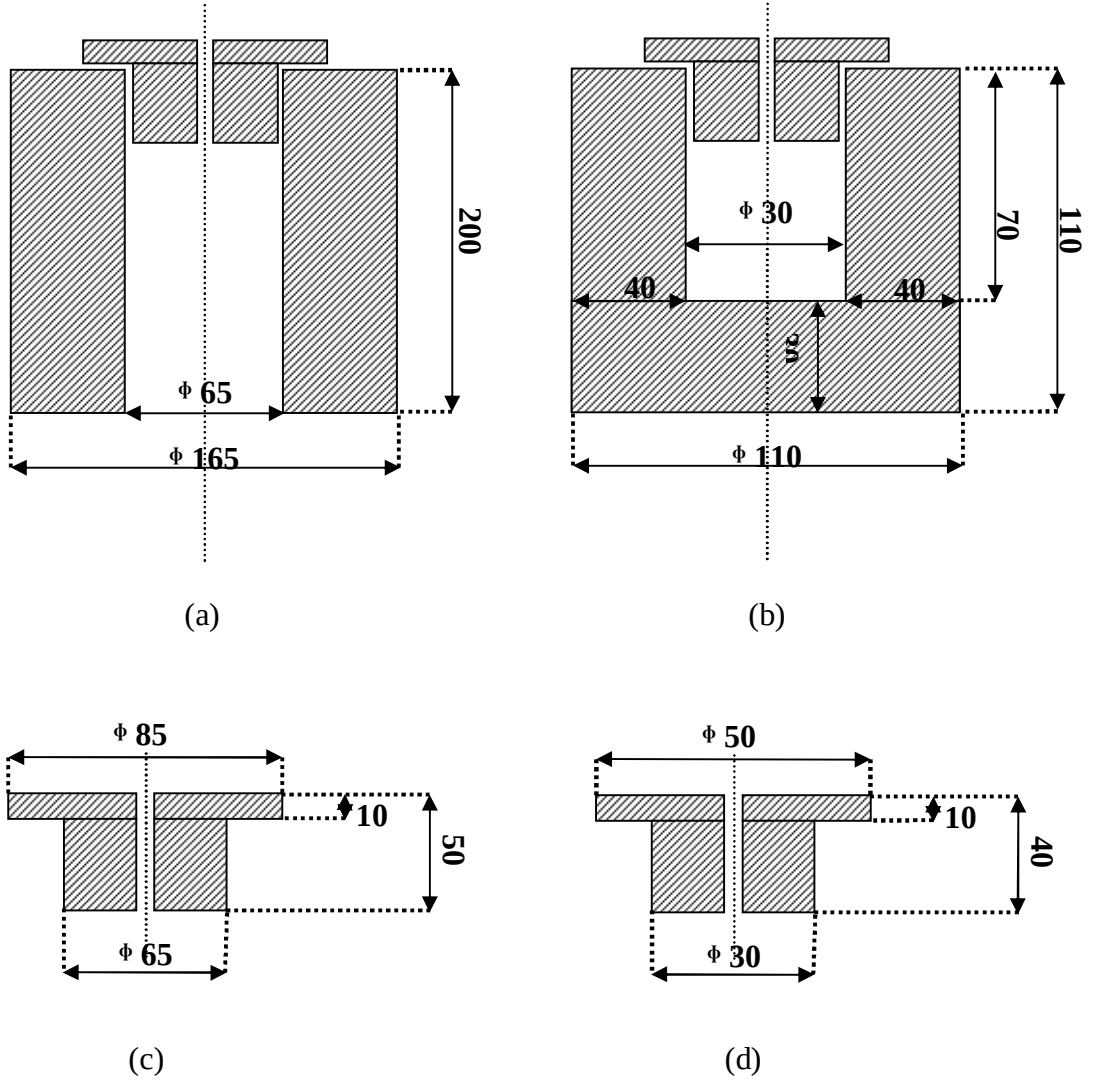


Şekil 3.5 : Deney düzeneğinin toplu gösterimi.

3.1.3 Kolimatörler

Bu çalışmada dar demet geometrisi kurşun kolimatörler sayesinde sağlanmıştır. Bu amaçla; Şekil 3.6 (a) ve (b)' de de görüleceği üzere algılayıcı ve kaynak için farklı boyutlarda kolimatörler kullanılmış, dar demet elde edebilmek için de Şekil 3.6 (c)

ve (d)' deki algılayıcı ve kaynak için farklı boyutlarda dar demet tıkaçları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dar demet tıkaçının çapı 5mm olarak seçilmiştir.



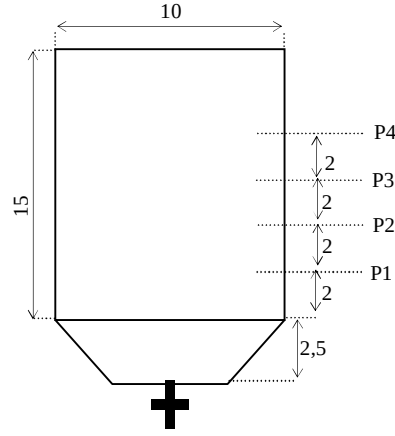
Şekil 3.6 : Kolimatörlerin şematik gösterimi (mm).

3.1.4 Örnek Kabı

Çalışmada kullanılan örnek kabı 10 x 10 cm² ebatlarında olup yüksekliği 17,5 cm pleksiglas malzemeden yapılmıştır. Kabin alt kısmı Şekil 3.7' deki çizimde görüleceği üzere koni biçimindedir ve kabin zeminine toprak kolonundaki suyun boşaltımı için vana konulmuştur.

Koni kısmının tavan hizası 0 kabul edilerek her 2 cm de bir kaplar işaretlenerek 4 ayrı ölçüm noktası belirlenmiştir. Şekil 3.8' de görüldüğü gibi örnek kabı sabit

durması ve boşaltım işleminin rahat yapılabilmesi için ayaklı bir yükseltiye oturtulmuştur.



Şekil 3.7 : Örnek kabı.



Şekil 3.8 : Örnek kabı ve ayaklık.

3.2 Toprak Numuneleri İle İlgili Bilgiler

Çalışmada kullanılan toprak numuneleri Türkiye'nin 7 farklı bölgesinden temin edilmiştir. Türkiye haritası üzerinde toprakların hangi bölgelerden seçildiği Şekil 3.9' da görülmektedir.

Toprak numuneleri temin edilirken tarım alanlarına yakın olması ve yüzeyden 15-25 cm derinlikten alınması koşuluna bağlı kalınmıştır. Şekil 3.10' da deneysel çalışma için hazırlanan toprak numuneleri görülmektedir.



Şekil 3.9 : Toprakların alındığı şehirler.



Şekil 3.10 : Deneysel çalışma için hazırlanan toprak numuneleri.

Çalışmada kullanılan 7 farklı toprak numunesinin kimyasal analizi, RIGAKU marka NEXCG model Polarize Enerji Dağılımlı X-Işın Floresans Spektrometresi (P-EDXRF) ile Maylab Maden, Madeni yağ ve akaryakıt analiz laboratuvarında gerçekleştirilmiştir, analiz sonuçları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Toprak numunelerinin kimyasal analizi. (yüzdesel olarak)

Kimyasal Bileşenler	Topraklar						
	Adana	Samsun	Erzurum	Kayseri	Gaziantep	Bursa	Eskişehir
SiO ₂	47,300	59,000	49,300	68,000	54,200	49,300	43,300
Al ₂ O ₃	12,300	20,600	13,000	15,900	20,200	12,600	9,930
Fe ₂ O ₃	6,340	10,600	6,170	4,380	10,100	5,940	4,100
CaO	13,900	3,020	13,800	6,950	5,100	12,300	18,200
MgO	3,260	2,730	2,770	1,490	1,690	3,320	6,010
K ₂ O	1,740	3,540	1,710	2,540	2,330	1,610	1,850
Na ₂ O	0,336	0,710	0,046	2,880	0,034	0,492	0,417
MnO	0,112	0,190	0,110	0,092	0,162	0,139	0,082
TiO ₂	0,857	0,908	0,862	0,671	1,290	0,785	0,530
V ₂ O ₅	0,010	0,044	0,016	0,011	0,013	0,007	0,008
Cr ₂ O ₃	0,092	0,008	0,105	0,011	0,074	0,160	0,070
SO ₃	0,108	0,084	0,121	0,104	0,123	0,178	0,093
P ₂ O ₅	0,312	0,315	0,219	0,303	0,236	0,124	0,098
Co ₂ O ₃	0,024	0,042	0,020	0,015	0,034	0,020	0,016
NiO	0,026	0,000	0,026	0,005	0,034	0,020	0,029
CuO	0,006	0,009	0,007	0,004	0,009	0,008	0,005
ZnO	0,013	0,019	0,013	0,009	0,023	0,015	0,008
Ga ₂ O ₃	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002
As ₂ O ₃	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002
Rb ₂ O	0,009	0,006	0,008	0,011	0,012	0,008	0,012
SrO	0,016	0,043	0,014	0,037	0,017	0,018	0,525
Y ₂ O ₃	0,004	0,004	0,006	0,004	0,007	0,004	0,003
Nb ₂ O ₅	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002
SnO ₂	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,003

Suyun lineer zayıflatma katsayısı gama geçirgenlik tekniği ile saptanmış olup 0,0534 cm⁻¹ olarak bulunmuştur.

