



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

URANYUM MADENİ ATIK SULARI İÇİN MİNERAL BAZLI KOMPOZİT
FİLTRE ARAŞTIRMASI

Berk ÖZER

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 29.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliğı Anabilim Dalı, Maden Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisans ve Lisans Üstü öğrenimin sırasında ve tez çalışmalarım boyunca vermiş olduğu maddi ve manevi destekleri ile yol göstericim olan çok değerli hocam ve Tez Danışmanım Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU'na, katkılarından dolayı çok değerli hocam Bölüm ve Maden İşletme Anabilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN'e ve öğrenim sürem boyunca vermiş oldukları maddi ve manevi desteklerden dolayı tüm İÜ Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine ve Araştırma Görevlilerine teşekkürü borç bilirim.

Hayatımın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyip, bana olan güven ve inançlarıyla beni daima ileriye taşıyan aileme ve eşime, tez çalışmalarım sırasında gösterdiği destek için sonsuz teşekkür ederim.

Ocak 2019

Berk ÖZER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1. URANYUM VE URANYUM MADENCİLİĞİ.....	7
2.1.1. Uranyum Tanımı ve Fiziksel Özellikleri.....	7
2.1.2. Uranyum İzotopları.....	7
2.1.3. Türkiye ve Dünya’da Uranyum Yatakları ve Rezervleri.....	10
2.1.4. Uranyum Madenciliği ve Uranyum Üretim Yöntemleri.....	12
2.2. MİNERAL BAZLI KOMPOZİT FİLTRE.....	19
2.2.1. Kompozit Nedir.....	19
2.2.2. Bağlayıcı Malzemeler.....	19
2.2.2.1. Portland Çimento Özellikleri ve Çeşitleri.....	19
2.2.2.2. Beyaz Çimento.....	20
2.2.3. Filtrasyonda Kullanılabilecek Mineraller.....	22
2.2.3.1. Zeolit.....	22
2.2.3.2. Diyatomit.....	24
2.2.3.3. Bentonit-Montmorillonit.....	27
2.2.3.4. Kaolin.....	30
2.2.4. Filtre.....	33
2.2.4.1. Filtrasyon Teknikleri.....	41
2.2.4.2. Filtrasyon Modelleri.....	43
2.3. ÇALIŞILAN BÖLGE VE JEOLojİSİ.....	51
2.3.1. Manisa Köprübaşı Jeolojisi.....	52
2.3.1.1. Uranyum Yataklanması.....	52

3. MALZEME VE YÖNTEM.....	55
3.1. ÇALIŞILAN YÖNTEMLER	55
3.1.1. Filtre Sağlamlığı Testi.....	56
3.1.2. Katkı Malzemelerinin Radyoaktiviteyi Tutma Oranına Etkisi	63
4. VERİLERİN YORUMLANMASI VE SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	76



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. 1: Bazı Ülkelerde Madenciliğin GSMH'daki payı	1
Şekil 1. 2: Türkiye'de madenciliğin GSYİH'ya 2001-2016 yılları arasındaki oranı	2
Şekil 1. 3: 1980-2016 Yılları Arası Türkiye Kömür İthalatı.....	3
Şekil 2. 1: Doğal Uranyum izotoplarının ışınma yoluyla yapay izotoplara dönüşmesi	9
Şekil 2. 2: Türkiye'de Uranyum ve Toryum yataklarının Türkiye haritası üzerindeki yerleri.....	10
Şekil 2. 3: Dünya üzerinde uranyum rezervine sahip olan ülkeler ve yüzdeleri.....	11
Şekil 2. 4: Eski bir uranyum açık ocak madeni olan Jackpile Mine	13
Şekil 2. 5: McArthur River yeraltı işletmesi örnek çalışması	14
Şekil 2. 6: Yerinde liç yöntemi örnek üretim şeması	16
Şekil 2. 7: Yerinde liç uygulaması için 5-nokta ve 7-nokta kuyu dizaynları	17
Şekil 2. 8: Yerinde liç uygulaması örneği.....	18
Şekil 2. 9: Türkiye'nin Zeolit Yatakları	24
Şekil 2. 10: Türkiye'nin Diatomit Yatakları	27
Şekil 2. 11: Türkiye'nin Bentonit Yatakları	30
Şekil 2. 12: Türkiye'nin Kaolin Yatakları	33
Şekil 2. 13: Filtrasyon tekniklerinde en çok kullanılan 2 huni tipi: Hirsch ve Buchner Hunileri.....	41
Şekil 2. 14: Vakumlu Buchner Hunisi	42
Şekil 2. 15: Hirsch Hunisi	42
Şekil 2. 16: Kek filtrasyon düzenek örneği.....	43
Şekil 2. 17: Kek filtrasyonunda basınç-hacimsel akış hızı ilişkisi.....	43
Şekil 2. 18: Kek dayanımı tanımları.	44
Şekil 2. 19: Bloke Filtrasyon düzenek örneği	45

Şekil 2. 20: Bloke filtrasyonda basınç-hacimsel akış hızı ilişkisi.....	45
Şekil 2. 21: Blok Filtrasyon Modelleri.....	47
Şekil 2. 22: Derin Yatak Filtrasyonu düzenek örneği.....	48
Şekil 2. 23: Derin yatak filtrasyonunda kılcal giriş/çıkışın hacimsel akış hızı ile ilişkisi.	48
Şekil 2. 24: Derinlik filtrasyonunda parçacık büyüklüğüne göre yaygın tutma şekilleri	49
Şekil 2. 25: Çapraz Akış Filtrasyonu düzenek örneği	50
Şekil 2. 26: Çapraz akış filtasyonu düzeneğinde akış hızı ve kek kalınlığının zaman ile ilişkisi	50
Şekil 2. 27: Manisa Köprübaşı'nın harita üzerindeki yeri.	52
Şekil 3. 1: Tek eksenli basma deney düzeneği.....	56
Şekil 3. 2: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki bentonitin zamana göre mukavemeti	58
Şekil 3. 3: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki diatomitin zamana göre mukavemeti	59
Şekil 3. 4: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki kaolenin zamana göre mukavemeti	60
Şekil 3. 5 Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki zeolitin zamana göre mukavemeti ...	61
Şekil 3. 6: Farklı yüzdelerde kil içeren numunelerin 3. gündeki dayanımlarının kum referansı ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 3. 7: Farklı yüzdelerde kil içeren numunelerin 7. gündeki dayanımlarının kum referansı ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 3. 8: Farklı yüzdelerde kil içeren numunelerin 28. Günden sonraki dayanımlarının kum referansı ile karşılaştırılması.....	63
Şekil 3. 9: Deneyler sırasında kullanılan deney düzeneği.....	64
Şekil 3. 10: Deneyler sırasında kullanılan filtreler.....	64
Şekil 3. 11: Radeye SPRD portatif spektrometre.....	65
Şekil 3. 12: Hesaplamalarda kullanılan RAD Pro doz hesap programı	66
Şekil 3. 13: Farklı yüzdelerde bentonit içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı.....	66
Şekil 3. 14: Farklı yüzdelerde diyatomit içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı...	67
Şekil 3. 15: Farklı yüzdelerde kaolen içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı	67

Şekil 3. 16: Farklı yüzdelerde zeolit içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı67

Şekil 3. 17: Çalışılan killerin radyoaktivite azaltma performansların karşılaştırılması68



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. 1: Türkiye'nin 2001-2016 yılları arasında enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi ve payları	2
Tablo 2. 1: Uranyum izotoplarının özellikleri	8
Tablo 2. 2: Türkiye'deki Uranyum cevheri bölgelerinin tenör ve rezervleri	10
Tablo 2. 3: Dünya üzerindeki U rezervlerine sahip başlıca ülkeler ve dünyada yüzdeleri ..	11
Tablo 2. 4: Dünya üzerindeki en büyük 10 uranyum cevheri üreticisi	12
Tablo 2. 5: Portland Çimento Çeşitleri	20
Tablo 2. 6: Beyaz ve Gri Portland Çimentosu Karşılaştırması	21
Tablo 2. 7: Diatomit Rezervinin Ticari Önem Taşınması İçin Taşınması Gereken Özellikler	25
Tablo 2. 8: Dünyada 2015 ve 2016 Yıllarında Bentonit Üretimi	29
Tablo 2. 9: Dünyada 2015 ve 2016 Yıllarında Kaolin Üretimi	32
Tablo 3. 1: Numunelerin yüzdece içerik oranı.	57

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
%	: Yüzde
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
μm	: Mikrometre (Mikron)
\$: Amerika Birleşik Devletleri Doları
pH	: Power of Hydrogen
ppm	: Milyonda bir
°C	: Santigrat Derece
MeV	: Mega Elektron Volt
MPa	: Mega Pascal
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
μ	: Mikron
Δp	: Basınç Düşüşü
V/A	: Birim Alan Başına Akış Oranı
H	: Kalınlık
η	: Viskozite
αH	: Kekin Kalınlığına Bağlı Kek Direnci
β	: Orta Filtre Direnci
K_N	: Filtre Kekinin Geçirgenliği
Bq	: Bekerel

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: Amerikan Test ve Materyal Topluluğu
GSMH	: Gayrı Safi Milli Hasıla
GSYİH	: Gayrı Safi Yurt İçi Hasıla
ISL	: Yerinde Liç

KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
MTA	: Maden Tetkik Arama
TBMM	: Türkiye Büyük Millet Meclisi
TMMOB	: Türkiye Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü



ÖZET

URANYUM ATIK SULARI İÇİN MİNERAL BAZLI KOMPOZİT FİLTRE ARAŞTIRMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berk ÖZER

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Erdal Osmanlıoğlu

Bu tez, Manisa/Köprübaşı-Kasar beölgesinde bulunan uranyum mostralalarında biriken yüzey suları baz alınarak, oluşan atık sularının madencilik yöntemlerini ve madencilik verimini etkilemeden çevreye uyumlu bir şekilde deşarj edilmesi için mineral bazlı kompozit filtre çalışması olarak öngörölmüştür.

Araştırma kapsamında, uranyum madeni atık sularının radyoaktivite miktarlarının azaltılması için en uygun yöntemin deşarjdan önce atık suyun filtreden geçirilmesi ve bu filtrenin de yine hem çevresel hem de ekonomik faktörler doğrultusunda mineral bazlı kompozit bir malzmeden elde edilmesi araştırılmıştır.

Çalışma sırasında uranyum oluşumu 1957 yılında MTA bünyesindeki bir ekip tarafından tespit edilen Manisa-Köprübaşı bölgesi incelenmiştir. Bölge hakkında raporlar incelenerek bölgenin jeolojisi araştırılmış ve uranyum madenciliğinin yapıldığı Kasar ve çevre bölgeleri hakkında bilgi toplanarak tezin de konusunu oluşturan ISL ile uranyum madenciliği yapmaya uygun zemin hakkında bilgi toplanmıştır.

Literatür araştırmasının devamında mineral bazlı kompozit filtre araştırması yapılmıştır. Kompozit filtre içerisinde bulunması öngörülen beyaz çimento, kuvars kumu ve katkı

malzemeleri araştırılmıştır. Filtre içerisinde katkı malzemesi olarak bulunacak mineraller radyoaktiviteyi düşürmedeki önemli bir özellik olan katyon değişim kapasitesi yüksek olan mineraller arasından seçilmiş ve bu seçilen mineraller araştırılarak fiziksel, kimyasal ve ekonomik yönden incelenmiştir.

Çalışmanın devamında ise filtre sisteminin teorik olarak nasıl çalıştığı incelenerek, filtre sistemleri etüt edilmiş ve mineral bazlı kompozit filtrenin nasıl oluşturulacağı ve oluşturulan filtrenin hangi kriterlere göre test edileceği bu araştırma sonunda kararlaştırılmıştır.

Laboratuvarda yapılan çalışmalar iki ana başlık altında toplanmıştır. Tek eksenli basma deneyleriyle test edilen filtrenin sağlamlığı ve filtrenin içerisindeki katkı malzemelerin radyoaktiviteyi azaltma oranını ölçen süzme deneyleri. Laboratuvar çalışmaları kapsamında literatür çalışmalarında elde edilen bilgiler sonucu Bentonit, Diatomit, Kaolen ve Zeolit olmak üzere 4 adet katkı malzemesinin kullanımına karar verilmiştir. Bu katkı malzemelerini farklı oranlarda içeren filtre örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler önce tek eksenli basma dayanımı testi kapsamında kırılarak katkı malzemesinin artışının filtrenin sağlamlığına yaptığı etki gözlemlenmiştir. Deneylerin ikinci bölümünde ise hazırlanan filtre numuneleri süzme düzeneğinde Manisa bölgesinden alınan radyoaktivitesi yüksek uranyum içeren sıvı numunelerine tabi tutularak hem farklı katkı maddelerinin radyoaktiviteyi azaltma oranları incelenerek katkı malzemeleri karşılaştırılmış, hem de katkı maddelerinin filtre içerisindeki değişen yüzdelerinin radyasyonu tutmadaki verimlilikleri ölçülmüştür.

Verilerin yorumlanması ve sonuçlar kısmında ise literatür ve laboratuvar sonuçları derlenmiştir. Derlenen sonuçlar neticesinde filtre içerisinde bulunması gereken katkı malzemeleri ve bu malzemelerin yüzdelerinin filtreye etkisi ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Ocak 2019, 92 sayfa.

Anahtar kelimeler: Mineral Bazlı Kompozit Filtre, Uranyum Madenciliği, Radyoaktivite Azaltma, Filtre Katkı Malzemeleri

SUMMARY

RESEARCH ON MINERAL BASED COMPOSITE FILTER FOR URANIUM MINE WASTEWATER

M.Sc. THESIS

Berk ÖZER

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Mining Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU

This thesis regarded as a study to a mineral based composite filter study for discharging the waste water without harming the environment after mining operations in accordance with mining methods and mining efficiency. The thesis is based on the uranium mining area in the Manisa / Köprübaşı-Kasar.

In the scope of the research, it was investigated that the most suitable method to decrease the radioactivity amounts of uranium mineral wastewater is filtration of waste water prior to discharge and that this filtrate is obtained from a mineral based composite material in the direction of both environmental and economic factors.

During the study, the formation of uranium was investigated in 1957 by Manisa-Köprübaşı region determined by a team within the MTA. The geology of the region was investigated by studying the reports about the region and the information about the Kasar and the environmental regions where the uranium mining was made was gathered and the information about the ground suitable.

The mineral-based composite filter was investigated during the literature review. The proposed white cement, quartz sand and additive materials in the composite filter were investigated. The

minerals to be found as additive materials in the filter were selected from minerals with high ion exchange capacity which is an important feature in decreasing radioactivity and these selected minerals were investigated in physical, chemical and economic aspects.

Continuation of the literature section, it was determined how the filter system worked theoretically, the filter systems were studied and how the mineral based composite filter was to be formed and the filter criteria to be tested were determined at the end of this research.

Studies carried out in the laboratory are grouped under two main headings. Filtration tests that measure the robustness of the filter tested by uniaxial compression tests and the rate of radioactivity reduction of the additives in the filter. Within the scope of laboratory studies, the information obtained in the literature studies has been decided to use the four additive materials which are; Bentonite, Diatomite, Kaolen and Zeolite. Filter samples containing these additives in different ratios were prepared. The prepared specimens were first broken in the context of the uniaxial compressive strength test and the effect of the increase of the additive material on the stability of the filter was observed. In the second part of the experiments, the prepared filter samples were subjected to liquid samples containing high radioactivity from uranium in Manisa region in filtration system and radioactivity reduction ratios of different additives were examined to compare the additives and the efficiency of irradiating the varying percentages of additives in the filter was measured.

Literature and laboratory results were collected in the commentary of the data and the results part. As a result of the compiled results, comments were made about the additive materials that should be included in the filter and the filtering effect of the percentages of these additive materials.

January 2019, 92 pages.

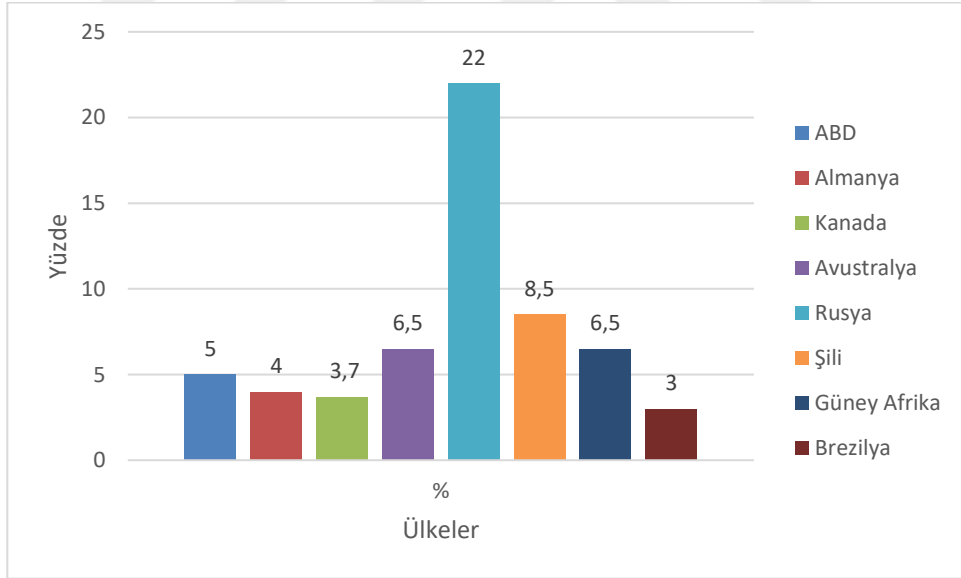
Keywords: Mineral Based Composite Filter, Uranium Mining, Filter, Radioactivity Reduction, Filter Additive Material

1. GİRİŞ

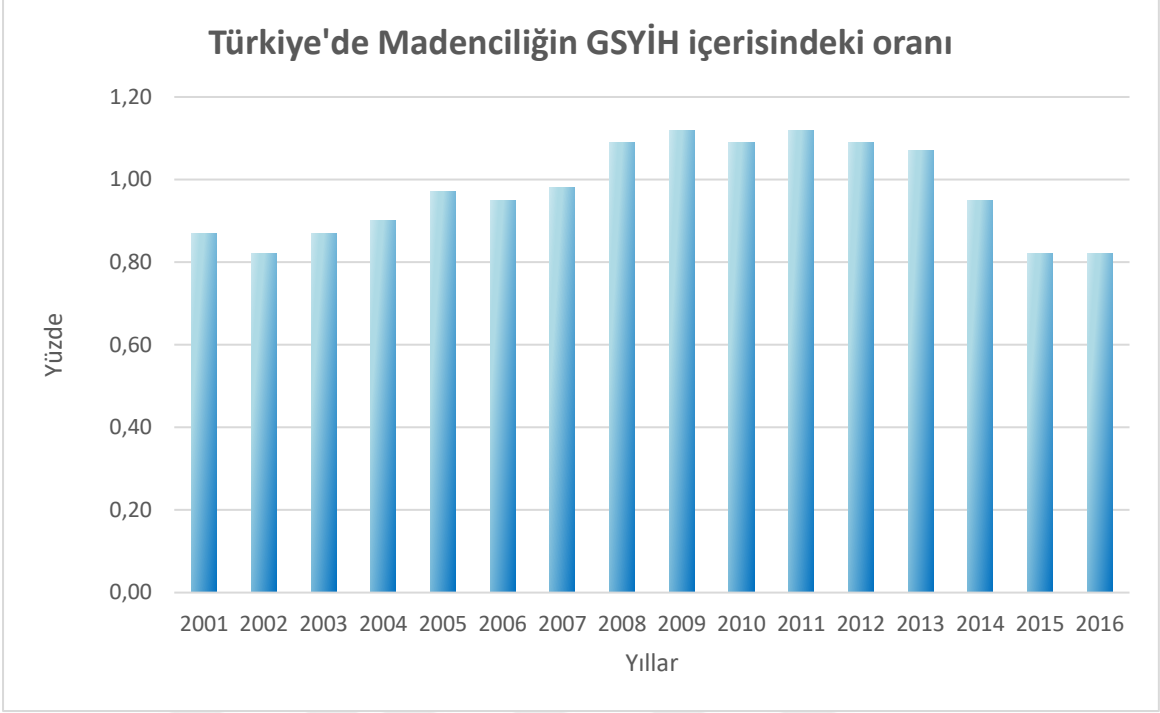
Madencilik faaliyetlerinin ülkelerin ve ülke ekonomilerinin gelişmesinde tarih boyunca büyük önemi olmuştur. Bunun öncelikli sebebi ülkelerin gelişmek için üretim artışı ve üretim artışı için enerji ve hammadde üretim zorunluluğudur. Yeraltı zenginlikleri olan ve bu zenginlikleri iyi planlanmış ve verimli bir biçimde kullanabilen ülkeler her daim kalkınmada da bir adım önde olmuşlardır.

Günümüzde de madencilik faaliyetlerinin önemini görmek için madenciliğin ülkelerin gayri safi milli hasıladaki payına bakılması, madencilik faaliyetlerinin ülke ekonomisinin gelişiminde ne kadar önemli bir yer tuttuğunu gösteren önemli bir kriterdir.

Bazı gelişmiş ülkelerde GSMH'da madenciliğin payı ve Türkiye'de madenciliğin GSYİH'da son 15 yıldaki payı şekil 1.1. ve şekil 1.2.'de verilmiştir.



Şekil 1.1: Bazı Ülkelerde Madenciliğin GSMH'daki payı [1]

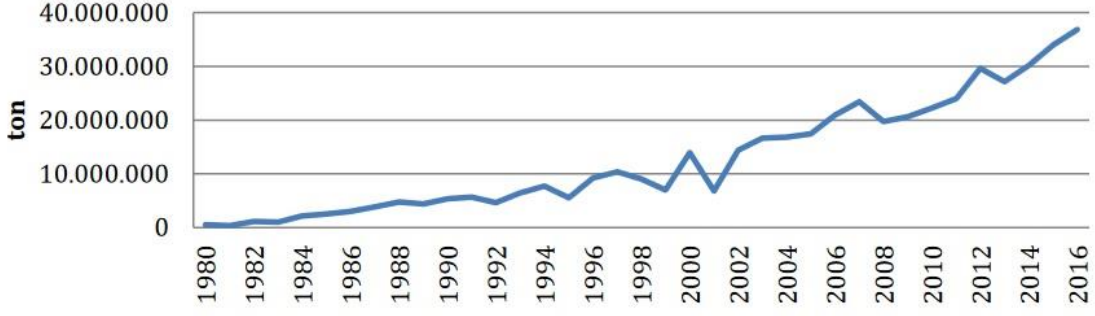


Şekil 1.2: Türkiye’de madenciliğin GSYİH’ya 2001-2016 yılları arasındaki oranı [2]

İstatistiklerden de görüleceği üzere madencilik faaliyetlerinin ülkelerin kalkınmasına ve ekonomik olarak gelişmesine payı oldukça fazladır. Bir diğer parametre ise ülkelerin enerji ihtiyaçları ve bu ihtiyaçlarını nasıl giderdikleridir. Ülkemizde de enerji ihtiyacı, enerji üretilmesi yanında enerji hammaddelerini ithal ederek ekonomimizde önemli bir gider kalemi oluşturmaktadır.

Yıllar	Kömür	Sıvı Yakıtlar	Doğal gaz	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar
2001	31,3	8,4	40,4	19,6	0,3
2002	24,8	8,3	40,6	26,0	0,3
2003	22,9	6,6	45,2	25,1	0,2
2004	22,8	5,0	41,3	30,6	0,3
2005	26,6	3,4	45,3	24,4	0,3
2006	26,4	2,4	45,8	25,1	0,3
2007	27,9	3,4	49,6	18,7	0,4
2008	29,1	3,8	49,7	16,8	0,6
2009	28,6	2,5	49,3	18,5	1,2
2010	26,1	1,0	46,5	24,5	1,9
2011	28,8	0,4	45,4	22,8	2,6
2012	28,4	0,7	43,6	24,2	3,1
2013	26,6	0,7	43,8	24,7	4,2
2014	30,2	0,9	47,9	16,1	4,9
2015	29,1	0,9	37,9	25,6	6,5
2016	33,7	0,7	32,5	24,5	8,6

Tablo 1.1: Türkiye’nin 2001-2016 yılları arasında enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi ve payları [3]



Şekil 1.3: 1980-2016 Yılları Arası Türkiye Kömür İthalatı [4]

Tablo 1.1 ve Şekil 1.3'te görüleceği üzere Türkiye enerji ihtiyacının 2/3'ünü karşılayan doğalgaz ve kömür kaynaklarından; doğalgazın tamamı ithal edilmekte ve kömür ithalatı da ihtiyaca paralel bir şekilde yıllar içerisinde artış göstermektedir. 2016 verilerine bakıldığında, önemli bir bölümü Rusya ve Kolombiya'dan (iki ülkenin toplamı %75,7) ithal edilmekte olan kömürün ülke ekonomisine maliyeti 3 Milyar \$'ın üzerindedir.

Dışa bağımlılığın azalması ve yerli üretimin desteklenmesi için ülkemiz birçok politika izlemektedir. Bunlardan enerji sorununu en hızlı ve verimli şekilde çözmesini beklediğimiz ise kurulacak nükleer santrallerdir. Halihazırda duyurulmuş Akkuyu ve Sinop'ta olmak üzere iki adet yakıt olarak uranyum kullanan nükleer santral projesi vardır.

Uranyum madenciliği, nükleer yakıt döngüsünde enerji üretmek için ilk adımdır. Nükleer yakıt döngüsünde ana adımlar; madencilik, dönüşüm, zenginleştirme, nükleer yakıt üretimi, reaktörler, kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi ve atık yönetimidir. [5]

Yakıt olarak uranyum kullanan nükleer santrallerin tercih edilme sebepleri arasında aşağıdaki maddeler gösterilebilir;

- Nükleer santraller, dış koşullardan (iklim, doğa vb.) minimum derecede etkilenerek elektrik üretirler. Üretim verimleri genellikle %90 ve üzerindedir.
- Nükleer santraller çalışma sırasında sera gazı salınımı yapmadıkları için küresel ısınmayı önlemede önemli bir alternatif olarak değerlendirilirler.
- Elektrik birim maliyetlerinde harcadıkları yakıt miktarı çok düşük olduğundan yakıt fiyatlarında yaşanabilecek dalgalanmalar elektrik üretim maliyetlerini çok düşük seviyelerde etkiler.
- Nükleer yakıtın hammaddesi olan uranyum dünya üzerinde farklı coğrafyalara

dağılmıştır. Dolayısıyla her şartta ulaşılabildiğinden temini zor değildir

- Nükleer santrallerin birim elektrik üretimi başına kurulum alanı diğer tüm santral sistemlerine göre oldukça düşük olduğundan tarım, yerleşim, şehir hayatı ve doğal hayata minimum etkisi vardır. [6]

Madencilik faaliyetleri birçok parametre tarafından kontrol edildiği için hem faaliyet süresince hem de faaliyet sonrası riskler (maddi, çevresel, sosyolojik vb.) teşkil etmektedir. Hatalı şekilde gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri hem çalışma sırasında hem de çalışma sonrasında çevresel tahribata sebebiyet verebilmektedir. Bu tahribat, en basit şekliyle faaliyet alanının doğal yapısını mekanik ve ekolojik olarak yitirmesi olarak açıklanabilir. Tez kapsamında da uranyum madenciliği sırasında ve sonrasında uranyum atık sularının ekolojiye zarar vermemesi tezin çıkış noktası olmuştur.

Bu tez çalışması, uranyum madeni atık suları için mineral bazlı kompozit filtre çalışması olarak öngörülmüştür. Tez kapsamında farklı minerallerin filtre oluşturmada ve uranyum atık suları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılacak radyoaktif maden sularının temin edildiği saha, Manisa'nın 120 km kuzeydoğusundaki Köprübaşı/Kasar uranyum sahasıdır. Bölgede uranyum cevheri 1957 yılında keşfedilmiş, sondajlar sonucu 1961 yılında tam tespit yapılmıştır. Bölge jeolojisinde uranyum yatakları orta ve yüksek dereceli metamorfik temel kayalar üstüne uyumsuz olarak oturan Neojen yağlı fluvial kayalar ile oluşmuşlardır.

Bu çalışma, radyoaktif atık sularının ortaya çıktığı tüm sektörlere, madencilik operasyonları ve çevre korunumunun birlikte yürütülmesi açısından bilimsel ve teknik altyapı desteği oluşturacaktır.

Bu çalışmanın “*Genel Kısımlar*” başlıklı ikinci bölümü; uranyum ve uranyum madenciliği, mineral bazlı kompozit filtre ve çalışılan bölgenin jeolojisi olmak üzere üç alt başlıktan oluşmaktadır.

Birinci alt başlıkta; uranyum elementi fiziksel ve kimyasal olarak tanımlanarak tüm doğal ve yapay izotoplarının açıklamaları verilmiştir. Konuya ek olarak uranyum madenciliğinin Türkiye ve dünyadaki durumu, üretim yöntemleri açıklanarak aktarılmıştır.

İkinci alt başlıkta; mineral bazlı kompozit filtreler; kompozitin ve filtrenin tanımı, filtrasyon

teorisi ve teknikleri, filtre içerisinde kullanılan zeolit, diyatomit, bentonit ve kaolen katkıları ve son olarak bağlayıcı malzeme çeşitleri açıklanarak aktarılmıştır.

Üçüncü alt başlıkta; çalışma için radyoaktif suların temin edildiği sahanın jeolojisi, uranyum yüzey sularının alındığı Manisa/Köprübaşı/Kasar bölgesi başta olmak üzere civar köy ve çevrenin jeolojik yapısı ve bölgedeki uranyum madenciliğinin tarihi verilerek aktarılmıştır.

Bu çalışmanın “*Malzeme ve Yöntem*” bölümünde teorik bilgilerin tamamlanmasıyla beraber laboratuvar testlerinde, tek eksenli basınç uygulanarak filtrenin dayanımı ve farklı yüzdelerdeki katkı malzemelerinin radyoaktiviteyi tutma oranına etkileri araştırılarak ideal filtrenin oluşturulması için parametreler elde edilmiştir.

Bu çalışmanın “*Verilerin Yorumlanması ve Sonuç*” bölümünde laboratuvar testleri sonucu elde edilen veriler karşılaştırılıp yorumlanarak, madencilik faaliyetlerinden oluşan radyoaktif atık sularının fiziksel ve kimyasal koşullara göre en uygun kompozit filtre bileşenleri belirlenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Radyoaktif bir element olan uranyum (U), 1789 yılında Martin Heinrich Klaporth tarafından keşfedilmiştir. Uranyumun radyoaktif bir element olarak sınıflandırılması 1896 yılında Dimitri Mandelejev'in çalışmaları sayesinde olmuştur. [7]

Uranyum doğada serbest olarak bulunmamakla birlikte, birçok elementle birleşerek uranyum minerallerini oluşturur. Neredeyse her tip kayada ve eser miktarda sulara bulunur. Yer altı su tablasının üstünde, satıh ve satha yakın yerlerdeki mevcut oksidasyon şartlarında +6 değerlikli uranyum içeren ikincil uranyum mineralleri kolayca eriyebilirler (sudaki pH değerinin artmasıyla) ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yer altı suları vasıtasıyla uzun mesafelere taşınırlar. Bu süreçte uygun indirgeme koşullarıyla karşılaşırsa, +4 değerlikli uranyuma indirgenerek Uranitit ve Pitchblend (uranyum oksit içeren maden cevheri) olarak çökler ve böylece uranyum yatakları oluşur. Başlıca uranyum mineralleri içerisinde uranitit, autinit, pitchblend, tobernit ve koffinitir bulunmaktadır. [7]

Madencilik sektörü açısından, Uranyum minerali, yeryüzünde ortalama 2-4 ppm arası konsantrasyonda bulunup, pek çok mineralin içerisinde de düşük konsantrasyonlar halinde bulunabilirler. Madencilikte, uranyum sahası fizibilitesi sırsında; cevher U_3O_8 tenörü, rezervi, maden işletme ile birlikte cevher kazanma teknolojileri bir bütün şeklinde değerlendirilir. Bu sebeple rezerv miktarı 10.000 ton ve tenörün %0,05 U_3O_8 ve üzerindeki değere sahip uranyum cevher yatakları işletilebilir özellikte olarak değerlendirilir. [7]

Uranyum maden yataklarının yarısından fazlası diğer pek çok cevher gibi açık veya kapalı cevher kazanma yöntemleri ile işletilebilir. Uranyum üretim yönteminin %40'a yakını ise ISL (yerinde liç) yöntemi ile elde edilmektedir. Çok az bir kısım uranyum ise sektörde yan ürün olarak kazanılmaktadır. Çıkarılan uranyum madenleri %0,01 ile %1 arası oranında U_3O_8 içerdiği takdirde işletilebilir cevher yatağı olarak değerlendirilmektedir. [7]

2.1.URANYUM VE URANYUM MADENCİLİĞİ

2.1.1. Uranyum Tanımı ve Fiziksel Özellikleri

Uranyum; atom numarası 92, ergime sıcaklığı 1.132 °C, kaynama noktası 3.818 °C, yoğunluk 19,07 gr/cm³ olan bir elementtir.

Uranyum mineralleri; kumtaşları içinde, kuvars çakıllarının oluşturduğu konglomeralarda, damar şekillerinde, karmaşık breş yapılarının içinde sokulum halinde, fosfat yataklarında, volkanik kökenli kayalarda, siyah şeyl ve linyit ile birlikte değişik bileşiklerde bulunmaktadır. [8]

Uranyumun önemli bir bölümü nükleer santrallerde enerji üretim amacıyla kullanılırken, nükleer denizaltı ve gemilerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Bunların yanı sıra uranyum:

- . Seramiklerde renk vermek amacıyla
- . Tıp alanında bazı cihazların üretiminde
- . Endüstriyel uygulamalarda bazı cihazların yapımında
- . Fotoğrafçılıkta ve bazı tepkimelerde katalizör olarak da kullanılmaktadır.

Nükleer santrallerde uranyumun bölünmesi ile açığa çıkan enerji kullanılarak buhar, buhar basıncıyla da türbinler döndürülerek elektrik enerjisi üretilmektedir. Dünyada uranyumun %90'ı enerji üretiminde kullanılmaktadır. [8]

2.1.2. Uranyum İzotopları

Doğal olarak bulunan Uranyumun neredeyse tamamı Uranyum-238'dir. Bunun yanında doğada %0,7'lik oranda Uranyum-235 ve çok daha az miktarda Uranyum-234'de doğal halde bulunmaktadır. Bunların dışında nükleer reaktörlerden Uranyum-235, 236, 233 ve 232'de yapay olarak ortaya çıkmaktadır. Tüm uranyum izotopları alfa ışını yanısıra düşük beta ve gama ışını yayınlayıcılarıdır.

İzotop	Yarılanma Ömrü (Yıl)	Doğada Bulunma (%)	Spesifik Aktivite (Ci/g)	Işıma Türü	Radyasyon Enerjisi (MeV)		
					Alfa	Beta	Gama
U-232	72	0	22	Alfa	5.3	0.017	0.0022
U-233	160,000	0	0.0098	Alfa	4.8	0.0061	0.0013
U-234	240,000	0.0055	0.0063	Alfa	4.8	0.013	0.0017
U-235	700 milyon	0.72	0.0000022	Alfa	4.4	0.049	0.16
U-236	23 milyon	0	0.000065	Alfa	4.5	0.011	0.0016
U-238	4,5 milyar	>99	0.00000034	Alfa	4.2	0.010	0.0014

Tablo 2.1: Uranyum izotoplarının özellikleri

Doğal İzotoplar

Uranyum 238, tek başına doğal bulunan Uranyum miktarının %99,3'ünü oluşturur ve 4,5 milyar yıl ile en uzun yarılanma ömrüne sahiptir. Değişik oranlarda yer kabuğunda bulunmaktadır. Nükleer reaktörlerde Uranyum-238 atom çekirdeğinin nötrona maruz kalmasıyla çok az fisyonu uğrar ve nükleer reaksiyon sırasında açığa çıkan plütonyum üzerinden elektrik üretilmesine ve reaktörlerin çalıştırılmasına yardım eder. U-238'deki bu önemli miktardaki fisyon enerji potansiyeli hala tam olarak açığa çıkmamıştır. Dördüncü jenerasyon reaktörlerin amaçlarından biri de Uranyum-238 izotopunun bu potansiyelini açığa çıkartmaktır.

Uranyum 235, izotopların içerisinde doğada bulunan fisyon yapabilen tek çekirdek olduğundan reaktörler için esas nükleer yakıt malzemesi ve nükleer silahlar için patlayıcı görevi görmektedir. Doğada az bulunan bu izotop, doğal uranyum cevherinin ancak %0,7'sini oluşturmaktadır. Bu çok stratejik materyalin 700 milyon yıllık uzun yarılanma ömrü, aslında U-238'in yarılanma ömrünün yalnızca 6.5'ta 1'dir. Dünyanın oluşumu sırasında U-235 85 kat daha fazla bulunmaktaydı. Şu anda bulunan %0,7'lik kısmın bu kadar az olması insan elinin değmesinin bir sonucudur.