Toprak numuneleri fırında kurutulduktan sonra elenerek tane boyutları 250µm - 2 mm aralığına kadar getirilmiştir. Ayrıca çalışmada kütleli zayıflatma katsayısını hesaplarken kullanacağımız toprak öz kütleleri de deneysel olarak hesaplanmış ve Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Toprak numunelerinin özkütleleri.

Topraklar	Öz kütle (g/cm³)
Adana	2,250
Samsun	2,238
Erzurum	2,187
Kayseri	2,122
Gaziantep	2,061
Bursa	2,018
Eskişehir	1,996

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin 7 farklı bölgesinden toplanan toprak numunelerinin önce kuru halde, sonra suya doymuş ve nihayet süzölmüş haldeki gama ışını zayıflatma ölçümleri yapılmış ve sonuçlarla bazı toprak parametreleri saptanmıştır.

4.1 Kuru Toprakla Yapılan Çalışmalar

Toprak numuneleri öncelikle 105 °C lik fırında 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan toprak numuneleri tane boyutu 250µm - 2 mm aralığında olacak şekilde, önce belli ölçölere kadar ufalanıp belirtilen aralıktaki eleklerden geçirilerek istenilen tane boyutuna getirilmiştir.

Çalışmada, kuru toprak numunelerinin foton zayıflatma katsayıları deneysel veriler kullanılarak bulunmuş ve ileriki aşamalarda toprağın gözeneklilik ve su tutma kapasitesi hesaplamalarında kullanılmıştır.

İstenilen tane boyutuna getirilen toprak numuneleri Bölüm 3'te Şekil 3.7'de belirtilen 10 x 10 cm² ölçülerinde pleksiglas örnek kabının 4 numaralı ölçüm noktasının 2 cm üzerinde olacak şekilde doldurulmuştur. Dar demet geometrisindeki ölçüm sisteminde ⁶⁰Co kaynak kullanılarak toprak kolonunun önceden belirtilen 4 farklı derinliğinde gama ışını zayıflatma ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerler, her bir toprak numunesi için 4 ayrı yükseklikte 30 saniyelik sürelerde 3 sayım olacak şekilde yapılmıştır. Kaynak - algılayıcı grubu bir çark vasıtasıyla yukarı-aşağı hareket eden bir mekanizmaya bağlıdır ve çark 20 tur döndüğünde, tur yönüne göre kaynak - algılayıcı grubu yukarı ya da aşağıya doğru 2 cm ilerlemektedir.

Sayım öncesi ve en sonunda ortam sayımı alınmış olup bu sayımın ortalaması toprak numune sayımlarından çıkartılmıştır. Çizelge 4.1' de lineer zayıflatma katsayısı en büyükten küçüğe göre toprak numuneleri sıralanmıştır.

Çizelge 4.1 : Kuru toprak numunelerinin lineer zayıflatma katsayıları.

Toprak	Kuru Toprak Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm^{-1})
Adana	0,0545 $\pm$ 0,0012
Kayseri	0,0517 $\pm$ 0,0005
Erzurum	0,0508 $\pm$ 0,0007
Bursa	0,0506 $\pm$ 0,0001
Gaziantep	0,0491 $\pm$ 0,0005
Eskişehir	0,0489 $\pm$ 0,0003
Samsun	0,0464 $\pm$ 0,0022

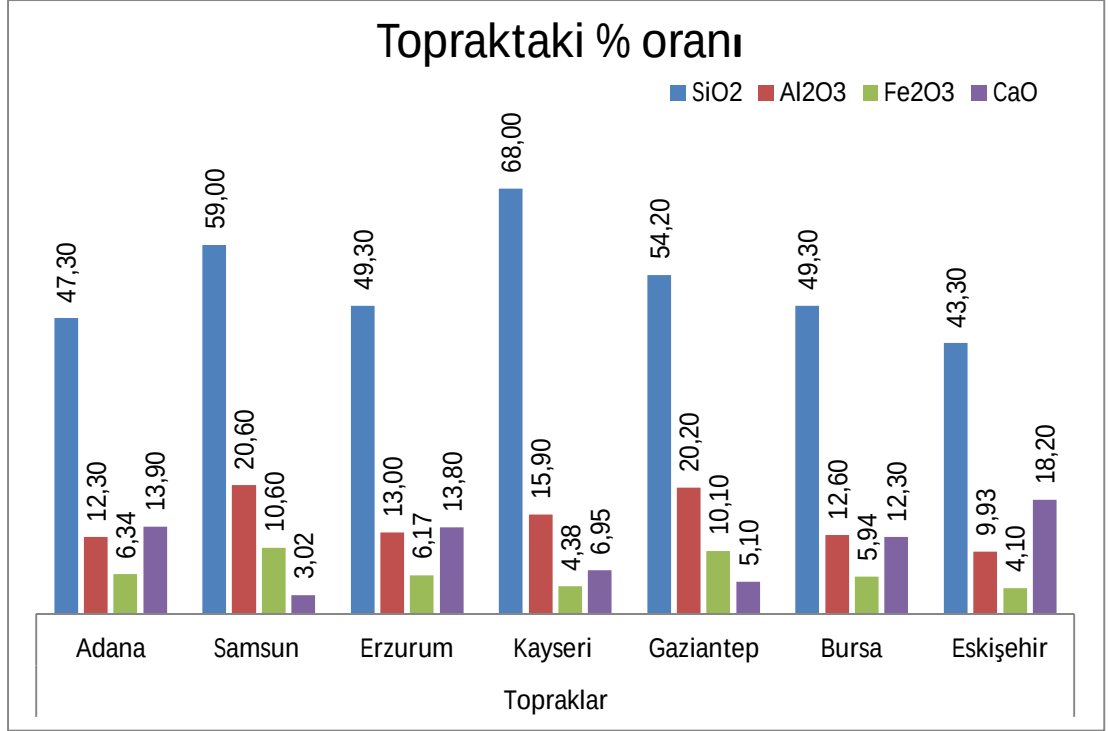
Daha önce Bölüm 3’ te toprak numunelerinin özkütleleri belirtilmişti. Herbir toprağın ölçülen özkütle değerlerine bağlı olarak kütleli zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’ de toprak numunelerinin kuru topraktaki katı hacmin kütleli zayıflatma katsayıları ile teorik olarak XCOM bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ve aralarındaki yüzdesel fark verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kuru toprak numunelerinin kütleli zayıflatma katsayıları.

Toprak	Kuru Topraktaki Katı Hacmin Kütleli Zayıflatma Katsayısı (cm^2 / g)	Teorik Kütle Zayıflatma Katsayısı (XCOM) (cm^2 / g)	Fark (%)
Adana	0,0466 $\pm$ 0,0010	0,0564	17,35
Kayseri	0,0506 $\pm$ 0,0004	0,0564	10,33
Erzurum	0,0528 $\pm$ 0,0007	0,0564	6,44
Gaziantep	0,0548 $\pm$ 0,0005	0,0563	2,75
Eskişehir	0,0566 $\pm$ 0,0003	0,0566	0,01
Bursa	0,0573 $\pm$ 0,0001	0,0565	1,40
Samsun	0,0575 $\pm$ 0,0027	0,0563	2,15

Toprağın temel bileşenlerinden SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 oksitlerinin yüzdesel miktarlarının toprak numunelerine göre dağılımının görüldüğü Şekil 4.1 ile Çizelge 4.2'deki kuru toprak numunelerinin kütleli zayıflatma katsayıları arasındaki ilişkiye bakılacak olursa, kütleli zayıflatma katsayısının kimyasal yapıya bağlı olarak büyük değişiklik göstermediği anlaşılmaktadır. ^{60}Co orta enerji bölgesinde olan bir gama kaynağıdır, kütleli zayıflatma katsayısı bu bölgede büyük değişimler göstermemektedir, kimyasal yapıya bağlı değişim ihmal edilecek düzeydedir (Singh

ve Mudahar, 1992; Baytaş ve Akbal, 2002). Ayrıca Çizelge 4.2’ den hareket ile deneysel ve teorik olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasındaki farklar Adana, Kayseri ve Erzurum toprakları için % 6’ in üzerinde, diğerleri için %3 altında kaldığı söylenebilir.