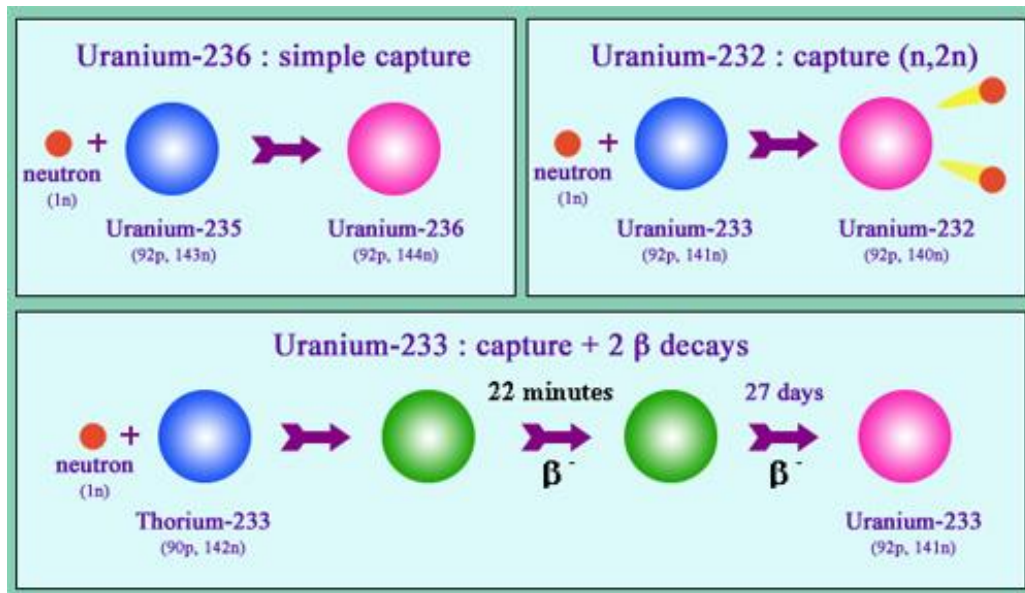
Uranyum 234, U-238 bozunum zincirinden gelen ilk uzun yarılanma süreli izotoptur. Doğal uranyum cevherinde U-238/U-234 oranı değiştirilemez olarak 1 atom U-234'e karşılık 18.800 atom U-238 olarak bulunur. Böylece iki izotop uranyumun yaydığı radyasyona aynı oranda katkı verirler.

Yapay İzotoplar

Uranyum 236, nükleer yakıt olarak kullanılan U-235'in fisyonu uğramamış parçalarının nötronla etkileşimi sonrasında oluşur. Herhangi bir yerde bu izotopun varlığına rastlanması uranyumun nükleer bir reaksiyona uğramış olduğunun göstergesidir.

Uranyum 233, fisyon ürünü olup doğal olarak bulunmaz. U-239 gibi, ki üretim şekli olarak da çok benzer, Toryum içeren reaktörlerde işlem sırasında, nötronla etkileşimi sonucunda oluşurlar. Hızlı ve yavaş nötronların ikisiyle birden etkileşime girerek fisyon haline gelebilen bu uranyum izotopu, enerji üretimi amacıyla araştırılmaktadır. Bu izotopun oluştuğu toryum ve uranyum-233'ü yakıt olarak kullanan reaktörler geleceğin dördüncü jenerasyon nükleer reaktörleri olarak görülmektedir.

Uranyum 232, toryum ve uranyum-233 ile çalışan reaktörlerin bir yan ürünüdür. Bu izotopun yapısı U-233'ün spesifik olarak bir nötronla parçalanarak iki nötronun açığa çıktığı bir reaksiyon sonucu oluşmaktadır. U-232'nin 68,9 yıllık bir yarılanma süresi sonunda 2,6 MeV gama ışınları yayan talyum 208 üretir. Bu yoğun radyasyon uranyum-233 yakıtlarının uranyum-232 ile kontamine olmasına neden olur. Bu yakıt elemanları geleneksel uranyum-234 ve plütonyum-239 yakıtlarından çok daha tehlikelidir.



Şekil 2.1: Doğal Uranyum izotoplarının ışıma yoluyla yapay izotoplara dönüşmesi [9]

2.1.3. Türkiye ve Dünya’da Uranyum Yatak ve Rezervleri

Türkiye’de uranyum yatakları harita üzerinde şekil 2.2’de ve Türkiye’deki uranyum yataklarının tenör ve rezerv miktarları tablo 2.2’de gösterilmiştir.



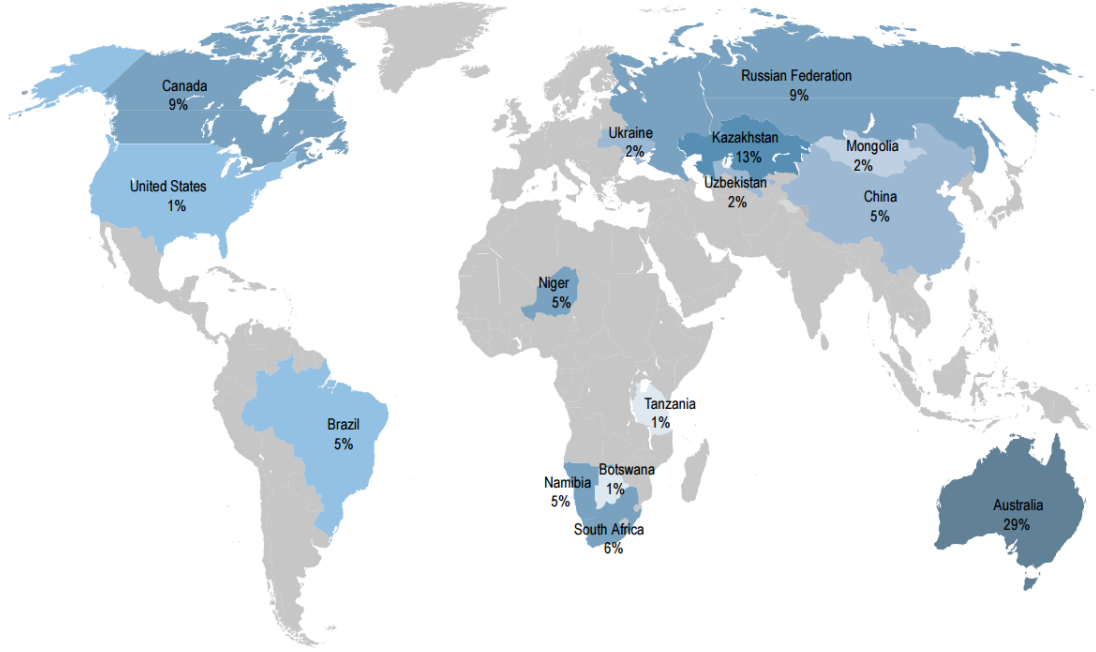
Şekil 2.2: Türkiye’de Uranyum ve Toryum yataklarının Türkiye haritası üzerindeki yerleri [10]

Bölge	Tenör (%U ₃ O ₈)	Rezerv (ton)
Manisa-Köprübaşı	0,04-0,07	3,487
Uşak-Eşme-Fakılı	0,05	490
Yozgat-Surgun	0,1	6,700
Aydın-Küçükçavdar	0,04	208
Aydın-Demirtepe	0,08	1,729
Toplam		12,614

Tablo 2.2: Türkiye’deki Uranyum cevheri bölgelerinin tenör ve rezervleri [7]

Şekil 2.2 ve Tablo 2.3’te görüldüğü üzere Türkiye’deki keşfedilen uranyum yataklarının önemli bir bölümü ege bölgesinde olmakta olup yalnızca Yozgat-Surgun bölgesinde bir yataklanma vardır. Ege bölgesindeki diğer yatakların aksine Yozgat bölgesindeki yataklanma tenörce yüksek ve rezerv olarak en büyük uranyum yataklanmamızdır.

Dünya üzerinde uranyum rezervlerine sahip başlıca ülkeler ve bu ülkelerin dünya çapında sahip oldukları uranyum yüzdeleri şekil 2.3’te ve Tablo 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3: Dünya üzerinde uranyum rezervine sahip olan ülkeler ve yüzdeleri [11]

Dünyada Bilinen U rezervleri (2015)

	U Tonu	Dünyada Yüzdesi
Avustralya	1,664,100	29%
Kazakistan	745,300	13%
Kanada	509,000	9%
Rusya	507,800	9%
Güney Afrika	322,400	6%
Nijer	291,500	5%
Brezilya	276,800	5%
Çin	272,500	5%
Namibya	267,000	5%
Moğolistan	141,500	2%
Özbekistan	130,100	2%
Ukrayna	115,800	2%
Botsvana	73,500	1%
USA	62,900	1%
Tanzanya	58,100	1%
Ürdün	47,700	1%
Diğer	232,400	4%
Dünya Toplamı	5,718,400	

Tablo 2.3: Dünya üzerindeki U rezervlerine sahip başlıca ülkeler ve dünyada yüzdeleri [11]

2.1.4. Uranyum Madenciliği ve Uranyum Üretim Yöntemleri

Genel olarak uranyum madenciliği eğer uranyum konsantrasyonu çok yüksek değilse diğer madenlerden farklı değildir. Yüksek konsantrasyonlu uranyum cevherinin üretiminde, özel madencilik tekniği olarak toz bastırma ve çok özel durumlarda uzaktan taşıma teknikleri gibi işçi sağlığını koruyan ve radyasyona maruz kalmalarını önleyen iş sağlığı güvenliği teknikleri kullanılabilir.

Uranyum araması da bazı yollardan diğer mineral aramalarına göre radyasyon sinyallerinin alınarak uranyumun bulunmasının daha kolay olması açısından daha kolaydır.

Temel olarak diğer uranyum madenciliğinde kullanılan 3 yöntem vardır. Bunlar;

- . Yeraltı Madenciliği (Underground Mining)
- . Açık Ocak (Open Pit Mining)
- . Yerinde Liç (In Situ Leaching – ISL)

Dünya üzerindeki en büyük 10 uranyum madeninin, üretim tipi ve üretim miktarlarını da gösteren tablo aşağıda verilmektedir.

Maden	Ülke	Ana Yüklenici	Üretim Tipi	Üretim Miktarı (tU)	Dünyadaki Yüzdesi
McArthur River	Kanada	Cameco	Yeraltı İşletmesi	7356	13
Tortkuduk & Moinkum	Kazakistan	Katco JV/Areva, Kazatomprom	ISL	4322	8
Olympic Dam	Avustralya	BHP Billiton	Yeraltı İşletmesi	3351	6
SOMAIR	Nijer	Areva	Açık İşletme	2331	5
Budenovskoye 2	Kazakistan	Karatu JV/Kazatomprom, Uranium One	ISL	2084	4
South Inkai	Kazakistan	Betpak Dala JV/ Uranium One, Kazatomprom	ISL	2002	4
Priagunsky	Rusya	ARMZ	Yeraltı İşletmesi	1970	4
Langer Heinrich	Namibya	Paladin	Açık İşletme	1947	4
Inkai	Kazakistan	Inkai JV/Cameco, Kazatomprom	ISL	1922	3
Central Mynkuduk	Kazakistan	JSC Ken Dala, Kazatomprom	ISL	1790	3
Top 10 total				29,075	54

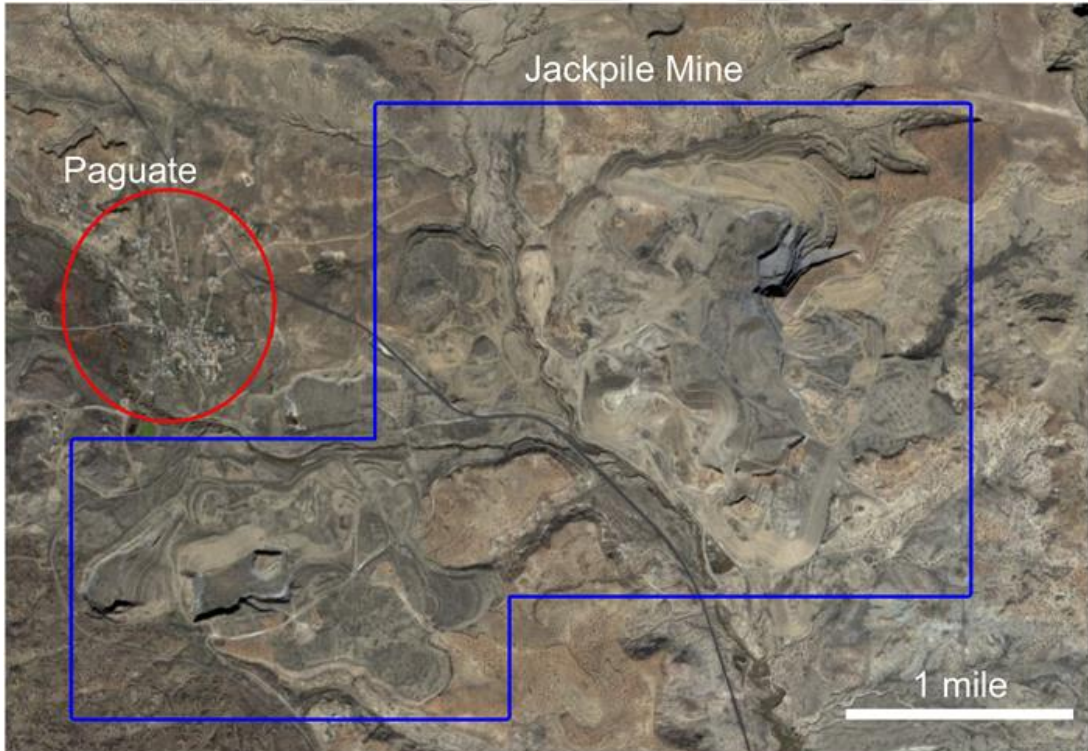
Tablo 2.4: Dünya üzerindeki en büyük 10 uranyum cevheri üreticisi [12]

Açık Ocak Madenciliği

Açık ocak madenciliği, yüzeydeki kaya ve ekonomik olmayan cevherlerin alınması ile ekonomik cevhere ulaşılarak üretim yapılan madenciliktir. Uranyum cevherlerinin tenörü genellikle %0,5 civarındadır. Bu tenör değerleri için cevherin bulunduğu derinlik yeryüzüne yakınsa (genellikle 120 m'den az ise) açık işletme yapılır.

Ekonomik olmayan üst örtü ve kayalar genellikle açık ocağın yakınlarında stoklanır. Hafriyatın kalkmasıyla beraber basamaklar yapılarak esas cevhere ulaşılır. Derin bölgelerde çoğu zaman, madenin büyüklüğüne de bağlı olarak cevhere giden birden fazla yol ile cevhere ulaşılmaya çalışılır. Çukurun dibindeki su birikimini önlemek için ise pompalar ile su atımı yapılması gereklidir

Aşağıda resmini göreceğiniz Jackpile açık ocağı bir zamanlar dünyanın en büyük açık ocak uranyum madeni olarak bilinmekteydi.



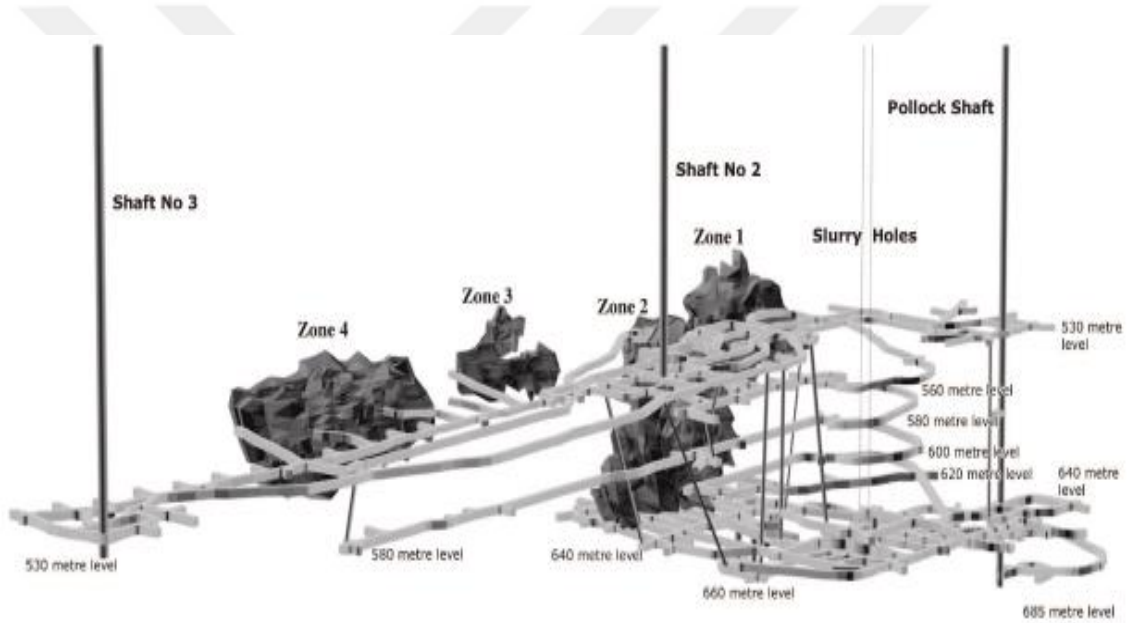
Şekil 2.4: Eski bir uranyum açık ocak madeni olan Jackpile Mine

Yeraltı Madenciliği

Yeraltı madenciliğinde daha derinde olan ancak daha yüksek tenördeki cevherleri için uygulanır. Yeraltı uranyum madenciliği diğer yeraltı maden işletmelerinden

farklı değildir. Delme ve patlatma işlemleri ile sürülen üretim galerileri ile cevhere ulaşılır, cevher içeren kayaç alınarak yeryüzüne nakliyesi yapılır. Tüvenan uranyum cevheri zenginleştirme tesisine gönderilir. Yeraltı madenciliği işletme yönteminde çıkan pasa miktarının az olması nedeniyle yeryüzündeki çevresel etkileri nispeten daha azdır. Cevher tenörünün çok yüksek olduğu ve çalışan sağlığını etkileyebileceği durumlarda ise uranyum madeninde mekanize sistemler kullanılmalıdır.

Aşağıdaki şekilde Kanada'daki McArthur River yeraltı işletmesinin örnek çalışmasını görebilirsiniz.



Şekil 2.5: McArthur River yeraltı işletmesi örnek çalışması

Yerinde Liç (Is Situ Leaching – ISL)

Geleneksel madencilik, mineral içeren cevherin çıkartılarak cevher hazırlama tesislerinde içerisindeki değerli cevherin alınması süreçlerini içerir.

Yerinde Liçte (ISL) yönteminde ise; cevherin bulunduğu formasyona yerüstünden açılan sondajlarla lixiviant çözeltisi basılarak cevherin çözünerek lixivianta geçmesi sağlanmaktadır. Lixiviant sayesinde çözelti haline geçen mineraller yerüstüne çekilerek işlem görmekte ve konsantre halde mineral elde edilmektedir. Bu işlemin uygulanması diğer madencilik yöntemleri ile kıyaslandığında çevresel açıdan etkileri oldukça sınırlı olmaktadır. Ayrıca ISL yönteminin uygulanmasında topografik yapıda herhangi bir bozulma ortaya çıkmamaktadır. Yerüstünde pasa

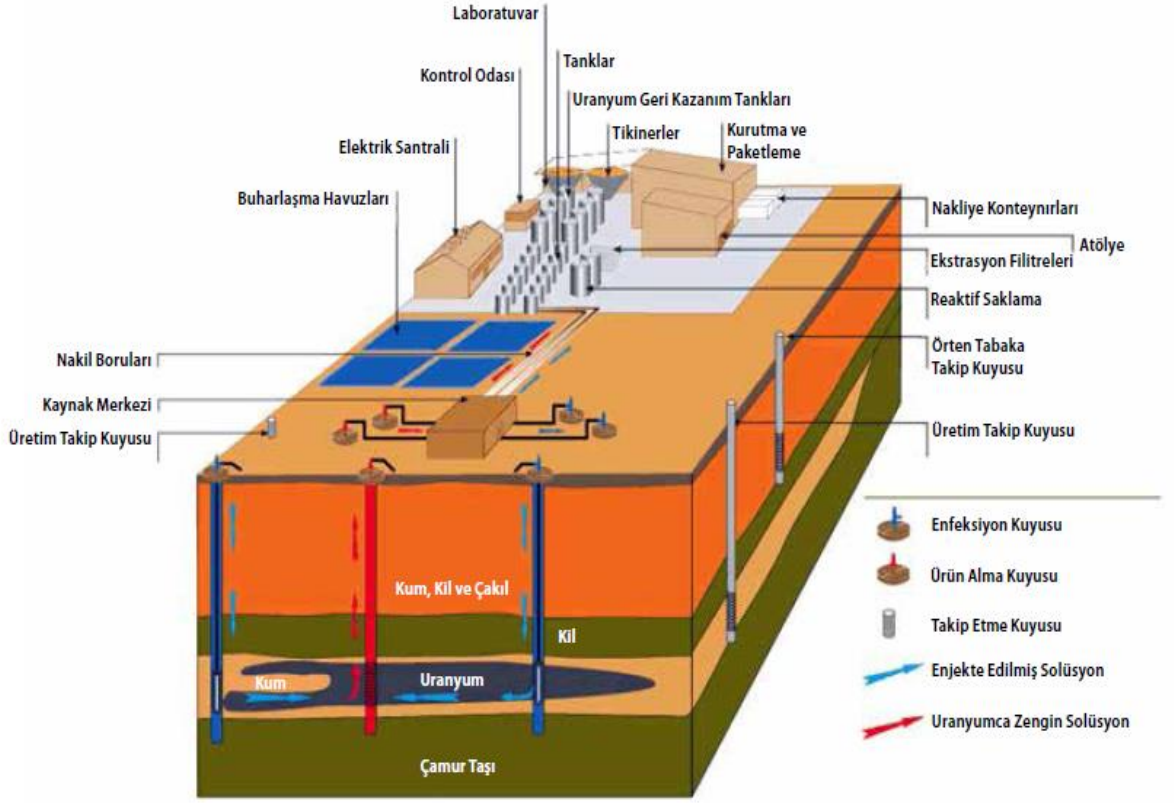
sahası gerektirecek düzeyde bir hafriyat çıkışı da olmaz. Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için cevher yatağının geçirimli ve yeraltı sularından uzak olması, cevherin bulunduğu formasyonun alt ve kenar sınırlarının ise geçirimsiz veya süreksizliklerle sınırlandırılmış olması gibi koşulların bulunması gereklidir.

Uranyum yerinde liç yönteminde kayacın içerisindeki doğal yeraltı suyu lixiviant adı verilen kompleks yapıcıyla ve gerektiğinde oksidan ile desteklenerek kullanılır. Çözelti haline gelen mineraller yeryüzüne pompalanır. Yerüstü tesislerinde çözültiden uranyum elde edildikten sonra gereken kimyasal düzenlemeler yapılarak yeniden yeraltına gönderilir. Çözültiden elde edilen uranyum neredeyse zenginleştirme tesisiyle aynı verimde elde edilmektedir. [13]

Avustralya'da yerinde liç uygulanan madenlerde (Beverley, Four Mile ve Honeymoon) oksidan olarak hidrojen peroksit ve kompleks yapıcı olarak sülfürik asit kullanılır. Kazakistan yerinde liç uygulamalarında genellikle oksidan kullanılmaz ama daha fazla asit konsantrasyonları solüsyon içerisinde kullanılır. ABD yerinde liç madenlerinde ise jips ve limonit gibi asit tüketen yan kayaçlar çok olduğu için asit yerine alkali liç yöntemi uygulanmaktadır. Karbonat minerallerinin oranı fazla olan yan kayaçların bulunması durumunda ise alkali liç yöntemi asit liçi yerine tercih edilmektedir. [13]

2016 yılı ISL ile zenginleştirme gerçekleştirilen uranyum miktarı 30,062 ton olarak gerçekleşmiştir. Çoğu Kazakistan olmak üzere, Özbekistan ve daha düşük miktarlarda takip eden ABD, Avustralya, Çin ve Rusya bu yöntemle üretim yaptılar. Bu, tüm dünyadaki üretimin %48'i ki bu miktar 2000 yılında %16' idi. Gelecek yıllarda yerinde liç yöntemi ile üretimin daha da artması beklenmektedir.

Aşağıdaki şekilde yerinde liç yönteminin üretim şemasını görebilirsiniz.



Şekil 2.6: Yerinde liç yöntemi örnek üretim şeması

Uranyum madencilik aktivitelerinin yüzey ve yeraltı sularının kalitesini etkileme ihtimali vardır. Bu işlemin etkileri temelde sahaya özel koşullara dayanır. Dolayısıyla saha düzgünce gözlemlenmeli ve bir erken uyarı sistemi kurulmalıdır. [14]

Asit maden drenajı (AMD) ve yerinde liç (ISL) işlemleri, yüksek asitli su ile oluşur. Bu işlemler yüzey suyunun ve sığ yeraltı suyunun sülfür içeren mineraller içeren kayalarla kimyasal tepkimesi sonucu oluşur. Bu işlemlerde sülfid mineralleri temel olarak demir piritin veya demir disülfidin (FeS_2) oksidasyonu ile üretilir. Mineraller havaya veya suya maruz kaldığında ise doğal bir kimyasal reaksiyon oluşur. Asit oluşturan mineral yüzeyde yalnızca yapay sebeplerden değil, doğal olarak oluşan fosillerin bir sonucu olarak da ortaya çıkar. Bu prosedürler uygun şekilde yönetilmemesi veya kontrol altında tutulmaması durumunda uranyum madenciliğinin neden olduğu en ciddi çevresel problem olma potansiyeline sahiptir. [14]

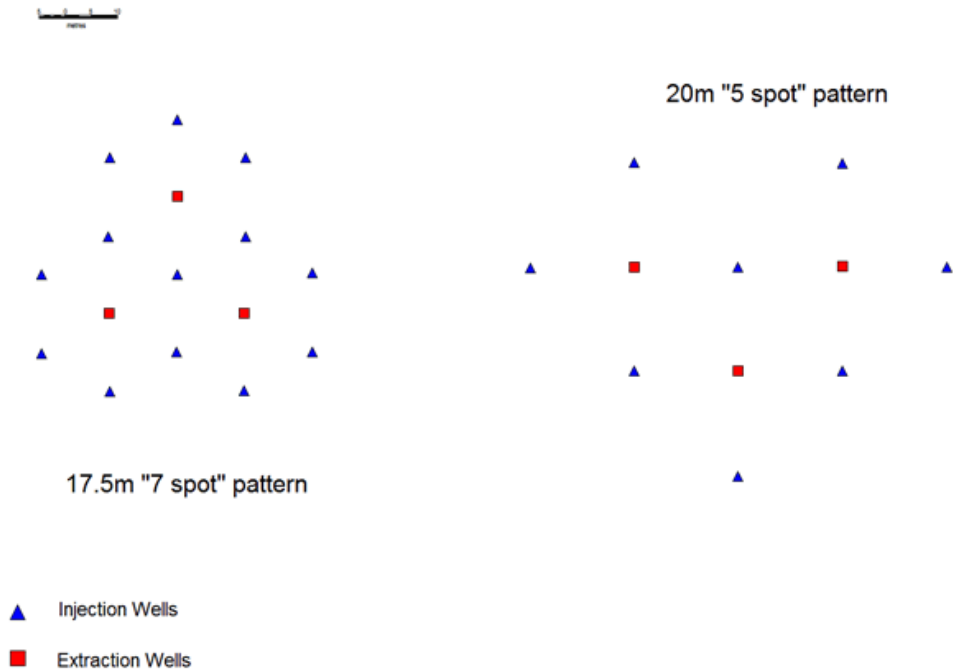
Uranyum cevher yataklarında yüzey suları ve yerel akarsular çevre için önemlidir. Asitlik; ferrik iyon (Fe^{3+}) çökmesi, oksijen tükenmesi ve ağır metallerin (demir, manganez, alüminyum, bakır, krom, çinko, kurşun, vanadyum, kobalt veya nikel

gibi) veya metaloidlerin (selenyum veya arsenik gibi) salınması yoluyla dere ve nehir ekosistemlerini etkileyebilir. Uranyum-238 bozunma serisindeki (uranyum, radyum, radon ve toryum) radyonüklidlerin yanı sıra sülfid minerallerinin oksidasyonu yoluyla çözelti haline getirilir. Bu nedenle, uranyum cevherindeki sülfid minerallerin varlığı, radonüklidlerin ve toksik ağır metallerin uranyum madenlerinden çevreye salınmasına katkıda bulunan ve önceden var olan bir durumdur. [14]

Yerinde Liç Kuyu Dizaynı

Yerinde liç kuyularının dizaynı çoğunlukla geçirimsizlik, kum kalınlığı, yan kayaç tipi, mineral tenörü ve kayaç yerleşimi gibi yerel şartlara bağlıdır. Hangi tip kuyu dizaynı kullanılırsa kullanılsın, lixiviantı cevherin bulunduğu formasyonun içerisine ulaştırabilmek için enjeksiyon kuyuları ve mineral içeren solüsyonu almak için de ekstraksiyon sistemi ve kuyularının yanısıra pompalar gereklidir. [13]

Yerinde liç uygulamalarında genellikle (Kazakistan'daki gibi geniş yataklı olan istisnai alanlar hariç) 5-nokta ve 7-nokta kuyu dizaynları kullanılır. 5-nokta kuyu dizaynı genellikle 20-30 metre genişlikteki yataklarda kullanılırken 7-nokta dizaynı genellikle 30-40 metre genişlikteki yataklarda kullanılır. Aşağıdaki şekilde 7-nokta ve 5-nokta kuyu dizaynları örneklerini görebilirsiniz. [13]



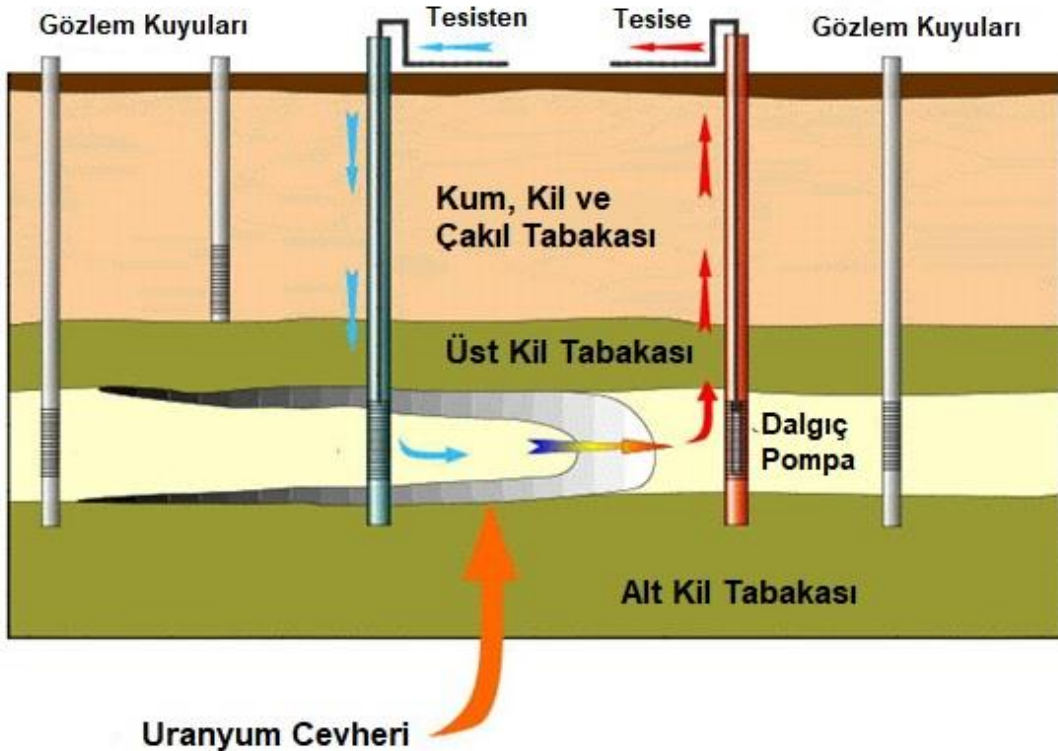
Şekil 2.7: Yerinde liç uygulaması için 5-nokta ve 7-nokta kuyu dizaynları

Uranyumun Kazanılması

Pompalar ilk önce kuyu alanında enjeksiyon öncesinde kompleks reaktifler (asit veya alkalın) ve oksidant (hidrojen peroksit veya oksijen) eklemek için ana akiferden doğal yeraltı sularını çekerler. Solüsyon, hazırlandıktan sonra uranyum minerallerini yerinde oksitlemek ve çözmek için solüsyon cevherinin bulunduğu formasyonun içerisinde geçirilir. [13]

Kullanılan sızdırma ortamının türüne bağlı olarak, uranyum, asit süzdürme koşullarında uranil sülfat veya ağırlıklı olarak $UO_2(SO_4)$ 34- veya bir karbonat süzdürme sisteminde baskın olarak $UO_2(CO_3)$ 34- gibi bir uranil karbonat gibi kompleks haline getirilecektir. Bu daha sonra, örneğin bir sodyum veya magnezyum diüranat gibi bir alkali ile çöktülebilir. [13]

Her iki durumda da üretim kuyulardan gelen boş solüsyon, uranyumun bir reçine / polimer iyon değişimi veya sıvı iyon değişimi (solvent özütleme) sistemi ile geri kazanıldığı arıtma tesisine pompalanır. Aşağıdaki şekilde ISL yöntemi ile uranyumun üretimi gösterilmektedir. [13]



Şekil 2.8: Yerinde liç uygulaması örneği [13]

2.2.MİNERAL BAZLI KOMPOZİT FİLTRE

2.2.1. Kompozit Nedir

Makroskobik olarak birbirinden ayrı iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile üretilen malzemeleri kompozit olarak tanımlanmaktadır. Tezin amacını oluşturan mineral bazlı filtre üretiminde bağlayıcı madde (çimento), su, kum ve katkı olarak da endüstriyel hammaddeler kullanıldığından kompozit bir malzeme oluşturulmaktadır.

2.2.2. Bağlayıcı Malzemeler

Filtre üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılan iyon değişim kapasitesi yüksek minerallerin bir arada kalarak dayanıklı bir yapı oluşturması için bir bağlayıcı maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan literatür araştırmaları ve pratikte kazanılan bilgilerden yola çıkarak tez kapsamında bağlayıcı madde olarak 'Portland' tipi çimento kullanılması uygun görülmüştür.