Şekil 4.1 : Toprağın temel bileşenlerinden SiO₂, CaO, Fe₂O₃ ve Al₂O₃ oksitlerinin % oranlarının topraklara göre dağılımını gösteren grafik.

4.2 Islak Toprak Çalışmaları

Islak toprak çalışmaları iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, toprağın suya doyurulması ve bekleme süresi sonunda %100 doymuş kolonunun 4 farklı noktasından (bu noktalar kuru toprak sayımlarının alındığı noktalardır) sayımların alınmasıdır. İkinci aşama ise, doymuş toprak kolonundan suyun süzülmesi ve bekleme süresi sonunda suyun daha fazla süzülmeyeceği anlaşıncaya 4 farklı derinlikte sayımların yapılmasıdır.

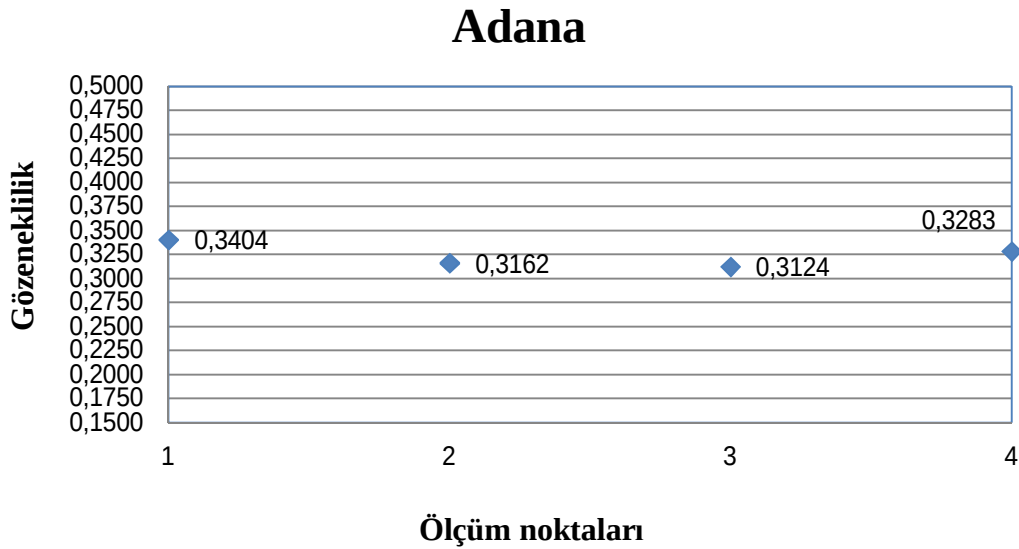
4.2.1 Toprak Kolonunun Suya Doyurulması

Toprak numuneleri, kolonun üst kısmından sulanmıştır. Suyun kolonda eşit dağılımını sağlamak amacıyla her defasında 100 mililitrelik su fıskiye yöntemiyle eklenmiş, böylece aşama aşama toprak doyuma ulaştırılmıştır. Doyma aşamasında

toprağın üzerinde 1 cm kadar su kalmakta ve toprak daha fazla suyu kolon derinliklerine geçirmemektedir. Toprak numunelerine 100 ml su fiskiye yöntemiyle koyulduktan ve toprağın yüzeyinde bu suyun emilmesi bittikten hemen sonra bir sonraki 100 ml su ilave edilmiştir. Bu şekilde sulanarak doyuma ulaşan toprak numuneleri 48 saat sürece üstü buharlaşmayı önlemek amacı ile kapatılarak bekletilmiş ve toprağın kesin doyuma ulaşması sağlanmıştır.

Kayseri, Erzurum, Adana toprakları özellikle Gaziantep, Eskişehir, Bursa topraklarına nazaran daha yavaş bir şekilde suyu kolon derinliğine doğru geçirme davranışı sergilerken, Samsun toprağının suyu alt katmanlara geçirme süresi ve dolayısıyla doyma aşaması diğer topraklara göre daha uzun sürmüştür.

Suya doymuş kolondan alınan sayım değerleri ve denklem 2.7 kullanılarak, toprak kolon boyunca gözeneklilik değerleri bulunmuştur. Şekil 4.2’de bir örnek olmak üzere, Adana toprağı için kolon boyunca sayım alınan noktalardaki gözeneklilik değerleri verilmiştir. Her toprak için kolon boyunca elde edilen gözeneklilik değerlerinin ortalaması ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Adana toprağı için kolon boyunca gözeneklilik dağılımı.

Çizelge 4.3 : Toprakların gözeneklilik değerleri.

Toprak	Gözeneklilik, ε
Adana	0,3245 $\pm$ 0,0127
Kayseri	0,3412 $\pm$ 0,0040
Erzurum	0,3591 $\pm$ 0,0097
Bursa	0,3597 $\pm$ 0,0018
Gaziantep	0,3607 $\pm$ 0,0176
Eskişehir	0,3617 $\pm$ 0,0065
Samsun	0,3902 $\pm$ 0,0188

Çizelge 4.4’de ise toprakların kuru ve suya doymuş halleri için lineer zayıflatma katsayıları karşılaştırılmış olup, tüm doymuş topraklar için lineer zayıflatma katsayısının kuru haldeki lineer zayıflatma katsayısına göre arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3 ve 4.4 birlikte değerlendirilirse, kuru toprağın lineer zayıflatma katsayısı ile gözeneklilik arasında ters orantı vardır, toprağın gözenekliliği arttıkça lineer zayıflatma katsayısı daha düşük değerler almaktadır.

Çizelge 4.4 : Kuru ve suya doymuş toprakların lineer zayıflatma katsayıları.

Toprak	Kuru Toprağın lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1})	Doymuş Toprağın lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1})
Adana	0,0545 $\pm$ 0,0012	0,0802 $\pm$ 0,0004
Kayseri	0,0517 $\pm$ 0,0005	0,0794 $\pm$ 0,0003
Erzurum	0,0508 $\pm$ 0,0007	0,0807 $\pm$ 0,0007
Bursa	0,0506 $\pm$ 0,0001	0,0807 $\pm$ 0,0001
Gaziantep	0,0491 $\pm$ 0,0005	0,0793 $\pm$ 0,0027
Eskişehir	0,0489 $\pm$ 0,0003	0,0792 $\pm$ 0,0008
Samsun	0,0464 $\pm$ 0,0022	0,0806 $\pm$ 0,0009

4.2.2 Doymuş Toprak Kolonundan Suyun Süzülmesi

Doyuma ulaşan toprak numunelerinden, örnek kabı altındaki vana sayesinde damla yöntemi ile suyun tahliyesi gerçekleştirilmiştir. Burada amaç toprak numunelerinin su tutma kapasitelerinin saptanmasıdır.

Doyuma ulaşan toprak numunelerinin sayımı alındıktan hemen sonra vanalar suyun damlayacağı kadar açılarak tahliye başlatılmıştır. Burada vanaları bu kadar az açmamızın temel nedeni suyla birlikte toprağın da tahliyesini minimuma indirmektir. Tahliye aşamasında sayım almadan önce 48 saat vanalar açık bekletilmiştir.

Adana, Kayseri ve Erzurum toprak numunelerinde ki tahliye kabında biriken suların, Eskişehir ve Samsun toprak numunelerinde biriken tahliye kabı suyundan daha az olduğu gözlemlenmiştir. Tahliye aşamasından sonra alınan sayımlar ile denklem 2.8 kullanılarak toprakların su tutma kapasiteleri hesaplanmış ve Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Toprakların su tutma kapasitesi değerleri.

Toprak	Su tutma kapasitesi, R_u
Adana	0,6878 $\pm$ 0,0161
Kayseri	0,6564 $\pm$ 0,0075
Erzurum	0,6385 $\pm$ 0,0093
Bursa	0,6338 $\pm$ 0,0080
Gaziantep	0,6242 $\pm$ 0,0123
Eskişehir	0,6208 $\pm$ 0,0061
Samsun	0,5860 $\pm$ 0,0334

Çizelge 4.3 ve 4.5 karşılaştıracak olursak gözeneklilik azaldıkça su tutma kapasitesinin arttığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.6 ‘da kuru toprak, doymuş toprak ve tahliye sonrası nemli toprak için lineer zayıflatma katsayıları bir arada gösterilmiştir. Tahliye sonrasında lineer zayıflatma katsayısını diğer iki hal için karşılaştıracak olursak kuru haldekine göre değerlerin büyük olduğu doymuş toprak halindeki değerlere göre ise azaldığı görülmektedir. Çünkü doymuş toprağın radyasyonla etkileşme olasılığı gözenekler su ile dolu olduğu için kuru toprağa göre daha fazladır, öte yandan suyun tahliye edildiği ortamda su ne kadar süzülürse süzülün bir miktarı gözeneklerde kalmakta böylece kuru toprağa göre radyasyon ortamla daha fazla etkileşmektedir.

Öte yandan Çizelge 4.5 ve 4.6 birlikte değerlendirilirse, kuru toprak lineer zayıflatma katsayısı arttıkça su tutma kapasitesinin de arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.6 : Kuru, suya doymuş ve süzölmüş toprakların lineer zayıflatma katsayıları.

Toprak	Kuru Toprağın lineer zayıflatma katsayısı (cm⁻¹)	Doymuş Toprağın lineer zayıflatma katsayısı (cm⁻¹)	Tahliye Sonrası lineer zayıflatma katsayısı (cm⁻¹)
Adana	0,0545 ±0,0012	0,0802 ±0,0004	0,0792 ±0,0004
Kayseri	0,0517 ±0,0005	0,0794 ±0,0003	0,0788 ±0,0007
Erzurum	0,0508 ±0,0007	0,0807 ±0,0007	0,0795 ±0,0006
Bursa	0,0506 ±0,0001	0,0807 ±0,0001	0,0799 ±0,0009
Gaziantep	0,0491 ±0,0005	0,0793 ±0,0027	0,0787 ±0,0011
Eskişehir	0,0489 ±0,0003	0,0792 ±0,0008	0,0788 ±0,0010
Samsun	0,0464 ±0,0022	0,0806 ±0,0009	0,0792 ±0,0011

Toprakların gözeneklilik ve su tutma kapasitesi gibi özelliklerinin kimyasal yapıları ile ilgisini araştırmak üzere, Çizelge 4.7’de bu iki özelliğın yanı sıra toprakta temel olarak bulunan bazı oksitlerin yüzdesel miktarları bir arada verilmiştir. Çizelge 4.7’den göröleceğı gibi, kimyasal yapı-gözeneklilik veya kimyasal yapı-su tutma kapasitesi arasında doğrudan bir bağ kurmak mümkün görünmemektedir. Ancak Erzurum ve Bursa toprakları SiO₂ yüzdesi aynı olmak üzere kimyasal yapıları birbirine çok yakındır, her iki toprağın gözenekliliğı ve su tutma kapasitesi birbirine çok yakındır.

Çizelge 4.7 : Kimyasal yapı, gözeneklilik ve su tutma kapasitesi.

	Adana	Kayseri	Erzurum	Bursa	Gaziantep	Eskişehir	Samsun
ε	0,324	0,341	0,359	0,360	0,361	0,362	0,390
R _p	0,688	0,656	0,639	0,634	0,624	0,621	0,586
SiO ₂	47,300	68,000	49,300	49,300	54,200	43,300	59,000
Al ₂ O ₃	12,300	15,900	13,000	12,600	20,200	9,930	20,600
Fe ₂ O ₃	6,340	4,380	6,170	5,940	10,100	4,100	10,600
CaO	13,900	6,950	13,800	12,300	5,100	18,200	3,020

4.3 Toprak Kolonunda Islanmanın Zamana Bağlı İncelenmesi

7 toprak numunesi içinde su tutma kapasitesi en yüksek değere sahip Adana toprağı, en düşük değere sahip Samsun toprağı ve ortalama değere yakın Gaziantep toprakları seçilerek önceden yapılan doyuma ulaşma ve tahliye aşamaları zamana göre incelenmiştir.

Seçilen 3 toprak numunesi de örnek kabının 4 nolu ölçüm hizasına kadar doldurulmuştur. Zamana bağli incelemenin yapıldığı deneylerde, ölçümler toprak

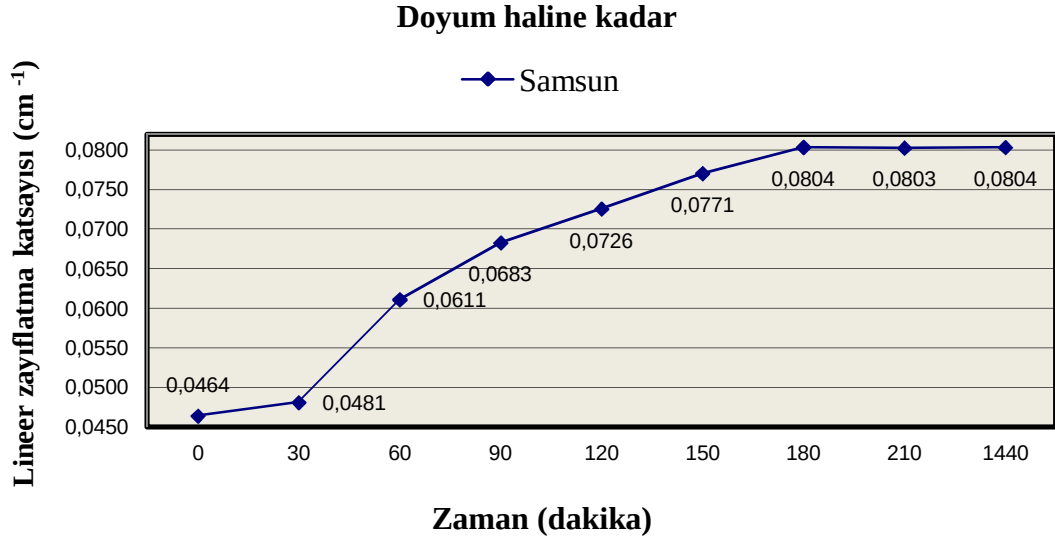
kolonunun belli bir derinliğinden alınmış, seviye sabit tutulmuştur. Seviyenin seçiminde de kolonun orta bölgesi dikkate alınmış, tüm sayımlar Şekil 3.7’de görülen 2 nolu seviyeden alınmıştır. Deneylerde 100 ml lik su fiskiye yöntemiyle toprak kolona ilave edilmiş ve suyun kolonun derinliklerine doğru süzülmesi için 30 dakika beklendikten sonra 2 nolu seviyeden yine 30’ar sn’lik 3 ölçüm yapılmıştır. Sonra tekrar aynı miktarda su toprak kolona eklenmiş ve 30 dakikalık bekleme süresinden sonra ölçüm yapılmıştır. Bu işlem hem toprak kolon %100 doyuncaya kadar hem de su süzülünceye kadar aynı şekilde tekrarlanmıştır. Böylece toprakların suyu süzme karakteristiği ve zamana bağlı ıslanma özelliği incelenmiştir.

Çizelge 4.8’de toprakların doyma aşamasında zamana bağlı lineer zayıflatma katsayıları verilmiştir. Burada, μ_0 kuru toprağın lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir. μ_{d1} , μ_{d2} ,..... μ_{d8} değerleri ise kolon sulandıktan 30 dakika sonra yapılan ölçümler sonucu elde edilen lineer zayıflatma katsayılarını vermektedir

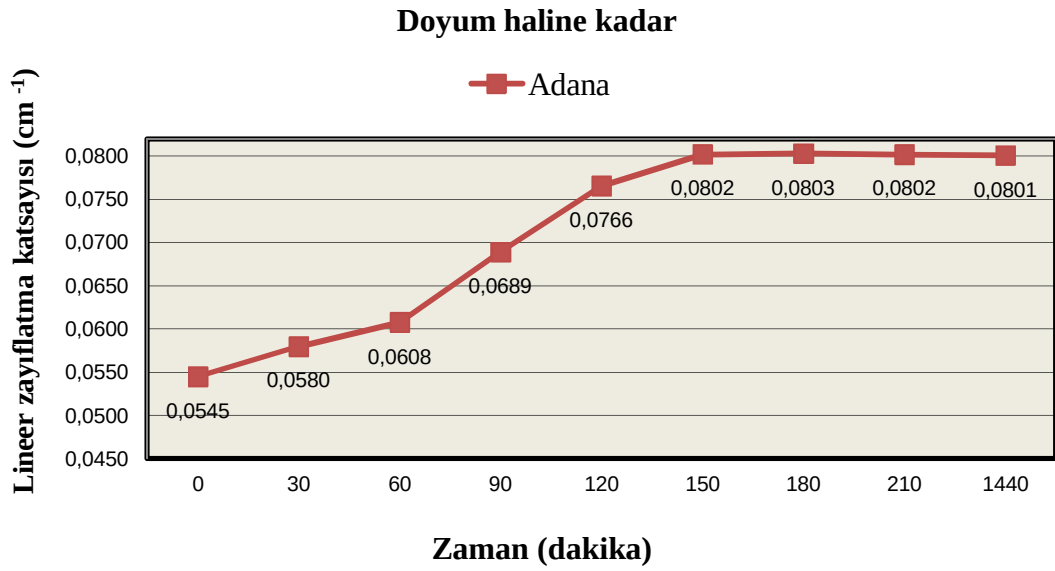
Çizelge 4.8 : Doyma aşaması boyunca lineer zayıflatma katsayısı zamana bağlı değişimi.