2.2.2.1. Portland Çimento, Özellikleri ve Çeşitleri

Portland çimentosu yerküredeki Limonit (CaCO_3), Alümina kaynağı (Al_2O_3), Demir kaynağı (Fe_2O_3) ve Silika kaynağı (SiO_2) gibi bazı yaygın minerallerin, uygun oranlarda birleştirilen karışımlarının, döner fırın denilen fırınlarda yaklaşık $1450\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar pişirilmesiyle elde edilen ve klinker denilen ürünün, soğuduktan sonra küçük bir miktar (%3-%6) alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilmektedir. [15]

Portland Çimento Çeşitleri

American Society for Testing and Materials'ın (ASTM) belirlemesine göre, portland tipi çimentolar Tip I - II - III - IV ve V olmak üzere 5 çeşittir. Fiziksel ve kimyasal olarak bu çimento türleri C_3A (Kalsiyum Alumina) ve tane boyutuna göre farklılık gösterir. Tipler arasındaki farklılıkları tablo 2.5'te görebilirsiniz. [15] [16]

	Klasifikasyon	Karakteristik	Uygulama Alanı
Tip 1	Genel Amaçlar	Erken donma için yüksek C ₃ S miktarı	Genel inşaat (çoğu binalar, köprüler vs...)
Tip 2	Orta sülfat direnci	Düşük C ₃ A miktarı (<%8)	Sülfat iyonları içeren toprak veya suya maruz kalan yapılarda
Tip 3	Yüksek erken dayanım	Daha düşük tane boyutu, biraz daha yüksek C ₃ S miktarı	Hızlı inşaatlarda ve soğukta beton atılacak yerlerde
Tip 4	Düşük hidrasyon ısısı (yavaş reaksiyon)	Düşük C ₃ S (<%50) ve C ₃ A	Barajlar gibi masif yapılarda
Tip 5	Yüksek sülfat direnci	Çok düşük C ₃ A içeriği (<%5)	Yüksek sülfat iyonlarına maruz kalan yapılar
Beyaz	Beyaz renk	C ₄ AF içermez, düşük MgO	Estetik amaçlı (tüm değerler Tip1 ile aynı)

Tablo 2.5: Portland Çimento Çeşitleri [16]

2.2.2.2. Beyaz Çimento

Üretim ve kullanımı yüzyıldan fazla bir süredir devam etmekte olan beyaz çimento, dekoratif ve estetik olarak kullanımı daha yaygın bir malzemedir. Gelişen teknoloji ile birlikte beyaz çimento, bu estetik ve dekoratif kullanım amaçlarıyla birlikte yük taşıma kabiliyeti bakımından da çok yüksek performans göstermektedir. Bu özelliklerle beyaz çimento; mimarilerde, dekoratif ve sanatsal ürün tasarımlarında, hazır sıva, seramik yapıştırıcısı ve derz dolgusu üretiminde, dekoratif kent mobilyaları tasarımlarında, yer ve duvar kaplama elemanları imalatında ve prefabrik sektöründe olduğu kadar, brüt veton ve hazır beton uygulamalarında da sıkça kullanılan bir yapı malzemesi haline gelmiştir. [17]

Su ile karıştırıldığında prizlenerek sertleşen ve bu sertleşme ile birlikte dayanım kazanan beyaz çimento, oldukça özel bir hidrolik bağlayıcıdır. Beyaz çimentonun temel ayırt edici özellikleri; hammadde saflık yüzdesinin çok yüksek olması, yüksek teknoloji ile üretilmesi, ince tane boyuna sahip olması, kazanımının fazla olması, dekoratif ve estetik özelliklere sahip olması ile birlikte yüzey düzgünlüğünü görünüş güzelliğiyle birlikte sağlamasıdır. [17]

Mineral Katkılar

Beyaz betonun performans özellikleri dayanım ve dayanıklılık bakımından arttırılmak istendiğinde, mineral veya puzolonik katkıları kullanılabilir. Beton performansını arttırmak için; silis dumanı, metakaolen, granüle yüksek fırın

cürufu gibi yapay puzolanlar veya pomza tozu ve perlit tozu gibi doğal beyaz puzolanlar kullanılabilir. Dolgu amaçlı olarak ise kalsit ve dolomit tozu gibi mineral katkıları kullanılabilir. [18]

Pigmentler

Beyaz çimento ve beyaz betonda farklı pigmentler kullanılarak doğadaki gibi canlı ve istenilen beyaz renk (veya herhangi farklı bir renk) elde edilebilmektedir. Bu süreçte kullanılacak pigmentlerin inorganik kökenli olması dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biridir. Beton dayanımını düşüreceğinden kullanılan pigment miktarının çimentonun ağırlıkça %6'sından fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Pigmentlerin çimento ile karışımı kuru haldeyken homojen bir şekilde yapıldıktan sonra beton üretimlerinde kullanılmalıdır. [18]

Beyaz Çimentonun Gri Çimento ile Karşılaştırılması

Beyaz çimentonun fiziksel özellikler bakımından gri çimento ile karşılaştırılması Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Özellikler	TS EN 197-1 CEM1 52.5 N		TS EN 197-1 CEM1 42.5 R	
	Beyaz Portland Çimentosu	ST. Değer	Gri Portland Çimentosu	ST. Değer
SO ₃ (%)	3,38	En çok 4,00	3,15	En çok 4,00
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,12	En çok 5,00	0,66	En çok 5,00
Kızdırma Kaybı (%)	2,61	En çok 5,00	2,05	En çok 5,00
Priz Başlangıcı (dk)	100	En az 45	150	En az 60
İncelik (cm ² /gr)	4700	-	3450	-
2 Günlük Basınç Dayanımı	38,0	En az 20,0	25,0	En az 20,0
28 Günlük Basınç Dayanımı	60,0	En az 52,5	48,0	En az 42,5

Tablo 2.6: Beyaz ve Gri Portland Çimentosu Karşılaştırması [18]

Tablo 2.6. incelendiğinde, performans kriterleri açısından, beyaz portland çimentosu, standart değerlerin üstündedir. Yüksek miktarda C₃S ve C₃A bileşikleri içermesi ve ince öğütülmesi nedeniyle dayanım kazanma hızı ve erken yaş dayanımları yüksek, hidrolik olarak çok aktiftir. Bu özelliğiyle, erken dayanım istenen, özellikle döküm üretimlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çimentoların bağlayıcılık özelliğini belirleyen kalsiyum silikat bileşikleri sayesinde (C₃S ve C₂S) beyaz portland çimentosunun nihai dayanımları da çok yüksektir. Bu dayanım değerleri ile, gri portland çimentoları dahil olmak üzere, piyasadaki mevcut bütün çimentolar arasında dayanımı en yüksek çimento niteliğine sahiptir. Ayrıca, hacim genişmesi düşük, beyazlığı da çok yüksektir (en

az %85 beyazlık). Beyaz çimentonun bu özellikleri göz önüne alınarak tez çalışmasında hazırlanan kompozit filtrelerde bağlayıcı olarak beyaz çimento kullanılmıştır. [18]

2.2.3. Filtrasyonda Kullanılabilecek Mineraller

2.2.3.1. Zeolit

Zeolitler, bileşimleri, birlikte buldukları mineral toplulukları ve bulunma tarzları bakımından benzerlikler gösterirler ve büyük bir silikat grubunu meydana getirirler. İstıldıkları zaman çoğu belirgin bir kabarma göstererek ergirler. Zeolit adı Yunanca kökenli olup kaynayan taş anlamındadır. [19]

Zeolitler bazik volkanik kayaların boşluk ve çatlaklarında bulunan iyi kristalleşmiş minerallerdir. Ayrıca daha yaygın olarak da volkanik cam ve tüften diyajenetik değişme ürünü olarak meydana gelirler ve alkalin göl sedimentlerinde bulunurlar. Zeolitler metamorfik olarak da çeşitli kayalarda yer alırlar. Bazen, düşük derece bölgesel metamorfizmasının zeolit fasiyesini işaret ederler. [19]

Feldspat ve feldspatoidler gibi zeolitlerin de iskelet yapısı SiO_4 ve AlO_4 tetrahedrallerinden meydana gelir. Ancak zeolit yapısı diğer tektosilikatlardan çok daha açık olup yapıda birbirleri ile bağlantılı olan büyük boşluk veya kanallar vardır. Bu boşluklarda Na, C ve K iyonları ile değişik miktarlarda H_2O bulunur. Bu nedenle zeolitlerin sertlik ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri SiO_2 mineralleri, feldspatlar ve feldspatoidlere göre belirgin ölçüde düşüktür. Zeolitler, iç yapılarından kaynaklanan lifli, levhalı ve eş boyutlu habituslar gösterebilirler. [19]

Yapılarının içindeki kanallarda su molekülleri bulundurmaları zeolitleri benzer yapıdaki diğer mineral gruplarından ayıran en önemli özelliklerden biridir. Yapılarında bu su moleküllerini barındırabilecekleri boşluklar vardır. Bu boşluklarda Na, Ca, K katyonları su molekülleri ile çevrilirler. Su molekülleri artı yüklü katyonlara ve silikat yapısına zayıf bağlarla bağlıdır. Genellikle kalsiyum içeren zeolitler diğerlerinden daha fazla su içeriğine sahiptirler. Şabazit (chabazite), höylendit (heulandite) ve stiblit (stiblite) yapısındaki su molekülleri potasyumdan ziyade kalsiyum katyonu ile bağlantılıdır. [20]

Birçok mineralde görülenin aksine, zeolitler ısıtıldığında, 100-350 °C’de su molekülleri yapıda değişiklik yapmadan belli sıcaklıklarda sürekli şekilde yapıdan ayrılırlar. Su yapıdan uzaklaşırken katyonlardan bazıları da atılacağı için yapı içerisindeki elektrik dengesini korumak için bazı katyonlar kanal yanlarındaki boşluklarda yer alırlar ve diğer katyonlarla yer değiştirebilirler. Su moleküllerinin ve katyonlardan bazılarının atılması kanallardaki tıkanıklıkların giderilmesini sağlar. [20]

Na^+ , K^+ ve Ca^{2+} gibi katyonlar iskelet yapısına zayıf bağlarla bağlıdır. Zeolit bir başka iyonun derişik çözeltisi ile yıkanır, yapısal kanal veya boşluklarında bulunan iyonlar kolayca çıkarlar veya bu iyon ile yer değiştirirler. [19]

Bu katyon değişim yeteneklerinden dolayı zeolitler sert sulardan yumuşak su elde etmek için kullanılırlar. Çözünmüş halde Ca^{2+} iyonları içeren “sert su”, örneğin $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bileşimli zeolit kırıntıları ile dolu bir tanktan geçirilir. Sudaki Ca^{2+} iyonları zeolitteki Na^+ iyonlarının yerini alır ve $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ zeoliti meydana gelir. Yapıdan çıkan Na iyonları ise çözeltiliye geçer. Na’lu su tortu yapmaz ve bu nitelikteki suya yumuşak su denir. Tanktaki zeolit kalsiyum ile doymuş hale geldikten sonra derişik NaCl çözeltisi (salamura) tanktan geçirilir. Ters yöne bir reaksiyon meydana gelir ve çözeltideki Na^+ iyonları zeolitin yapısındaki Ca iyonlarının yerine geçer. Böylece $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bileşimli zeolit yeniden meydana gelirken, kalsiyum da çözeltiliye geçer. [19]

Bu tarzda meydana gelen baz değişimi veya iyon değişimi ile gümüş dahil olmak üzere, çeşitli iyonlar zeolitin alkali yapısında bulunan alkali metalin katyonların yerini alabilir. Katyon değişim özelliğinden dolayı zeolitler, radyoaktif atıklardan zararlı iyonların çıkartılması veya atık su ve tarım atıklarından amonyağın tutulması gibi amaçlar için de kullanılırlar.

Petrol rafinasyonunda, katalitik kraking yönteminde (kraking, ham petrol bileşenlerinin benzin gibi daha hafif ve uçucu malzemeye dönüştürülmesini kapsayan moleküler ağırlık azaltma prosesini ifade eder) kullanılan çeşitli zeolitlere büyük talep vardır. Bu nedenle sentetik olarak büyük miktarlarda zeolit üretilmektedir. Endüstriyel amaçlarla kullanılan zeolitin yarısından fazlası sentetiktir. Doğal karşılığı olmayan özel yapılarıdaki çeşitli zeolit türleri sentetik olarak elde edilmekte ve değişik amaçlar için kullanılmaktadır. [19]

Türkiye'deki Zeolit Yatakları

Türkiye'de MTA ve TBMM verilerinden alınan verilere göre Ankara, Eskişehir, Bolu, Sakarya, Kütahya, Manisa ve İzmir'de zeolit cevherlerine rastlanmıştır. MTA'nın Türkiye'deki zeolit yataklarına ilişkin yayınladığı haritayı şekil 2.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Türkiye'nin Zeolit Yatakları [21]

2.2.3.2. Diyatomit

Diyatomit, su yosunları sınıfından diyatome adı verilen tek hücreli, mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında meydana gelen organik bir çökeldir. Diyatomit toprağı veya kizelgur olarak da bilinen diyatomitin, günümüzden yaklaşık 5-60 milyon yıl önce Miyosen sonu ve Pliyosen başlarında oluştuğu tahmin edilmektedir. Diyatomit yatakları, göl ve deniz orijinelidir. Diyatomit, amorf silis yapılıdır ($\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) ve kavkı iriliği, 2-200 μm arasında değişmektedir. Doğada 15000'e yakın çeşidi vardır. Yüksek gözeneklilik özelliğinden dolayı ağırlığının 3-4 katı kadar su emebilir. [22]

Bir diyatomit rezervinin ticari önem taşıması ve rezervin aktif diyatomit eldesinde kullanılabilmesi için belirtilen değerler tablo 2.7'deki gibi olmalıdır.

SiO ₂	En az	% 85
AlO ₃	En çok	% 5
Fe ₂ O ₃	En çok	% 1,5
CaO	En çok	% 1
MgO	En çok	% 0,5
Alkali Oksitler	En çok	% 1
Kızdırma Kaybı	En çok	% 6
Gevşek Ağırlığı	En çok	250 g/l

Tablo 2.7: Diatomit Rezervinin Ticari Önem Taşınması İçin Taşınması Gereken Özellikler [23]

Mineral tanısının kesin olarak konulabilmesi için diatomitin mikroskopik görünüşünün kontrol edilmesi gerekmektedir birlikte kayaç genellikle yumuşak, hafif, mümkün olduğunca beyaz, ele alındığında kolayca dağılabilen tiptedir. Diatomit, rezervden alındığında pH'ı 5-9 aralığındadır. Kalsinasyon işleminde ise yalnızca kalsinasyon yapılıyorsa pH aynı kalmakla birlikte flaks kalsinasyon yapılıyorsa pH 10 dolaylarına yükselir. [23]

Diatomit sertliği Mohr ölçeğine göre 1,5 civarındadır olmasına rağmen silisli kavkının sertliği 4.5-5 civarındadır. Kalsinasyon işleminden sonra bu sertlik artarak 6 civarına yükselir. [23]

Diatomitin en önemli özelliklerinden birisi gözenekli yapısı sayesinde oldukça fazla su emebilmesidir. Genellikle %80-85 aralığında bir poroziteye sahiptir. İşlenmemiş halde ağırlığının 3-4, işlendikten sonra ise ağırlığının 5-10 katı aralığında su emebilir. [23]

Isı iletkenliği son derece düşüktür. Düşük sıcaklıklarda, 100-300°C de 0,08 kcal/m².C°.h, 800°C ve yukarısında ise 0,11 kcal/m².C°.h. Bu düşük iletkenlik katsayısı diatomitin porozif yapısı ve düşük yoğunluğu ile izah edilebilir.

Diatomitin erime noktası 1000-1590°C arasındadır. Bu erime noktasındaki değişim içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak değişir. Erime noktası oldukça yüksek olan diatomit, refrakter hammadde tanımını içerisine de girer. [23]

Diyatomit ve Türkiye'deki diyatomitler ile ilgili bazı araştırmalar bulunmaktadır. Değişik kullanım alanları bulunmasına rağmen diyatomit, Dünya'da ve Türkiye'de en çok filtrasyon sanayiinde kullanılmaktadır. Kullanım alanlarından birisi de inşaat sektörüdür. Volkanik orijinli olmayan tek doğal puzolan olan diyatomitin çimento üretiminde kullanılmasına yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Türkiye'de doğrudan diyatomitle ilgili yalnız bir standart bulunmaktadır. Bu standart, en çok 500 °C sıcaklığa kadar ısı yalıtımında kullanılan ve içerisinde en az %1,5 cam elyaf bulunan diyatomiti kapsamaktadır. [24]

Türkiye'deki Diyatomit Yatakları

Türkiye'nin volkanojen neojeninde diatomit oluşumları yaygındır. Bunlar yörelerine göre 4 grupta toplanabilirler:

1) İç Anadolu'nun güneydoğusu. Kayseri, Nevşehir ve Niğde illerinde diatomit oluşumları boldur. Hırka – Kayseri Türkiye'nin bilinen en büyük yatağıdır. Ayrıca Keprin-Toklar, Melenki, Oymaağaç, Beydeğirmen köyleri yakınında diatomit zuhurları bulunmaktadır. Niğde ve Nevşehir arasındaki Gelveri bucağının Ihlara ve Belısırma yatakları Etibank tarafından işletilmiştir. Ürgüp yakın dolayında da diatomit oluşumları yer alır. [25]

2) Ankara – Çankırı Bölgesi. Çankırı il sınırları içinde Çerkeş – Orta – Şabanözü ilçeleri arasında kalan bir alanda Akhasan, Karaağaç, Bastak diyatomitleri yer alır. Bunların bir kısmı işletilmektedir. Ankara il sınırları içinde ise Güvem – Gürcüköy ile Ayaş'ın Başberket ve Gücügöz oluşumları binmektedir. [25]

3) Batı Anadolu Bölgesi. Bu yörede Afyon – Şeydiler, Kütahya – Alayunt, Uşak – Kayağıl diyatomitleri araştırılmıştır. Aydın – Karacasu, Denizli – Tırkaz ve Karakıran oluşumları da tanılmaktadır. Bunun yanısıra Balıkesir – Gönen ile Bursa Orhuneli'nde de diyatomite rastlanılmıştır. [25]

4) Doğu Anadolu Bölgesi. Literatüre ayrıntılı olarak geçmiş bir oluşum yoktur. Bununla birlikte Neojen'deki linyit araştırmalarında diatomeli killere rastlanılmış olması, öte yandan bölgede volkanizmanın çok yaygın bulunması bu bölgede de diatomit yataklarının olabileceğini göstermektedir. Ayrıca Van'da da bir ruhsat

sahası mevcuttur. [25]

Hacim yönünden en büyük yataklar İç Anadolu'nun güneydoğusunda toplanmıştır. Türkiye diyatomitleri genellikle tatlı su ortamlarının küçük, planktonik diyatomelerinden oluşan, kil ve tüfit ara katkılı çökelleridir. MTA'nın Türkiye'deki diyatomit yatakları haritası şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Türkiye'nin Diyatomit Yatakları [26]

2.2.3.3. Bentonit – Montmorillonit

Bentonit, esas minerali montmorillonit olan killere için yaygın ve ticari olarak kullanılan bir terim olup en az %85 montmorillonit içeren yumuşak koloidal özellikli bir alüminyum hidrosilikattır. Bentonit, ticari anlamda suyla temas geçince şişebilen, asitle aktif indirilebilen, sondaj çamurlarını koyulaştıran ve geniş yüzey alanı gösteren bir kil mineralidir. [27]

Bentonitin, çeşitli endüstriyel proseslerde kullanımı, yapısı ve bileşimi ile yakından ilgilidir. Tane boyu, tane şekli, yüzey kimyası, yüzey alanı, renk, aşındırma, viskozite, plastisite, absorpsiyon, adsorpsiyon vb. özellikler çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Endüstriyel kullanımlar için bentonitin değerlendirilmesinde, kimyasal bileşimden ziyade fiziksel özellikleri önemlidir. [27]

Bentonitlerin en önemli özelliklerinden birisi de emici killerden birisi oluşudur. Bentonitler, iyonik partiküllerin ve iz metallerin emilmesi için uygun ortam sağlarlar. Bentonitlerin emme mekanizması sadece parçacıkların dış yüzeyinde

değil, aynı zamanda yapısal iyonların spesifik iyon değiştirme pozisyonlarında ikam edilmiş tabakalar arası aralıkları içinde de olur. Bu nedenle, bentonitlerin çözücü ve emici özellikleri vardır. Bu tip kil bazlı hammaddelerin suya doygunluğu 2000-3500 kg/m³ arasındadır ve sulu ortamlarda radyoaktif izotoplarla temas etmeleri halinde, kil aratabakalarıyla birleşen radyoaktif izotoplar mineral yapının bir parçası haline gelirler. [28]

Ticari bentonitler, sülfürik aside karşı gösterdikleri reaksiyona göre dört ve suda şişme özelliklerine göre iki guba ayrılırlar.

Aside karşı gösterdikleri reaksiyona göre

- Alkali Bentonit: Asit ile muamelede özelliklerini kaybetmeyen ve kolayca değiştirilen alkali bazları içeren bentonitler.
- Yarı Alkali Bentonit: Yer değiştirebilen alkali bazlar içerir, asitle işlem gördüğünde orijinal özelliklerini yitirir.
- Toprak Alkali Bentonit: Yer değiştirebilen toprak alkali baz içerir, alkali tuz ile işlem gördüğünde alkali bentonit özelliği kazanabilir.
- Yarı Toprak Alkali Bentonit: Asitle işlem gördükten sonra alkali bentonit özelliği kazanmayan bentonittir. [29]

Suda şişme özelliklerine göre

- Şişme Özelliqli Bentonitler: Sodyum-bentonitler olarak tanımlanırlar. Bu grubu bünyesinin yaklaşık olarak 1 ile 15 katı kadar su alabilen bentonitler oluştururlar. Su ile karıştırıldığında kolloidal özellik göstermesi su ve bazı organik sıvı ortamda hacimce şişmesi, yüksek poroziteye haiz olması, bu killere çok geniş kullanım sağlamaktadır.
- Şişme Özelliqli Olmayan Bentonitler: Kalsiyum-bentonitler olarak tanımlanırlar. Bu grup bentonitlerde tabakalar arasında değişebilen iyonlarda kalsiyum mevcuttur. Fiziksel özellikler genellikle her iki tip bentonitte de aynıdır. Asit ile etkileşime girdikleride bazı kullanım alanları değişebilmektedir. Örneğin Ca-bentonitin asit ile etkileşiminden sonra petrol yağlarında tasfiye edici olarak kullanıldığı halde Na-bentonitlerde böyle bir özellik yoktur. [29]

Geniş bir kullanım alanı olan bentonit başlıca sondajlarda sondaj çamurunda, döküm sanayiinde kalıplarda, demir tozlarının peletlenmesinde, genel olarak

inşaatlarda sızdırmazlık malzemesi olarak, hayvan yemi yapımında, katı ve sıvı yağların ağartılmasında, şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında, ilaç, kağıt ve lastik sanayiinde dolgu yapımında, çimento ve seramik sanayiinde katkı maddesi olarak, petrol rafinasyonunda, atık sularınının filtrelenmesinde, boya sanayiinde ve gübre yapımı gibi alanlarda kullanılır.

Türkiye ve Dünya’da Bentonit Üretimi

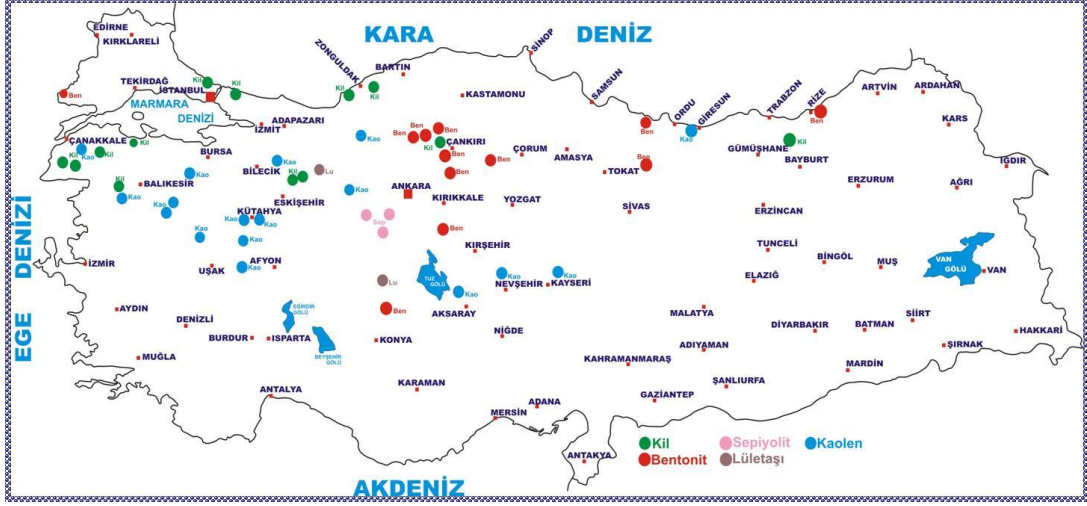
USGS’nin ocak 2017’de yayınladığı verilerine göre dünyada 2015 ve 2016 yıllarındaki bentonit üretimi milyon ton cinsinden tablo 2.8’de verilmiştir. 2016 yılında ABD ve Çin’in arkasında dünyada en fazla üretim yapan (Yunanistan’la birlikte) 3. Ülke olmamız ve dünya üretiminin yaklaşık yüzde 7.4’ünü karşılamamızın azımsanmayacak bir miktar olduğunu göz önünde bulundurmanız gerekir.

	2015	2016
ABD	4040	3800
Çin	3650	3650
Hindistan	1100	1100
Türkiye	1090	1200
Yunanistan	1010	1200
Meksika	470	500
İran	420	600
Brezilya	405	405
Almanya	395	360
Çek Cumhuriyeti	369	370
Ukrayna	210	210
İspanya	113	115
Diğer Ülkeler	2710	2700
Dünya Toplamı (Yuvarlanmış)	16,000	16,200

Tablo 2.8: Dünyada 2015 ve 2016 Yıllarında Bentonit Üretimi (milyon ton) [30]

Türkiye’deki Bentonit Yatakları

Ekonomik değer taşıyan bentonit yatakları Tokat Reşadiye, Ordu Ünye, Çankırı Kurşunlu, Çerkes ve Ilgaz, Çorum Sungurlu, Ankara Kalecik ve Keskin, Ordu Fatsa, Konya Sağlık köyü, Edirne Enez ve Çanakkale Ayvacık’taki tersiyer yaşlı volkanosedimenter istiflerde yer alırlar.



Şekil 2.11: Türkiye'nin Bentonit Yatakları [28]

2.2.3.4. Kaolin

Kaolin ismi Çince'den gelmekle birlikte yüksek sırt anlamındadır. Yüksek sırt, Çin'in güneydoğusunda kilin ilk olarak keşfedildiği yere ve kullanıldığı tepeye referanstır. 7. ve 8. yüzyıllarda çinliler porselen yapmak için kaolin ilk defa kaolini kullanmışlardır ve dünyanın diğer taraflarındaki medeniyetlerde sürecin anlaşılıp kopyalanması yüzyıllar sürmüştür. [32]

İdeal Kaolin Bileşimi: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ olup kaolinitte; SiO_2 (Silika) %46,54, Al_2O_3 %39,50 ve H_2O (Su) %13,96 olmalıdır. Kaolin içindeki Al_2O_3 haricindeki diğer bileşenlerin yüksek olması demek Al_2O_3 oranının idealden (%39,50) az olması ve dolayısıyla kilin kalitesinin daha düşük olması demektir. [32]

Kaolen ve kaolinit, killerin ana bileşenidir. Alüminyumlu silikatlı kayaların, özellikle de feldspatlı magmatik kayaların sıcak ve yağışlı iklim koşullarında yüzeysel bozuşması veya hidrotermal değişmesi ile oluşan ikincil bir mineraldir. Bozuşmuş kayaların bileşimine bağlı olarak feldspat ve kuvars gibi mineraller ile birlikte bulunurlar. Bozuşmanın ileri derecede olduğu durumlarda tüm kayacın hacmini kaplayabilen büyük gövdeler halinde gelişebilir. Yaygın bir bozuşma ürünü olarak topraklarda; ayrıca yüzey suları ile aşınmış, taşınmış ve tatlı su göl ortamlarında çökelmiş olarak sedimenter kaolinitik kil yataklarında kuvars ve diğer kil mineralleriyle birlikte yer alırlar. [33]

Kaolinit grubu; dioktahedral minerallerden, diki, nakrit ve halloysit ve trioktahedral minerallerden antigorit, şamozit, krizotil ve kronstedit içerir. Bu

grubun birincil yapısal birimi, tetrahedral bir levha ile yoğunlaştırılmış oktahedral levhadan oluşan bir katmandır. Dioktahedral minerallerde oktahedral alan alüminyum tarafından işgal edilir; Trioktahedral minerallerde bu alanlar magnezyum ve demir tarafından işgal edilir. Kaolinit ve halloysit tek katmanlı yapılardır. Dikit ve nakrit aynı temel yapıya sahip olmalarına rağmen, katmanların istif sırası bu minerallerde farklıdır. Kaolinit, dikit ve nakrit plakalar halinde oluşurken yaprakları arasında tek bir su tabakası oluşturabilen halloysite, boru biçiminde oluşur. [34]

Kaolinler kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilirler gibi alüminli, silisli, demirli, kaolin şeklinde mineralojik bileşimine, yağlı, sert, döküm, yumuşak, plastik kaolin, refrakter kaolini şeklinde fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılabilirler. Kaolinin kullanım alanlarının sınıflandırılması ise en çok tüketilen ve tüketildiği alanda ana girdi teşkil etmesinden aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür. [35]

- Seramik Alanında Kullanılan Kaolinler
- Dolgu Alanında Kullanılan Kaolinler (Kağıt, Plastik, Tekstil, Boya, Cam)
- Diğer Sanayi Dallarında Kullanılan Kaolinler (Çimento, Kozmetik, İlaç, Deri, Yağ)

Kaolin çeşitli yapı ve spesifikasyonlarda olmasının en büyük nedeni oluşum esnasındaki ana kayaçların farklılığı ve taşıma yıkanma olaylarındaki değişikliklerdir. [35]

Kullanım Alanları ve İstenen Kaolin Özellikleri

Kaolin; kağıt sanayi, seramik sanayi, boya sanayi, plastik sanayi, mürekkep yapımı, lastik sanayi, cam elyaf yapımı, izolasyon sanayi, katalizör ve ilaç yapımı gibi alanlarda kullanılır. Kullanıldığı alana göre kaolinin aranılan özelliği değişmekte olup, kağıt sanayi ve seramik sanayi gibi alanlarda kaolinin saflığı ve parlaklığı önemli bir faktörken, boya sanayi, mürekkep yapımı, lastik sanayi ve ilaç yapımı gibi alanlarda kaolinin tane boyutu önem taşımaktadır. Plastik sanayinde güçlendirici, maliyet düşürücü ve katkı malzemesi olarak kullanıldığından spesifik olarak kaolinin bir özelliği aranmamakla birlikte cam elyaf üretim standartları gereği kaolin içeriği çok önemli olup içeriğinden en az

%37 Al₂O₃, %44 SiO₂, en fazla %1 Fe₂O₃, %2 Na₂O ve %1 H₂O bulunmalıdır. Ayrıca otomobil ve metal parlaticılarında, oksitlenmiş yüzeyleri temizlenmesinde kaolin kullanılır. Bu sektörde kaolinlerde en fazla 2 ppm arsenik ve en fazla 20 ppm ağır metallerin bulunması istenir. [32]

Dünyada ve Türkiye’de Kaolin Üretimi

USGS’nin verilerine göre dünyada 2015 ve 2016 yıllarındaki kaolin üretimi milyon ton cinsinden tablo 2.9’da verilmiştir.

	2015	2016
ABD	5990	5710
Hindistan	4770	4800
Almanya	4300	4300
Çek Cumhuriyeti	3450	3500
Çin	3200	3200
Türkiye	2030	2000
Brezilya	1800	1800
Ukrayna	1430	1450
Birleşik Krallık	1090	1100
İran	820	1500
Meksika	320	320
İspanya	247	330
Diğer Ülkeler	6980	7000
Dünya Toplamı (Yuvarlanmış)	36400	37000

Tablo 2.9: Dünyada 2015 ve 2016 Yıllarında Kaolin Üretimi (milyon ton) [36]

Türkiye’deki Kaolin Yatakları

Türkiye kaolen yataklarından İstanbul’da yer alan rezervler hemen hemen tükenmiş olup bu yataklar yüzeysel bozuşma ile meydana gelmişlerdir. Diğer tüm yataklar ise andezitlerin hidrotermal değişmesi ile oluşmuşlardır. Başlıca yataklar Balıkesir Sındırgı Düvertepe, Çanakkale Çan, Giresun Bulancak, Niğde Aksaray, Eskişehir Mihaliççik ve Bursa Kemalpaşa’dadır. Volkanik ana kayaktan türemiş başlıca kaolinitten meydana gelen kaolinitik kil yatakları ise İstanbul Şile, Kilyos ve Kemerburgaz ile Bilecik Söğüt dolaylarında bulunurlar. [33]

MTA’nın Türkiye’deki Kaolin yataklarını verdiği haritayı şekil 2.12’de görülebilir.



Şekil 2.12: Türkiye'nin Kaolin Yatakları [37]

2.2.4. Akış Filtrasyonu

Filtre, kelime anlamı olarak süzmek olan ve genellikle akışkanlar içerisindeki istenmeyen maddelerin ayrılması için kullanılan malzemeye verilen isimdir.

En basit terimlerle akış filtrasyonu, solüsyonu bir gözenekli zar veya ortam içinden geçirerek bir sıvı ortamdan askıya alınmış parçacıkları ayırmak için tasarlanmış bir birim işlemdir. Akışkan veya süspansiyon, filtre ortamının boşlukları veya gözenekleri boyunca geçmeye zorlandığı için, katı parçacıklar, ortam yüzeyi üzerinde veya bazı durumlarda, gözeneklerin duvarları üzerinde tutulurken, sıvılar filtreden geçebilmektedir.

Gözenekli bir ortamdan akışkanların akışı, sadece filtrasyonun çalışmasına değil, aynı zamanda adsorpsiyon, kromatografi, paketlenmiş kolonları içeren operasyonları, iyon değişimi ve çeşitli reaktör mühendisliği uygulamaları yoluyla süspansiyonların akışını içeren diğer işlemleri de ilgilendirir. Petrol mühendisliği uygulamalarında, petrolün gaz, su ve karışabilir çözücülerle (yüzey aktif maddelerin solüsyonları dahil) ve rezerv akış problemlerinde yer değiştirmesi ile ilgilidir. Hidrolojide, su sistemlerinde iz kirletici maddelerin hareketi, içme ve sulama için suyun geri kazanımı ve tatlı su müşterilerlerine tuzlu suların karışması söz konusudur. Toprak fizikinde, suyun, besin maddelerinin ve kirleticilerin bitkilere hareketi ile ilgilidir. Biyofizikte, gözenekli ortamdaki akış, akciğerlerdeki ve böbreklerdeki akışkan akışı gibi yaşamsal süreçler ile birebir ilgilidir.

Gözenekli Ortam ve Darcy Kanunları

Gözenekli ortam, birçok delik ve dolambaçlı geçişler içeren bir katı olarak tarif edilebilir. Deliklerin veya gözeneklerin sayısı o kadar fazladır ki, ilgili özellikleri tahmin etmek için bir hacim ortalamasına ihtiyaç duyulur. Hacmin belirli bir kısmını işgal eden gözenekler, karmaşık bir boşluk ağını oluşturur. Deliklerin ya da gözeneklerin gömülü olduğu şekildeki ara bağlantılarının kapsamı ve bunların yerleri, boyutu ve şekli gözenekli ortamı karakterize eder. Gözeneklilik terimi, boşluklar içeren ortamın fraksiyonunu ifade eder. Bir akış bir ortamın üzerinden geçirildiğinde, akışa katkıda bulunan ortamın (yani gözeneklerin) fraksiyonu, etkili gözeneklilik olarak adlandırılır. [43]

Gözenekli ortamları sınıflandırılabilen birçok malzeme vardır, ancak bunların hepsi filtrasyon konusu ile alakalı değildir. Genel olarak, gözenekli medya; konsolide olmayan ve konsolide veya düzenli ve rasgele olarak sınıflandırılır. Konsolide olmayan ortam örnekleri kum, cam boncuklar, katalizör peletleri, kolon dolguları, toprak, çakıl ve kömür gibi ambalajlardır. Konsolide ortam örnekleri, kumtaşları ve kireçtaşları gibi doğal olarak meydana gelen kayaçların çoğudur. Beton, çimento, tuğla, kağıt ve bez gibi malzemeler, insan yapımı konsolide ortamlardır. Düzenli ortam, küreler, sütun paketler ve ahşap gibi çeşitli malzeme türleridir. Rastgele ortamın belirli bir korelasyon faktörü yoktur. [43]

Gözenekli ortamlar, geometrik veya yapısal özellikler bakımından daha da kategorize edilebilir. Gözenek yapısı analizinin amacı, mikroskobik veya yığın akış özelliklerine ilişkin bir açıklama sağlamaktır. Karakterizasyonun gözenek tanımlaması ile ilişkilendirilmesi gereken başlıca kütle özellikleri porozite, geçirgenlik ve kıvrımlılık bağlantıdır. Aynı ortamın farklı örneklerini incelerken, gözenek boyutları, şekilleri, yönelimleri ve ara bağlantıların sayısının çok büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu karmaşıklık nedeniyle, gözenek yapısı tanımı çoğu zaman görünür gözenek boyutlarının istatistiksel bir dağılımıdır. Bu dağılım, ölçümlerin gözenek büyüklüğüne dönüştürülmesinin, ortalama veya model gözenek boyutlarını sağlayan modellere başvurusu gerektiğinden aşıkardır. Karakteristik gözenek boyutu dağılımının tanımlanmasına yönelik yaygın bir yaklaşım, gözenekli ortamın düz silindirik kılcal bir demet halinde modellenmesidir. Model kılcalların çapları, uygun bir dağıtma fonksiyonu temelinde tanımlanmaktadır. [43]

Konsolide olmayan ortam için gözenek yapısı, parçacık boyutu dağılımından, parçacıkların geometrisinden ve parçacıkların paketleme (yerleşim) düzeni gibi sebeplerle değişir. Paketleme teorisi, küreler gibi simetrik geometriler için iyi oluşturulmuştur. Parçacık boyutu, geometrisi ve paketleme teorisi hakkında bilgi, gözenek büyüklüğü dağılımları ile kurulacak parçacık büyüklüğü dağılımları arasında ilişki kurulmasına yardımcı olur. [43]

Makroskobik açıklama, tek bir gözenekten daha büyük boyutlardaki ortalama ve yığın özelliklerini açıklamaya dayanır. Gözenekli bir ortamı makroskobik olarak karakterize etmede, öncelikle bir tanımlama ölçeği ile başa çıkmak gerekir. Kullanılan ölçek, gözenekli ortamı modellemek istediğimiz şekle ve boyuta bağlıdır. Basitleştirilmiş fakat bazen doğru olan bir yaklaşımsa ortamın homojen, uniform ve izotopik gibi ideal olduğunu varsayar.