DOYMA HALİNE KADAR	Zaman (dakika)	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm^{-1})	SAMSUN	ADANA	GAZİANTEP
	0	μ_0 (kuru toprak)	0,0464	0,0545	0,0491
	30	μ_{d1}	0,0481	0,0580	0,0614
	60	μ_{d2}	0,0611	0,0608	0,0672
	90	μ_{d3}	0,0683	0,0689	0,0772
	120	μ_{d4}	0,0726	0,0766	0,0782
	150	μ_{d5}	0,0771	0,0802	0,0799
	180	μ_{d6}	0,0804	0,0803	0,0799
	210	μ_{d7}	0,0803	0,0802	0,0799
	1440	μ_{d8} (24 saat sonra)	0,0804	0,0801	0,0799

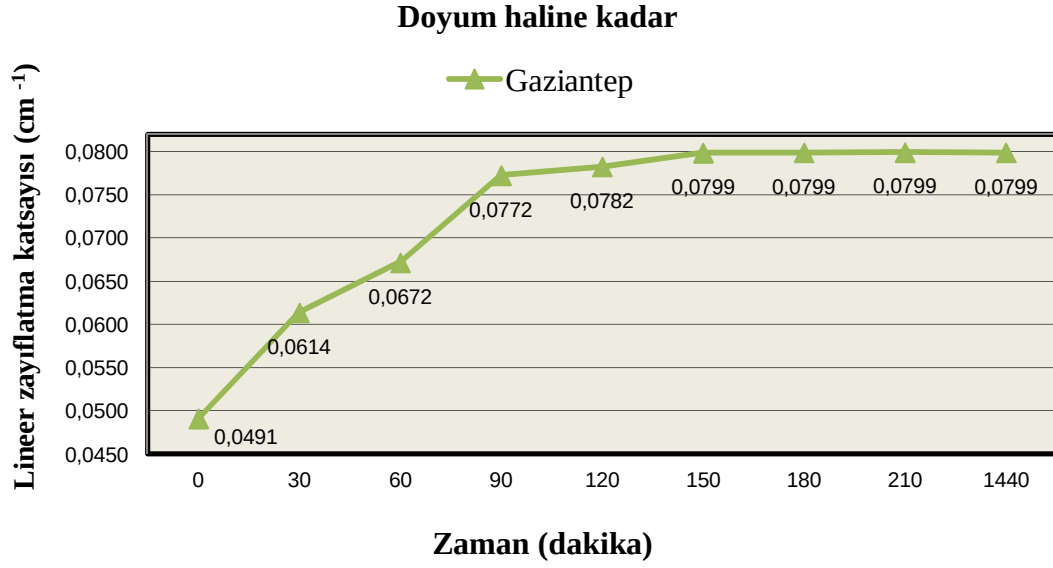
Çizelge 4.8 kullanılarak Samsun, Adana ve Gaziantep topraklarına ait sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, lineer zayıflatma katsayısının doyma haline kadar arttığı, kolon doyuma ulaştığı andan itibaren ise neredeyse değişmediği görülmektedir.



Şekil 4.3 : Samsun için zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı değişimi.



Şekil 4.4 : Adana için zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı değişimi.



Şekil 4.5 : Gaziantep için zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı değişimi.

Toprak kolonda doyma işlemi tamamlandıktan ve 24 saat bekleme süresi sonunda sayımlar alındıktan sonra, 30 dakikalık süreler halinde vanalar açık tutulup 2 nolu hizadan 3 kere sayım alınmaya başlanmıştır. Suyun tahliyesi aşamasında $t=0$ anı toprak kolonunun %100 doymuş haline karşılık gelmektedir. Doyma aşamasında olduğu gibi tahliye aşamasında da gama ışını zayıflatma bilgisi kullanılarak toprakların karakteristikleri belirlenmiştir.

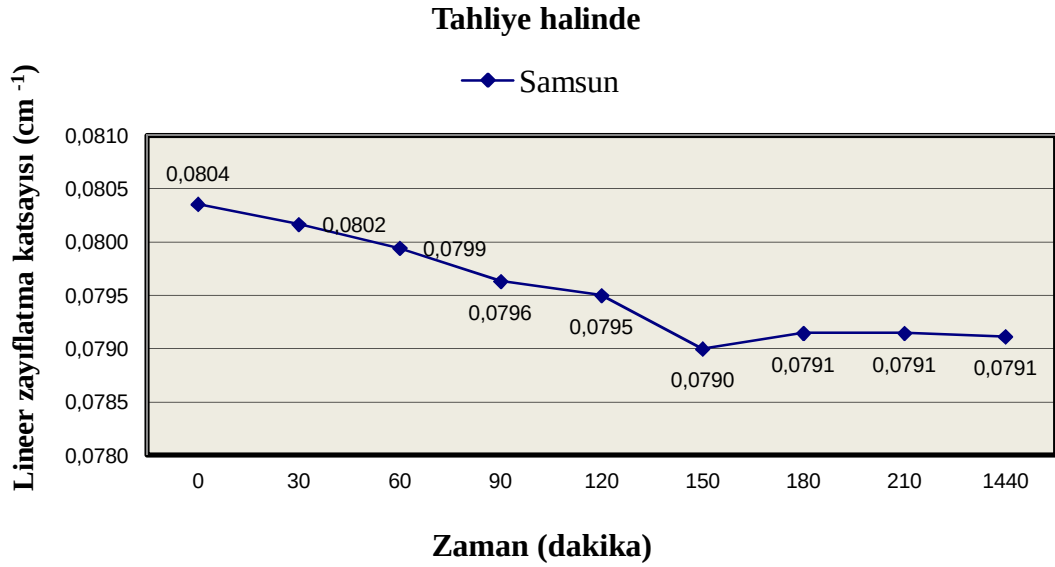
Tahliye aşaması boyunca yapılan ölçümlerlerin sonucunda Çizelge 4.9’ da toprakların lineer zayıflatma katsayılarının zamana bağlı değişimi hesaplanmıştır. Burada $\mu_{d\%100}$ vana açılmadan önce tamamen doymuş kolonun lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir. $\mu_{t1}, \mu_{t2}, \dots, \mu_{t8}$ değerleri ise vana açılıp 30 dakika beklendikten sonra yapılan ölçümler sonucu elde edilen lineer zayıflatma katsayılarını vermektedir.

Çizelge 4.9 kullanılarak Samsun, Adana ve Gaziantep topraklarına ait sonuçlar sırasıyla Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8’ de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, belli bir süreye kadar lineer zayıflatma katsayısının azaldığı, ancak bir süre sonra hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir, yani daha fazla süre geçse bile su tahliyesi olmamaktadır.

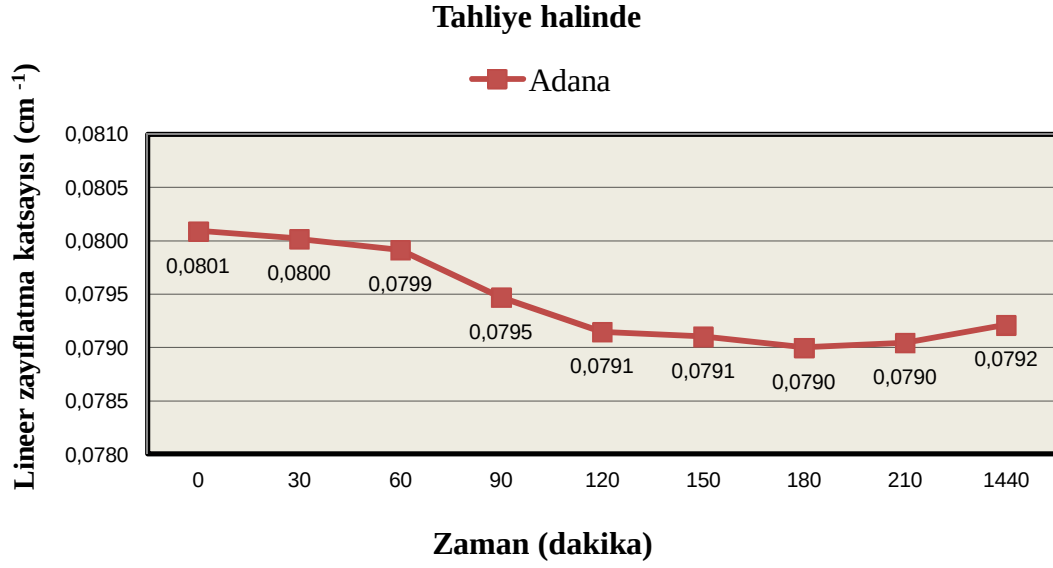
Çizelge 4.9 : Tahliye aşaması boyunca zamana bağlı lineer zayıflatma katsayısı.

	Zaman (dakika)	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm^{-1})	SAMSUN	ADANA	GAZİANTEP
TAHLİYE HALİNDE	0	$\mu_{d\%100}$ (vana açılmadan, doymuş kolona ait)	0,0804	0,0801	0,0799
	30	μ_{t1}	0,0802	0,0800	0,0793
	60	μ_{t2}	0,0799	0,0799	0,0789
	90	μ_{t3}	0,0796	0,0795	0,0788
	120	μ_{t4}	0,0795	0,0791	0,0785
	150	μ_{t5}	0,0790	0,0791	0,0789
	180	μ_{t6}	0,0791	0,0790	0,0786
	210	μ_{t7}	0,0791	0,0790	0,0787
	1440	μ_{t8} (24 saat sonra)	0,0791	0,0792	0,0786

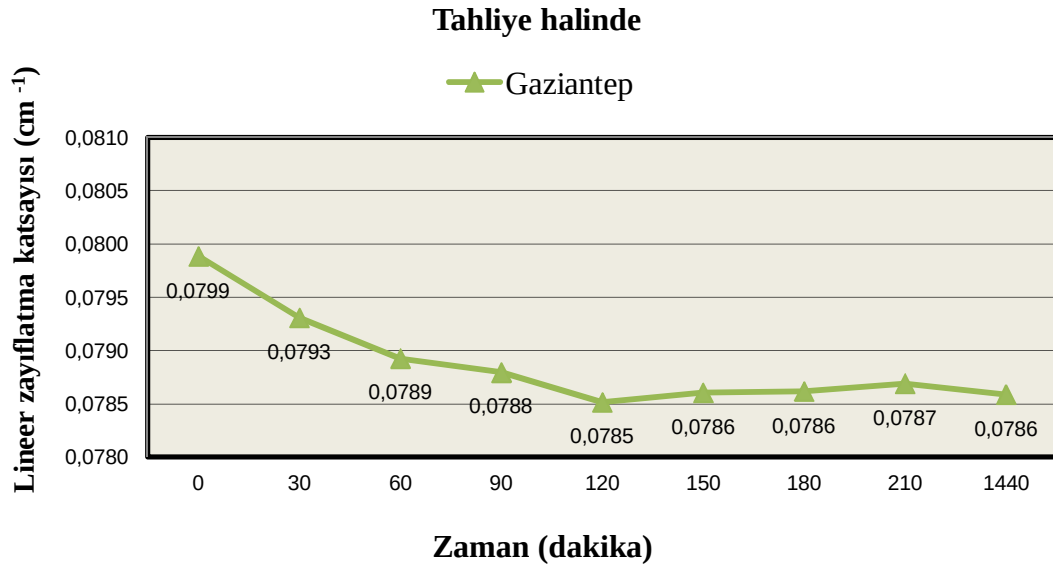
İncelenen üç toprağın da doyma aşamasında zayıflatma katsayılarının zamana bağlı değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 4.9’ da toplu halde gösterilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde, en kısa sürede (yaklaşık 90 dak.) Gaziantep toprağının, en uzun sürede (yaklaşık 180 dak.) Samsun toprağının doyma aşamasına ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.6 : Samsun için lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi.

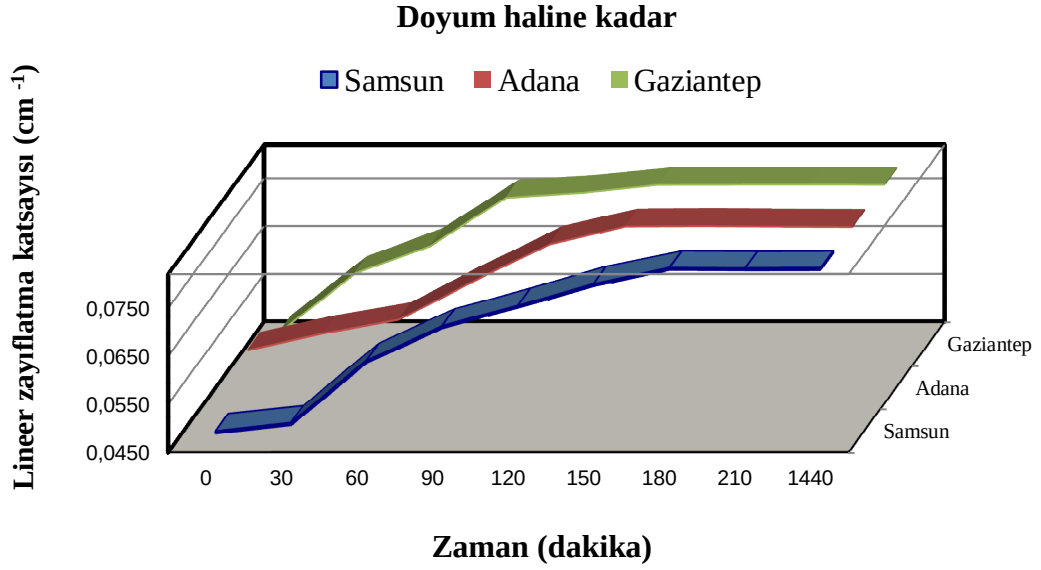


Şekil 4.7 : Adana için lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi.

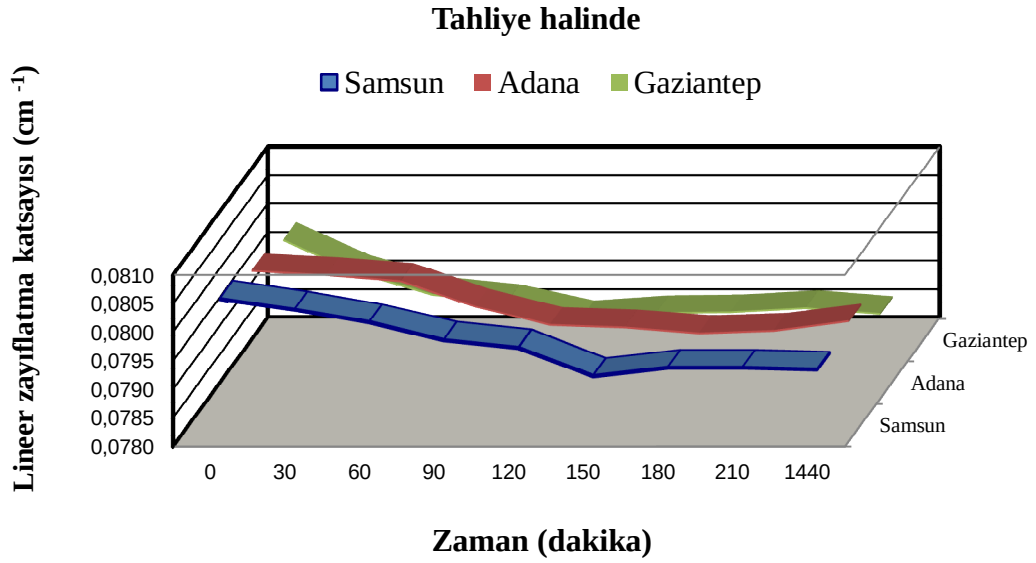


Şekil 4.8 : Gaziantep için lineer zayıflatma katsayısının zamana bağlı değişimi.

Şekil 4.10' da suyun tahliyesi boyunca üç toprağın lineer zayıflatma katsayılarının zamana bağlı değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere tahliye boyunca Adana toprağının zayıflatma katsayısındaki değişim Gaziantep ve Samsun topraklarına göre daha az olmaktadır, bu da Adana toprağının en yüksek su tutma kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Cebe ve Baytaş, 2014).



Şekil 4.9 : Toprakların lineer zayıflatma katsayılarının doyma haline kadarki değişimlerinin toplu gösterimi.



Şekil 4.10 : Toprakların lineer zayıflatma katsayılarının tahliye işlemi boyunca değişimlerinin toplu gösterimi.