Rezervuar tanımı, heterojenin aksine homojen bir sistemi karakterize etmek için uygulanır. Bir rezervuar tanımı, rezervuarı bir mülkün yeterince değiştiği bir seviyede tanımlar. Böylece akışı modellemek için tek bir ortalama dan daha fazlasının kullanılması gerekir. Bu anlamda iri çakıl ve ince kumun bir kesiti ile bu iki malzemenin ayrıldığı ve önemli ölçüde farklı geçirgenliklere sahip bir bölümünden oluşan bir rezervuar, doğası gereği heterojendir. Boyutların tanımlanması, alanların belirlenmesi ve çakıl ve kumun ortalama özelliklerinin belirlenmesi, bir rezervuar tanımını sağlar ve rezervuar seviyesi tipi problemler için tatmin edici bir yaklaşımdır. Ne yazık ki, akış mekanizmasını incelemek için, nonideal medyanın etkileri daha spesifik tanımlar gerektirmektedir.

Gözenekli ortamdan akışla ilgili herhangi bir tartışma kaçınılmaz olarak, gözenekli bir ortamdan doğrusal olarak akan bir akışkanın hacimsel akış hızı ile hareket halindeki akışkanın enerji kaybı arasındaki bir ilişki olan Darcy yasasına değinmektedir.

Darcy yasası şöyle açıklanabilir;

$$Q = \frac{KA(h_1 - h_2)}{\Delta h}$$

$$\Delta h = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + constant$$

K parametresi, hidrolik iletkenlik sabiti olarak bilinen bir orantıdır.

İlişki genellikle gözenekli bir ortam için tanımlandığı gibi Reynolds sayısının birden az olduğu durumlar için geçerli kabul edilir. Açık boru akışındaki Reynolds sayısı, eylemsizden görsel kuvvetlere oranıdır ve sistem için akışa dik olan bir karakteristik uzunluk olarak tanımlanır. Akışa dik olan uzunluğu değiştirmek ve porozite ile hızı düzeltmek için hidrolik yarıçapın dört katını kullanarak bir Reynolds sayısını oluşturur:

$$Re = \frac{D_p V_\infty \rho}{\mu(1 - \theta)}$$

Darcy yasası Re'nin 1'den küçük olduğu durumlarda geçerlidir.

Hidrolik iletkenlik K, sıvının özelliklerine ve ortamın gözenek yapısına bağlıdır. Hidrolik iletkenlik sıcaklığa bağlıdır, çünkü sıvının özellikleride (yoğunluk ve viskozite) sıcaklığa bağlıdır. Hidrolik iletkenlik, iç geçirgenlik ve akışkanın özellikleri açısından aşağıdaki gibi daha spesifik olarak yazılabilir. [43]

$$K = \frac{k \rho g}{\mu}$$

Formüldeki K, gözenekli ortamın içsel geçirgenliği ve sadece gözenek yapısının bir işlevidir. İçsel geçirgenlik, sıcaklığa bağlı değildir. Diferansiyel formda Darcy denklemi şu şekildedir:

$$\frac{Q}{A} = q = -\frac{k dp}{\mu dx}$$

Eksi işareti, p2-p1'e eşit olan negatif bir Δp tanımından kaynaklanır. Q terimi sızma hızıdır ve Reynolds sayısının tanımında da kullanılan V∞ yaklaşımının hızına eşdeğerdir. [43]

Geçirgenlik, normal olarak, akışkan olarak bir sıvı veya gazın kullanılmasına bağlı

olarak, sıkıştırılmaz ya da sıkıştırılabilir formdaki doğrusal akış kullanılarak belirlenir. Hacimsel akış hızı Q (veya Q_m) birkaç basınç düşüşünde belirlenir. Q ise, ortalama basınç p_m 'ye göre çizilir. Bu hattın eğimi akışkan iletkenliğini K verecektir veya akışkan yoğunluğu ve viskozitesi biliniyorsa, içsel geçirgenliği k sağlar. Gazlar için sıvı iletkenliği basınca bağlıdır. Dolayısıyla;

$$K = K \left(1 + \frac{b}{p} \right)$$

Formüldeki b , akışkan ve gözenekli ortama bağlıdır. Burada b akışkan ve gözenekli ortama bağlıdır. Bu şartlar altında düz bir çizgi oluşur (bir sıvı ile olduğu gibi), ancak orijinden geçmez; bunun yerine bK ve kesişme K eğimine sahiptir. Bu fenomenin açıklaması, gazların her zaman gözenekli ortamın duvarlarına yapışmamasıdır. Bu kayma, basınca karşı geçirgenliğin açık bir bağımlılığı olarak ortaya çıkar. [43]

Hacim ortalama anlamında heterojenlik, düzensizlik ve anizotropi tanımlanmalıdır. Bu terimler, Darcy yasası düzeyinde geçirgenlik açısından tanımlanabilir. Geçirgenlik, gözeneklilikten daha hassas iletkenlik, karıştırma ve kılcal basınçtır. [43]

Heterojenite, düzensizlik ve anizotropi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Makroskopik bir temelde, ortamda yer alan ve ϵ 'nin Darcy yasasında yeteri kadar büyük olduğu, uygun Reynolds sayıları için uygulanabilecek bir nokta hakkında, ϵ 'nin yarıçapı ϵ 'nin temel elementlerinin ortalamasını ima ederler. Başka bir deyişle, hacimler, tek bir gözeneğe göre büyüktür. Ayrıca, ϵ , böyle bir koşulu sağlayan minimum yarıçaptır. Eğer ϵ çok büyükse, bazı ideal olmayan durum etkilerini elementel hacmin içine uzatarak engellenebilir. [43]

Heterojenite, düzensizlik ve anizotropi, ortamdan seçilen rastgele makroskopik elemental hacimlerin geçirgenliğinin olasılık yoğunluk dağılımına dayanır, burada geçirgenlik, Darcy kanununun tek boyutlu şekli ile ifade edilir. [43]

Daha önce de belirtildiği gibi, akışkan akışının doğasını oluşturan özellikler gözenekli ortamın temel özellikleri gözeneklilik, geçirgenlik ve kılcallıktır. Makroskopik anlamda gözeneklilik, ortamın etkili gözenek hacmini karakterize

eder. Matrise göre gözeneklerin büyüklüğü doğrudan ilişkilidir. Porozite ikame edildiğinde, yapının detayları kaybolur. [43]

Geçirgenlik, ortamın iletkenliğidir ve Darcy yasasıyla doğrudan ilgilidir. Geçirgenlik gözenek büyüklüğü dağılımı ile ilgilidir çünkü giriş büyüklüklerinin, çıkışların ve gözenek duvarlarının uzunluklarının dağılımı akışa olan birincil direnci oluşturur. Bu parametre, belirli bir gözenek yapısının iletkenliğini yansıtır. Geçirgenlik ve gözeneklilik ise ilişkilidir; gözeneklilik sıfır ise geçirgenlik sıfırdır. Bu iki parametre arasında bir korelasyon mevcut olsada, geçirgenlik, gözenek yapısı hakkında daha fazla bilgi içeren ek parametrelere ihtiyaç duyulduğundan, tek başına gözeneklilikten tahmin edilemez. Bu ek parametreler kılcallık ve bağlantısallıktır. Kılcallık, bir akış yolunun nispi ortalama uzunluğu olarak tanımlanır (yani akış yollarının ortalama uzunluğu, ortamın uzunluğuna bağlı olarak). Akış yolunun hem sinüozitesinin hem de akış yolu boyunca gözenek boyutundaki varyasyonun makroskobik bir ölçüsüdür. Porozite ve kılcallığın her ikisi de geçirgenlik ile ilişkilidir, ancak geçirgenliği tahmin etmek için tek başına kullanılamaz. [43]

Bağlanabilirlik, gözenek bağlantılarının düzenini ve sayısını tanımlar. Tek boyutlu gözenekler için, bağlantı, birleşme başına ortalama gözenek sayısıdır. Terim, bir bağlantıdaki gözeneklerin sayısının makroskobik bir ölçüsünü temsil eder. Bağlantı, geçirgenlik ile ilişkilidir, ancak belirli sınırlayıcı durumlar haricinde geçirgenliği tahmin etmek için tek başına kullanılamaz. [43]

Kavramsal sadeleştirmelerdeki zorluklar, gerçek gözenekli ortamın ortalamalar olan makroskobik parametrelerle değiştirilmesinden ve bu aracın bazı idealize edilmiş modeliyle ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Kılcallık ve bağlanabilirlik, gözenek yapısının farklı özellikleridir ve geçirgenlik, kılcal basınç ve dispersiyon gibi makroskobik akış özelliklerini yorumlamak için yararlıdır. [43]

Gözenekli ortam, tipik olarak, aynı uzunluğa sahip çeşitli enine kesitlerdeki bir şilteler topluluğu olarak karakterize edilir. Akışa normal bir kesiti geçen tüm kanallar için Navier-Stokes denklemleri verilebilir;

$$S^2 = \frac{C\phi}{k}$$

Esas olarak kılcal damarların konfigurasyonuna bağlı olarak farklı değerler atanan bir şekil faktörü olduğu durumlarda C parametresi Kozeny sabiti olarak alınır. (dairesel bir kılcal için $c = 0.5$). S ise kanalların spesifik yüzey alanıdır. Dairesel kılcallardan başka, bir şekil faktörü dahil edilir:

$$r^2 = \frac{ck}{\varphi}$$

Silindirik gözenekler için spesifik yüzey:

$$S_A = \frac{n2\pi rL}{n\pi r^2L} = \frac{2}{r}$$

ve

$$S_A^2 = \frac{2\varphi}{8^{1/2}k}$$

$2/8^{1/2}$ parametresinin c ve S_A ile belirli bir yüzey ile değiştirilmesi ile iyi bilinen Kozeny denklemi elde edilir. [43]

$$S = \varphi S_A$$

Kılcallık τ temel olarak, gerçek bir orta gözeneklerin düz olmadığı (yani, en olası akış yolunun uzunluğunun gözenekli ortamın toplam uzunluğundan daha uzun olduğu) gerçeğini hesaba katmak için Kozeny denklemine uygulanan bir düzeltme faktörüdür:

$$S^2 = \frac{C\varphi^3}{\tau k}$$

Homojen fakat eşit olmayan bir ortamın ortalama gözenekliliğini belirlemek için gözeneklilik dağılımının doğru ortalaması değerlendirilmelidir. Doğal ve yapay ortamların porozitleri genellikle normal olarak dağıtılır. Heterojen eşit olmayan bir ortamın ortalama gözenekliliği, sayı ortalamasının hacim ağırlıklı ortalamasıdır:

$$\langle\langle\varphi\rangle\rangle = \frac{\sum_{i=1}^m V_i \langle\varphi_i\rangle}{\sum_{i=1}^m V_i}$$

Ortalama muntazam olmayan geçirgenlik, mekansal olarak bağımlıdır. Homojen fakat eşit olmayan bir ortam için, ortalama geçirgenlik, geçirgenlik dağılımı fonksiyonunun doğru ortalamasıdır (ilk moment). Üniform olmayanlar için geçirgenlik genellikle eğrilmiştir. Eşit olmayan geçirgenlik için çoğu veri, normalde dağıtılacak geçirgenlik gösterir. Homojen ve üniform olmayan geçirgenlik için doğru ortalama, aşağıdaki gibi tanımlanan geometrik ortalamadır:

$$\langle k \rangle = \left[\prod_{i=1}^n k_i \right]^{1/n}$$

Heterojen ortamlarda akış için, ortalama geçirgenlik, her biri farklı bir ortalama geçirgenliğe sahip olan muntazam olmayan elemanların düzenine ve geometrisine bağlıdır. [43]

Geçirgenlik, sınırlı fakat küçük bir hacimdeki ortam için hacim ortalamasıdır. Doğal veya yapay paketlenmiş ortamlarda anizotropi, partikül (veya tanecik) oryantasyonundan, farklı boyutlardaki partiküllerin tabakalanmasından veya farklı geçirgenlikteki ortam katmanlarından kaynaklanabilir. Anizotropi veya yönlendirilmiş heterojenite olarak bir yönlü etkinin tedavi edilip edilmeyeceği düşünüldüğünde bir ikilem ortaya çıkar. [43]

Yönlendirilmiş bir gözenekli ortamda, akışa olan direnç, yöne bağlı olarak değişir. Bu nedenle, iki nokta arasında bir basınç eğimi varsa ve belirli bir akışkan parçacığı takip edilirse, basınç eğimi yönelimli akış yollarına paralel olmadıkça, akışkan parçacığı, orijinal noktadan, beklendiği noktaya gitmeyecektir. Bunun yerine parçacık sürüklenecektir. [43]

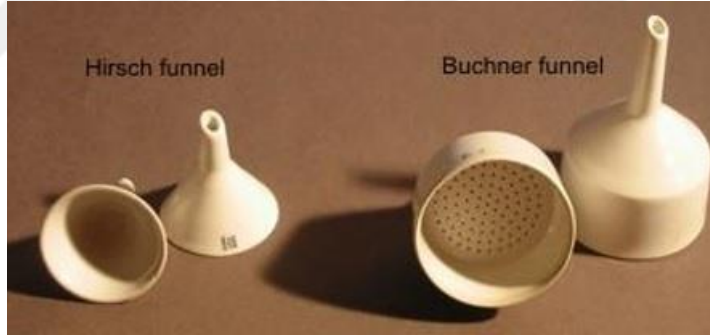
Kılcallığın ve geçirgenliğin bir ortamın üniform olmayan ve anizotropisi ile ilişkilendirilmesi zordur. Bir gözenek yapısı modelinden geçirgenliği tahmin etme girişimleri, kılcallık ve geçirgenlik hakkında bilgi gerektirir. [43]

Endüstriyel açıdan bakıldığında, filtrasyonun birim operasyonunun amacı, süspansiyon halindeki katı partiküllerin, bir filtre ortamı olarak atıf yapılan

gözenekli bir ortamdan geçirilmesiyle elde edilen bir işlem akışkan akımından ayrılmasıdır. Sıvıyı filtre ortamının boşluklarından zorlamak için, sıvı tek başına akar, ancak katı parçacıklar yüzeyde ve ortamın gözeneklerinde tutulur. Ortamdan boşalan sıvıya filtrat denir. İşlem, sıkıştırılmaz sıvılar (sıvılar) veya hafifçe yüksek oranda sıkıştırılabilir akışkanlar (gazlar) ile gerçekleştirilebilir. Filtrasyonu kontrol eden fiziksel mekanizmalar, benzer olsa da, sıvı sıkıştırılabilirlik derecesine göre değişir. İki akışkan tipi arasındaki partikül yakalama mekanizmalarında belirgin benzerlikler olmasına rağmen, filtrasyon ekipmanı için tasarım metodolojileri belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir. [43]

2.2.4.1. Filtrasyon Teknikleri

Birden fazla filtreleme tekniği vardır; Basit (veya yerçekimi), sıcak ve vakumlu filtrasyon teknikleri. Uygun yöntem seçimi deneyin sistemi ve solüsyonun durumuyla ilgilidir. [38]



Şekil 2.13: Filtrasyon tekniklerinde en çok kullanılan 2 huni tipi: Hirsch ve Buchner Hunileri

Filtrasyon tekniğinin seçimi aşağıdaki parametrelerle etkili olmaktadır;

- *Filtreden geçirilen çözelti/katı*: Eğer katıyı toplayacaksanız vakum yöntemleri daha hızlı oldukları için muhtemelen en iyi çözümdür. Çözeltiyi toplayacaksanız genellikle gravite filtrasyon tekniği tercih edilir.



Şekil 2.14: Vakumlu Buchner Hunisi

- *Filtrelenecek sıvı miktarı:* Eğer filtrelenecek hacim fazlaysa gravitasyon yöntemi daha iyi bir seçim olabilir. Vakum yöntemi hızlıdır fakat şişeyi kısmen boşaltmanız gerekiyorsa basıncı boşaltmanız ve bunu yapmak için huniyi çıkartmanız gerekir. Bu dökülme riskini arttırarak işlemleri yavaşlatır.
- *Toplanacak katı miktarı:* Eğer az miktarda bir katı ise Hirsch hunisi kullanarak vakum filtresi tercih edebilirsiniz. Hirsch hunisini şekil 2.15'te gösterilmektedir. [38]



Şekil 2.15: Hirsch Hunisi

- *Katı maddenin tane boyutu:* Eğer ince bir madde ise gravite filtrasyonu çok

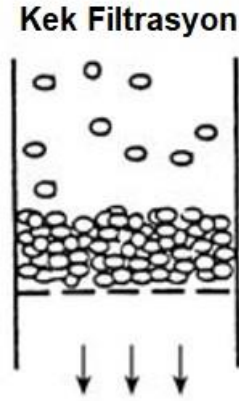
yavaş olabilir, bu durumlarda vakum filtrasyonu kullanılmalıdır.