Doyma aşamasında sulamanın yapıldığı her zaman adımından sonraki ölçümlerle elde edilen lineer zayıflatma katsayılarının, kuru toprağınkine göre bağıl değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Burada $D_{\mu t}$ doyma aşamasında ıslatmaya bağıl olarak lineer zayıflatma katsayılarındaki bağıl değişimi vermekte ve aynı zamanda toprağın ıslanma ya da üstten verilen suyu kolonun derinliklerine iletme özelliğini de göstermektedir.

$$D_{\mu t} = \frac{\mu_0 - \mu_{di}}{\mu_0} \times 100 \quad (i=1,8) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.8 kullanılarak hesaplanan doyma işlemi boyunca lineer zayıflatma katsayılarının bağıl değişim miktarları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Doyma işlemi boyunca lineer zayıflatma katsayılarının bağıl değişimi.

Süre (dakika)	Bağıl değişim, D_{μ} (%)		
	Samsun	Adana	Gaziantep
0	0,00	0,00	0,00
30	3,66	6,42	25,05
60	31,68	11,55	36,86
90	47,19	26,42	57,23
120	56,46	40,55	59,26
150	66,16	47,15	62,72
180	73,27	47,33	62,72
210	73,06	47,15	62,72
1440	73,27	46,97	62,72

Çizelge 4.10’ dan görüleceği üzere, ilk 30 dakikanın sonunda en yüksek bağıl değişim Gaziantep toprağındadır, lineer zayıflatma katsayısında kuru toprağınkine göre %25 lik bir artışa yol açacak kadar ıslanma söz konusudur. Ölçüm yapılan noktanın toprak yüksekliğinin orta bölgesinde yer aldığı düşünülürse, ilk 30 dakikada suyu en hızlı alt katmanlarına geçiren Gaziantep toprağıdır. Tarımsal açıdan bu iyi bir özelliktir, zira toprak yüzeyinde tuzlanma olmaması için, toprağın üst yüzeyindeki suyun hızla alt katmanlara geçmesi istenir.

Öte yandan 210 dakikanın sonunda Samsun toprağının zayıflatma katsayısındaki bağıl değişim en büyük, Adana toprağınkine ise en düşük değerdedir. Çizelge 4.3’ den görüleceği gibi Samsun toprağı en yüksek, Adana toprağı en düşük gözenekliliğe sahiptir. Bu nedenle gözenekliliğin büyük olduğu Samsun toprağında ölçüm yapılan kesitte daha çok su toplanmıştır.

Doymuş bir kolondan suyun tahliyesinde de, %100 doymuş toprağın lineer zayıflatma katsayısına göre tahliye aşamalarındaki zayıflatma katsayılarının bağıl değişimi aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$T_{\mu t} = \frac{\mu_{\%100} - \mu_{ti}}{\mu_{\%100}} \times 100 \quad i=1,8 \quad (4.2)$$

Burada $T_{\mu t}$ doymuş toprak ile tahliye aşamalarındaki lineer zayıflatma katsayıları arasındaki bağıl değişimi vermekle birlikte, toprakların suyu bırakma özelliklerini de göstermektedir. Çizelge 4.9 kullanılarak bulunan bağıl değişim değerleri Çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : Tahliye süresince lineer zayıflatma katsayılarının bağıl değişimi.

Süre (dakika)	Bağıl değişim, $T_{\mu t}$ (%)		
	Samsun	Adana	Gaziantep
0	0,00	0,00	0,00
30	0,24	0,12	0,75
60	0,62	0,24	1,25
90	0,99	0,74	1,37
120	1,11	1,24	1,75
150	1,74	1,24	1,25
180	1,61	1,37	1,62
210	1,61	1,37	1,5
1440	1,61	1,12	1,62

Çizelge 4.11’ den görüleceği gibi, tahliye aşamalarındaki lineer zayıflatma katsayılarının doymuş toprağınkine göre bağıl değişimi üç toprak için de %2’den azdır, sonuç olarak doymuş toprak uzun süre beklense bile içindeki suyu büyük oranda tahliye etmemektedir. Bunda suya tamamen doymuş toprağın çamurlaşması nedeni ile gözeneklerinin büyük oranda kapanması ve suyun tahliyesinin zorlaşması rol oynamaktadır. Öte yandan su tutma kapasitesi en yüksek olan Adana toprağında doğal olarak zayıflatma katsayılarındaki bağıl değişim en azdır.

Toprakların doyma ve süzülme özelliklerinin kimyasal yapıları ile ilişkisi, Çizelge 4.12’de toprakların içerdiği temel oksitlerin yüzdesel miktarı, doyma ve tahliye işlemlerinde 24 saat sonraki lineer zayıflatma katsayısının bağıl değişimini veren $D_{\mu t}$ ve $T_{\mu t}$ faktörleri ile karşılaştırılarak gösterilmiştir. Bundan önceki bölümlerde de belirtildiği gibi zamana bağlı doyma ve tahliye aşamaları su tutma kapasitesi en yüksek, orta derecede ve en düşük olan 3 toprak için incelenmişti. Çizelge 4.12’ye doyma işlemi açısından bakıldığında, lineer zayıflatma katsayısının bağıl değişiminin en büyük olduğu Samsun toprağında CaO en düşük diğer oksitler en yüksek oranda bulunmaktadır. Tahliye açısından bakarsak, su tutma kapasitesi en yüksek olan ve bu nedenle tahliye sonucu lineer zayıflatma katsayısındaki bağıl değişimin en az olduğu Adana toprağında CaO en yüksek, diğer oksitler en düşük yüzde ile bulunmaktadır.

Çizelge 4.12 : Kimyasal yapı-lineer zayıflatma katsayılarının bağıl değişimi ilişkisi.

Toprak	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	R_{μ}	$D_{\mu t}$ (24saat)	$T_{\mu t}$ (24saat)
Adana	47,30	12,30	6,34	13,90	0,69	46,97	1,12
Gaziantep	54,20	20,20	10,10	5,10	0,62	62,72	1,62
Samsun	59,00	20,60	10,60	3,02	0,59	73,27	1,61

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Gözenekli ortamların bazı temel özelliklerinin deneysel olarak saptanması, ortamın akış özelliklerinin tanımlanması için önemlidir. Gama ışını geçirgenlik tekniği gözenekli ortam özelliklerinin doğru ve yerel olarak belirlenmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında da gözenekli ortam olarak toprağın özellikleri, ^{60}Co gama kaynağı, NaI(Tl) sintilasyon algılayıcısı ve dar demet geometrili bir gama geçirgenlik sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Tüm deneylerde, toprakların doldurulduğu kolonlarda dört farklı seviyeden ölçümler yapılmıştır.

Farklı bölgelerden toplanan yedi toprak örneğinin öncelikle lineer zayıflatma katsayıları ve buna bağlı olarak kütleli zayıflatma katsayıları belirlenmiştir. Bu aşamada kuru toprak ile çalışılmıştır. Toprakların katı hacminin kütleli zayıflatma katsayıları $0,0466\text{--}0,0575\text{ cm}^2/\text{g}$ arasında değişmektedir, literatürde de yer aldığı gibi ^{60}Co orta enerji bölgesinde olduğu için zayıflatma katsayılarının değerlerinde çok büyük farklar yoktur. Orta enerji bölgesinde kimyasal yapıya bağlı büyük değişimler de gözlenmemektedir, tez çalışmasında kullanılan topraklar temel oksit bileşenleri farklı yüzdelerde içermektedir, ancak kütleli zayıflatma katsayısında kimyasal yapıya bağlı bir değişimden söz etmek mümkün değildir. Ayrıca deneysel olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile teorik olarak XCOM bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları birbirleri ile karşılaştırıldığında, sadece gözenekliliğin en küçük olduğu toprakta yüzde 10' un üzerinde bir fark görülmüştür.

Toprak numunelerinin gözenekliliğinin bulunması için toprağın suya doyurularak gama zayıflatma bilgilerinin bulunması gerekmektedir. Bu amaçla toprak numuneleri kolonun üst kısmına her defasında 100ml lik su fıskiye sistemi ile ilave edilerek doyma işlemi gerçekleştirilmiştir. Doymuş kolondan alınan sayımlar ve kuru toprak sayımları kullanılarak toprakların gözeneklilik değerleri bulunmuştur. Toprakların gözeneklilik değerleri $0,324\text{--}0,390$ arasında değişmektedir. Kuru toprak lineer

zayıflatma katsayıları gözeneklilik ile ters orantılıdır, gözeneklilik arttıkça lineer zayıflatma katsayısı azalmaktadır. Zira gözeneklilik fazla ise yani malzeme içerisinde boşluk fazla ise radyasyonun malzeme ile etkileşme olasılığı azalmaktadır. Doğal olarak suya doymuş toprağın lineer zayıflatma katsayısı daha yüksektir.

Toprakların su tutma kapasitelerini belirlemek amacı ile doymuş kolonun alt kısmındaki vana açılarak su süzölmüş ve ölçömlerler gerçekleştirilmiştir. Sonuqlar toprak ne kadar süzölürse süzölsün suyu tamamen bırakmadığını göstermiştir. Bu durumda süzölmüş toprağın lineer zayıflatma katsayısı, doymuş toprağinkinden küçük ama kuru toprağinkinden de büyüktür. Suyu tahliye edilmiş toprağın ve kuru toprağın lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak, su tutma kapasiteleri belirlenmiştir. Toprakların su tutma kapasiteleri 0,586-0,687 arasında değişmektedir. Sonuqlar gözeneklilik azaldıkça su tutma kapasitesinin arttığını göstermektedir. Toprakta suya doyma işleminden sonra çamurlaşma meydana gelmektedir. Gözenekliliğı az olan toprak doyma işleminin ardından süzöldüğünde geride sıkı bir yapı oluşmaktadır, oysa gözeneklilik büyükse daha gevşek bir yapı ortaya çıkmakta ve böylece süzölme daha fazla olmaktadır.

Gözeneklilik ve su tutma kapasitesinin toprakların kimyasal yapısı ile değişimi incelenmiş ve SiO₂ yüzdesi aynı olan ve diğler oksitlerin yüzdeleri açısından birbirine çok yakın olan iki toprağın gözenekliliğı ve su tutma kapasitesi çok yakın değler çıkmıştır. Bunun dışında, gözeneklilik ve su tutma kapasitesi ile kimyasal yapı arasında belli bir kurala bağlanacak bir ilişki görölmemiştir.

Deneylerin son aşamasında, su tutma kapasitesi, en yüksek (Adana), orta (Gaziantep) ve en düşük (Samsun) değlerde olan üç toprak seçilerek doyma ve süzölme aşamaları zamana bağılı olarak incelenmiştir. Böylece toprakların zamana bağılı ıslanma özelliğı ve suyu süzme karakteristiğı incelenmiştir. Sonuqlar, ilk yarım saatte ıslanmanın en fazla Gaziantep toprağında, 210 dakikanın sonunda ise gözenekliliğı en büyük olan Samsun toprağında olduğunu göstermiştir. Gaziantep toprağının geçirgenliğinin diğler topraklara göre daha yüksek olduğu düşünölmektedir. Samsun toprağı gözenekliliğı büyük olduğu için incelenen kesitte daha fazla su içermektedir, buna karşılık aynı nedenle daha uzun sürede (yaklaşık 180 dakika) doyma işlemi gerçekleşmektedir. Samsun toprağı CaO yüzdesi en düşük topraktır. Suyun tahliye işlemi zamana bağılı incelendiğinde tüm topraklar için lineer zayıflatma katsayılarının doymuş toprağinkine göre bağılı değişimi yaklaşık %2 kadardır. Tahliye boyunca su

tutma kapasitesi ve CaO yüzdesi en yüksek olan Adana toprağının zayıflatma katsayısındaki değişim Gaziantep ve Samsun topraklarına göre daha az olmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada toprakların gözeneklilik, su tutma kapasitesi, ıslanma ve suyu süzme karakteristikleri lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak saptanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Appoloni, C.P., Pottker, W.E.** (2004). Non-destructive porosity profile measurement of amorphous materials by gamma-ray transmission, *Applied Radiation and Isotopes* 61, 1133 –1138.
- Baytaş, A.F., Akbal, S.,** (2002). Determination of soil parameters by gamma-ray transmission, *Radiation Measurements* 35, 17–21.
- Cebe, M.C., Baytaş A.F.,** (2014). Evaluation of soil parameters by gamma transmission method, *APMAS 4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, 24 -27 May 2014
- Collins, E., Çeviri: Saydam T.,** (1973). Akışkanların gözenekli ortamlardaki akışı, Çağlayan Basımevi.
- Demir, D., Ün, A., Özgül, M., Şahin, Y.,** (2008). Determination of photon attenuation coefficient, porosity and field capacity of soil by gamma-ray transmission for 60, 356 and 662 keV gamma rays, *Applied Radiation and Isotopes* 66, 1834 – 1837.
- Dullien, F.A.L.,** (1992). Porous media fluid transport and pore structure, Academic Pres, San Dieogo.
- El-Kateb, A.H., Abdul-hamid, A.S.,** (1991). Photon attenuation coefficient study of some materials containing hydrogen, carbon nad oxygen, *Applied Radiation & Isotopes* 42, 303 - 307.
- Greenkorn, R.A.,** (1983). Flow Phenomena in prous media, Marcal Dekker Inc., New York.
- Hubbell, J.H.,** (1982). Photon mass attenuation and energy-absorption coefficient from 1 keV to 20 MeV, *Applied Radiation & Isotopes* 33, 1269 -1290.
- İshakoğlu A., Baytaş, A.F.,** (2002). Measurement and evaluation of saturations for water, ethanol and a light non-aqueous phase liquid in a porous medium by gamma attenuation, *Applied Radiation & Isotopes* 56(4), 601-606.
- Kaviany, M.,** (1995). Principles of heat transfer in porous media, Springer-Verlag, NewYork.
- Knoll, G.F.,** (2002). “Radiation Detection and Measurement” University of Michigan.
- Kumar B., Single B.P.,** (1979). A quick and accurate calibration of the gamma ray transmission method for the study of a soil-water system, *Applied Radiation & Isotopes* 30, 493-495.

- Lage, J.L., Merrikh, A.A. and Kulish, V.V.,** (2004). A porous medium model to investigate the red cell distribution effect on alveolar respiration, *Emerging Technologies and Techniques in Porous Media*, 25, 381-407, Eds. Ingham, D.B., Bejan, A., Mamut, E., Pop, I., Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- Medhat, M.,** (2012). Application of gamma-ray transmission method for study the properties of cultivated soil, *Annals of Nuclear Energy* 40, 53–59
- Miguel, A.F.,** (2004). Porous media and filtration, *Emerging Technologies and Techniques in Porous Media*, 419-431, Eds. Ingham, D.B., Bejan, A., Mamut, E., Pop, I., Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- Moreira, A.C., Cavalcante, F.H. de M., Rocha, M.C. da, Portezan, O., Coimbra, M.M., Quifiones, F.R.E., Appoloni, C.R.** (2001). Hydraulic conductivity of undeformed soil columns by gamma ray transmission, *Radiation Physics and Chemistry* 61, 693–695
- Nield, A. ve Bejan, A.,** (1998). *Convection in Porous Media*, 2nd ed., Springer, Berlin.
- Nimmo, J.R.,** (2004). Porosity and Pore Size Distribution, in Hillel, D., ed. *Encyclopedia of Soils in the Environment*: London, Elsevier, v. 3, p. 295-303.
- Oliveira, J.C.M., Appoloni, C.R., Coimbra, M.M., Reichardt, K., Bacchi, O.O.S., Ferraz, E., Silva, S.C., Filho, W.G.,** (1998). Soil structure evaluated by gamma-ray attenuation, *Soil & Tillage Research* 48, 127 - 133
- Pires, L.F., Bacchi, O.O.S., Reichardt, K.,** (2005). Soil water retention curve determined by gamma-ray beam attenuation, *Soil & Tillage Research* 82, 89–97
- Pires, L.F., Rosa, J.A., Pereira, A.B., Arthur, R.C.J., Bacchi, O.O.S.,** (2009). Gamma-ray attenuation method as an efficient tool to investigate soil bulk density spatial variability, *Annals of Nuclear Energy* 36, 1734–1739.
- Singh, M., Mudahar, G.S.,** (1992). Energy dependence of total photon attenuation coefficients of composite materials, *Applied Radiation & Isotopes* 43, 907 -911.
- Ün, A., Demir, D., Sahin, Y.,** (2011). Determination of density and volumetric water content of soil at multiple photon energies, *Radiation Physics and Chemistry* 80, 863–868.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Cevdet Cebe

Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli / İstanbul 15.11.1981

Adres: Köybaşı Cd. Çelebideresi Sk. Şehmen Apt. No:2/1 Sarıyer/İstanbul

E-Posta: cevdet.cebe@siemens.com

Lisans: İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- 2012 - ... Xray Products Modalite Manager, SIEMENS A.Ş.
- 2009 - 2012 AX & XP Customer Service Engineer, SIEMENS A.Ş.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR / SUNUMLAR

▪ **Evaluation Of Soil Parameters By Gamma Transmission Method**, APMAS 4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, 24 -27 April 2014, **Cebe, M.C.**, Baytaş A.F., (2014).