- *Filtre sistemindeki kristallenme:* Filtre sisteminde kristallenme ihtimali var ise sıcak filtrasyon kullanılmalıdır. [38]

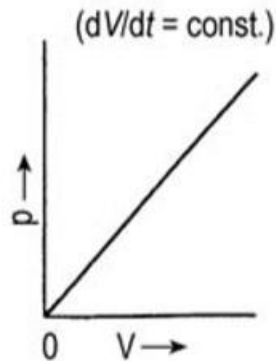
2.2.4.2. Filtrasyon Modelleri

Kek Filtrasyon

Kek filtrasyon en yaygın kullanılan yöntemdir. Burada katıların filtrenin üstünde sabit geçirgenliğe sahip homojen bir tabaka halinde biriktiği farz edilir. Kek'in ilk katı oluşur oluşmaz, en üst katta filtrasyon işlemleri oluşurken orta kat yalnızca bir destek işlevi görür. Böylelikle, dV / dt oranı sabit ise, basınç düşüşü, biriken katı madde miktarı ile orantılı olarak doğrusal olarak artar. Bu model, özellikle sert, parçacıklı katı maddeler için kolayca uygulanabilir. [38]



Şekil 2.16: Kek filtrasyon düzenek örneği [38]



Şekil 2.17: Kek filtrasyonunda basınç-hacimsel akış hızı ilişkisi [38]

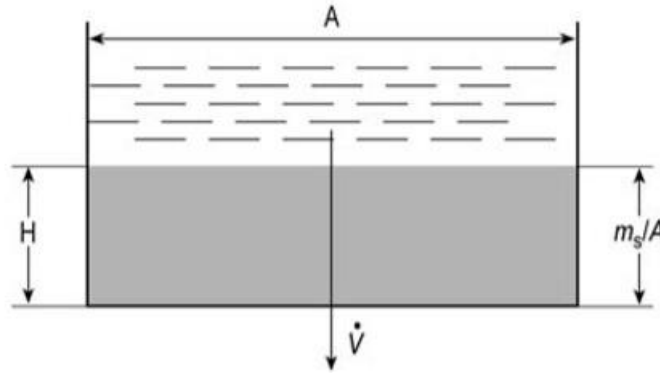
Kek Filtrasyon Mekanikleri

- Filtre Direnci ve Kek Geçirgenliğinin Tanımlanması: Darcy Denklemleri

Gözenekli ortamdaki akışa direnci Darcy Kanunu ile açıklamak mümkündür. Bir sıvının filtre kekinden aktığını düşünelim. Basınç düşüşü Δp_1 şu değişkenlere bağlı olacaktır:

1. Birim alan başına akış oranı V/A (filtrasyon hızı)
2. Keki kalınlığı (H)
3. Sıvının viskozitesi (η)
4. Keki filtre direncini tanımlayan bir sabit (α_H) [38]

$$\Delta p_1 = \left(\frac{V}{A}\right)H\eta\alpha_H$$



Şekil 2.18: Kek dayanımı tanımları [38]

Bir filtredeki basınç düşüşü, kekin üzerindeki bir Δp_1 basınç düşüşünden ve filtre ortamı boyunca bir Δp_2 basınç düşüşünden oluşur. Bu denklemler şu şekilde yazılabilir;

$$\Delta p_2 = \beta\eta\left(\frac{V}{A}\right)$$

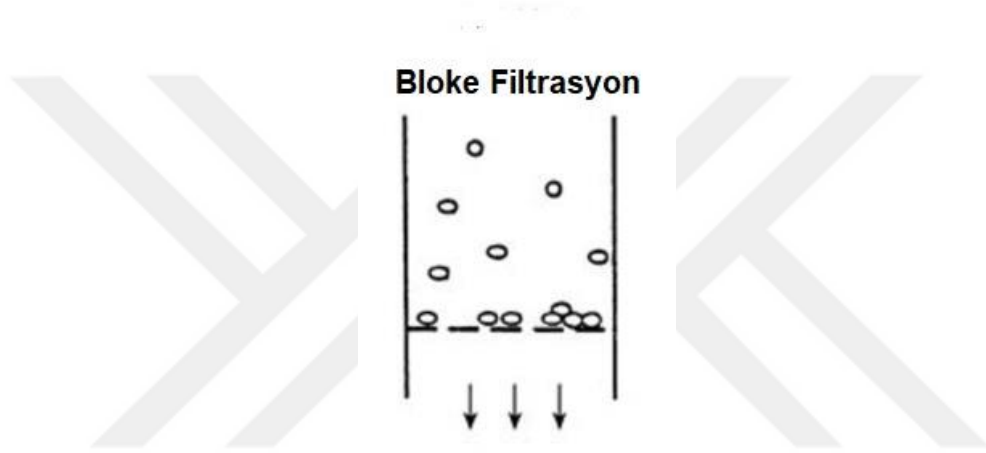
Burada β , ortamdaki maddenin direncidir.

Buna göre toplam basınç;

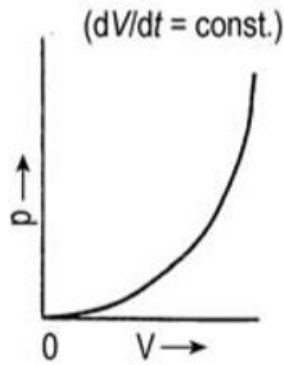
$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = \left(\frac{V}{A}\right)H\eta\alpha_H + \beta\eta\left(\frac{V}{A}\right)$$

Bloke Filtrasyon

Basınç düşüşü, gözenekleri tıkayan katı parçacıklardan kaynaklanır. Bir elek tarafından tutulan yumuşak, jelatinimsi parçacıklar sayesinde böyle bir davranış sergilenir. Eğer dV / dt değeri sabit ise, basınç düşüşü filtredeki değiştirilen miktarla üssel olarak artar, açık gözeneklerin sayısı asimptik olarak sifira yaklaşır. Gözenekler orta filtreye ait gibi hareket edebilir veya iri taneli parçacıklardan oluşan bir kek içerisinde gözenekler olabilir. [38]



Şekil 2.19: Bloke Filtrasyon düzenek örneği [38]



Şekil 2.20: Bloke filtrasyonda basınç-hacimsel akış hızı ilişkisi [38]

Bloke Filtrasyon Mekanikleri

- Tam Bloke Filtrasyonu

İdeal hale getirilmiş tam bloke filtrasyon fikrine göre, süspansiyondaki her parçacık filtre ortamı üzerinde ve bir gözeneğin (contalar) bloklarında tutulur. Kalan açık gözenek sayısı daha sonra şu şekilde hesaplanır;

$$N(t) = N_0(1 - K_N * V_L)$$

Denklemden N_0 temizleyici ortamdaki gözeneklerin sayısıdır, $N(t)$ ise kalan açık gözeneklerin sayısıdır ve K_N süspansiyondaki parçacık konsantrasyonu sayısıdır. [38]

- Orta ve Standart Bloke Filtrasyonu

Gerçek filtrasyon işlemlerinde, süspansiyon içindeki her parçacık filtre ortamının bir gözenğinde bloke olmayacaktır. Bazı parçacıklar, tamamen tıkanmadan bir gözenğin duvarlarına yapışarak tutulacaktır; diğerleri hiçbir şekilde takılmadan filtre ortamından geçecektir. Bu tip durumları açıklamak için değişik formüller vardır. Genelleştirilmiş bir formül şu şekildedir;

Sabit basınç filtasyonu için;

$$\frac{d^2t}{dV^2} = \text{const} \left(\frac{dt}{dV} \right)^q$$

Sabit oran filtrasyonu için;

$$\frac{d(\Delta p)}{dV} = \text{const} (\Delta p)^q$$

Bu denklemlerdeki q değeri 0 ile 2 arasında değişir ve engelleme hızını tanımlar. [38]

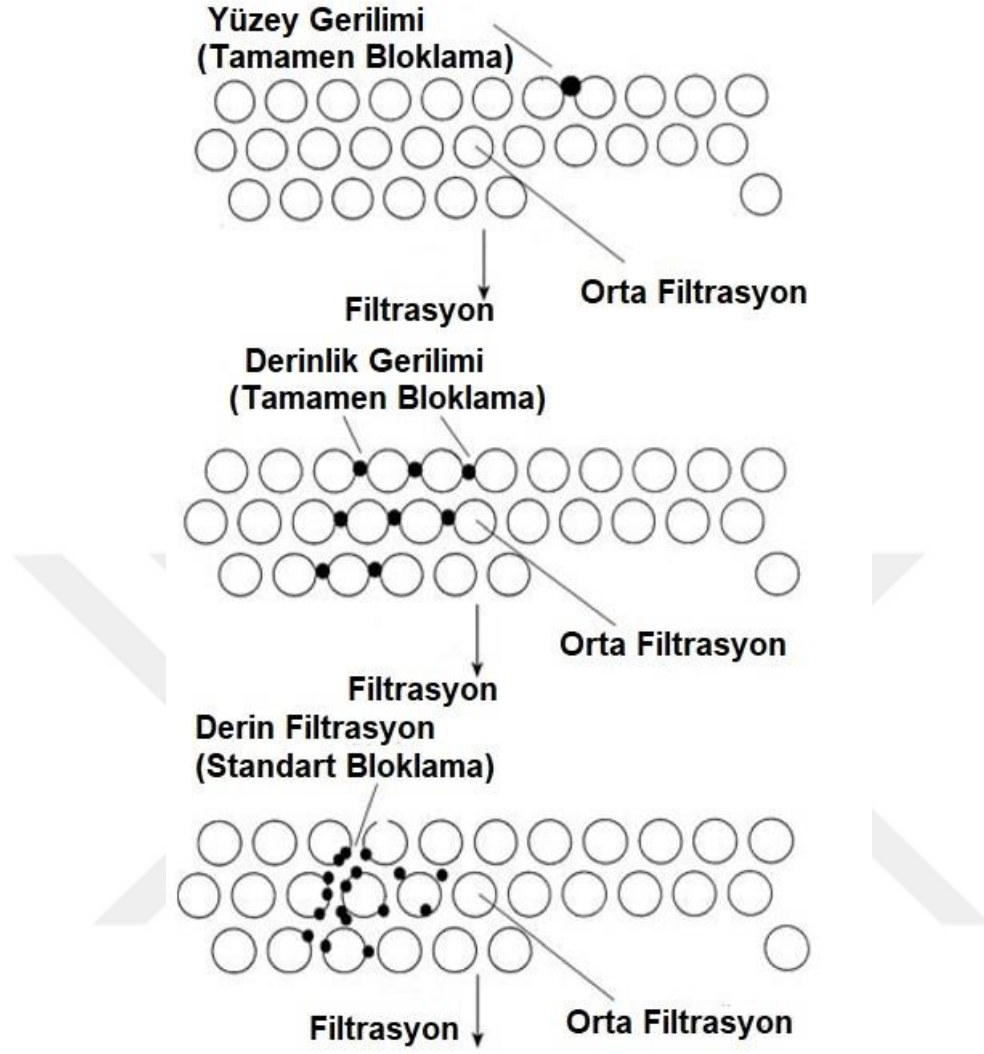
$q=0$: Kek Filtrasyon, yavaş bloklama

$q=1$: Ortalama bloklama

$q=3/2$: Standart bloklama

$q=2$: Tamamen bloklama

Yüzey gerilimi, tam bloklamamanın klasik örneğini temsil eder fakat aynı zamanda derinlik gerilimi de aynı özelliği gösterir. Buna karşılık normal derinlik filtresi (gözeneklerden çok daha küçük parçacıklar ile), azalan bir düşüşle basınç düşüşüne yol açar ve standart bloklama denklemi tarafından kaydedilebilir.

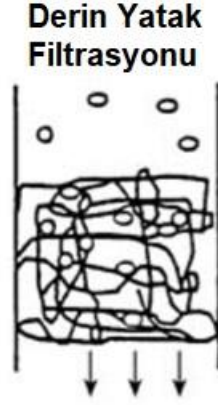


Şekil 2.21: Blok Filtrasyon Modelleri

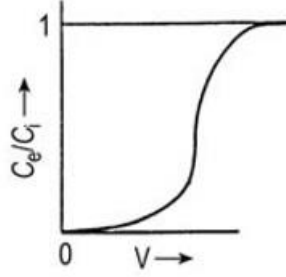
Şekil 2.21’de olası 3 blok filtrasyon modu gösterilmiştir. Yüzey Gerilimi ve Derinlik Gerilimi tam bloklama olarak tanımlanırken ($q=2$), derin filtrasyonda çok daha küçük parçacıkların likitidesi standart olarak gösterilir ($q=3/2$). [38]

Derinlik/Derin Yatak Filtrasyonu

Bu yöntemde katı parçacıklar derin bir tabakada tutulur. Bu yöntem, örneğin, koloidal parçacıkları bile muhafaza eden içme suyunun kümülasyonu için kum havuzlarında gerçekleşir. Derin yatak filtrasyonunun tipik etkisi, katıların filtre tabakasının tanelerine yapışmasıdır. Tarama etkisi ile sadece oldukça büyük parçacıklar korunur. Filtre yatağı katılarıyla doyduğunda, Yatağı terk eden filtre içindeki katı madde konsantrasyonu, gelen süspansiyon aşamasına yaklaşır. [38]



Şekil 2.22: Derin Yatak Filtrasyonu düzenek örneği [38]



Şekil 2.23: Derin yatak filtrasyonunda kılcal giriş/çıkışın hacimsel akış hızı ile ilişkisi [38]

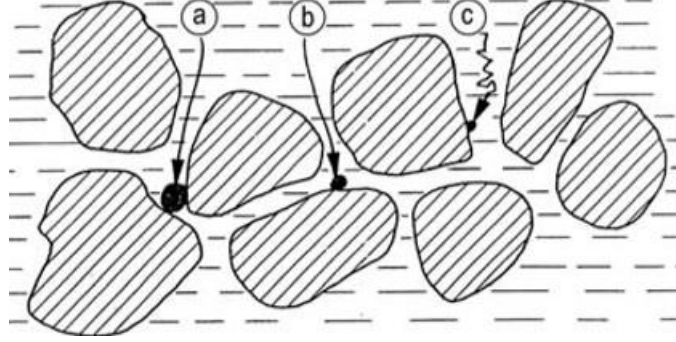
Derinlik Filtrasyonu Mekanikleri

Derinlik filtrasyonunda (yüzey filtrasyonun aksine) katı parçacıklar esas olarak filtre ortamının gözenekleri içinde birikme ile ayrılır. Orta filtre ortamı aşağıdakilerden oluşabilir;

1. 0.5-3 m'lik iri taneler yatağı
2. Birkaç cm kalınlığında bir tabaka
3. Birkaç mm kalınlıktan oluşan tabakalar
4. Bir granül filtre yardımcı tabakası

Tüm bu filtre maddeleri, tutulacak parçacıklardan daha büyük gözeneklere sahiptir. Parçacıklar gözeneklere tutunma ile ya da sterik stabilizasyonla yapışır ve birikmeleri basınç düşüşünü artırır. Bu yüzden filtre periyodik olarak temizlenmeli ya da değiştirilmelidir. Bu nedenle derinlik filtrasyonu kek filtrasyonu gibi katıları süspansiyondan geri almak için değil, çok düşük katıları olan ve çok temiz süspansiyonlar yaratmak için kullanılmalıdır. Derinlik

filtrasyonunda parçacık büyüklüğüne bağlı olarak yaygın tutma etkileri şekil 2.24'te gösterilmiştir. [38]



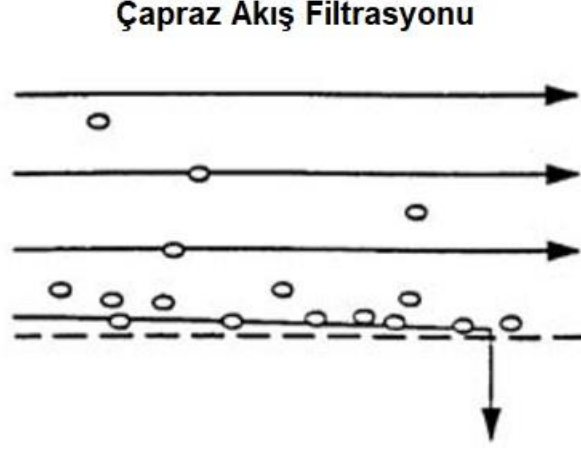
Şekil 2.24: Derinlik filtrasyonunda parçacık büyüklüğüne göre yaygın tutma şekilleri [38]

1. “a” ile gösterilen parçacıklar genellikle $>10\mu$ büyüklüğünde olup mekanik olarak filtreye takılırlar.
2. “b” ile gösterilen parçalar genellikle $1-10\mu$ büyüklüğünde olup esas olarak atalet etkilerinden dolayı katı yüzeye çarpar ve streik stabilizasyonu ve yüzey kuvvetleri nedeniyle orada tutunurlar.
3. “c” ile gösterilen parçalar genellikle $<0.1\mu$ büyüklüğünde olup difüzyon nedeniyle katı yüzeye ulaşırlar ve yüzey kuvvetlerine bağlı olarak orada kalırlar. [38]

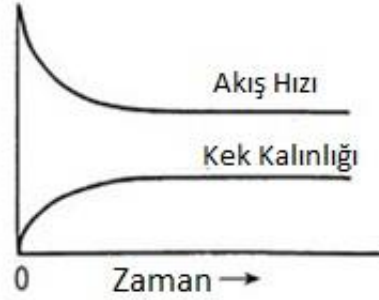
Çapraz Akış Filtrasyonu

Çapraz filtrasyonda, süspansiyon filitre orta yüzeye teğetsel olarak yüksek hızda döner ve filitre kek oluşumunu engeller. Filtre ortamından sadece az bir miktar sıvı akar. Belirli bir katı madde tabakası, filitre yüzeyindeki sınır tabakasında birikir ve filtrenin akış hızını azaltır. İlk periyottan sonra, katıların filitre yüzeyine konvektif olarak taşınması ile katıların türbülans ve difüzyon nedeniyle partiküllere etki eden hidrodinamik kuvvetler tarafından uzaklaştırılması arasında dinamik bir denge kurulmaktadır. Yüzey filtrasyonu derinlik filtrasyonunun zıttıdır. Katılar filitre ortamının yüzeyinde tutunur. Genellikle kek filtrasyonu veya bloklama filtrasyonu modelleri bu model içinde uygulanabilir. Tarama, parçacıkları belirli bir büyüklükte tutan ve küçük olanları filitre açıklıklarından geçiren bir sınıflandırma sürecini tanımlar. Çoğunlukla tarama terimi, filitre ortamı olarak bir ekran ile yüzey designrasyonunu belirtmek için de kullanılır. Etki şekli filitre ortamı temiz olduğu sürece taramayı (veya süzülmeyi) andırır, ancak katı madde tabakası oluşur

oluşmaz açıkça bir kek eriyiğidir. [38]



Şekil 2.25: Çapraz Akış Filtrasyonu düzenek örneği [38]



Şekil 2.26: Çapraz akış filtasyonu düzeneğinde akış hızı ve kek kalınlığının zaman ile ilişkisi [38]

Çapraz Akış Filtrasyonu Mekaniği

Çapraz akış filtrasyonu dinamik bir filtrasyon şeklidir. Çapraz akış filtrasyonunda ortam yüzeyinde bir filtre kekinin birikmesi, yüzeye teğet olarak (paralel) bir kuvvet tarafından engellenir. Temiz sıvı orta filtreden (çoğunlukla membran) geçer ve geçemeyen bileşenlerin daha yüksek konsantrasyonlarına sahip bir konsantre filtreden boşaltılır. Filtre üzerindeki çapraz akış genellikle 1-6 m/s aralığında doğrusal bir hıza sahiptir. Bu çapraz akış çoğu zaman süspansiyonun bir membran modülünden pompalanmasıyla elde edilir. Alternatif olarak dönen dişliler ile de sağlandığı olur. Parçacıkların ve makromoleküllerin zar yüzeyinde birikmesinin sınırlandırılması, çok yüksek partiküllerin filtrelenmesine olanak sağlar. Aksi takdirde, yüksek derecede dirençli bir kek oluşur. Mikronaltı partiküllerde bile maddeler bu prensiple zarlarla tutulabilir. Membran yüzeylerinde kesme etkisi,

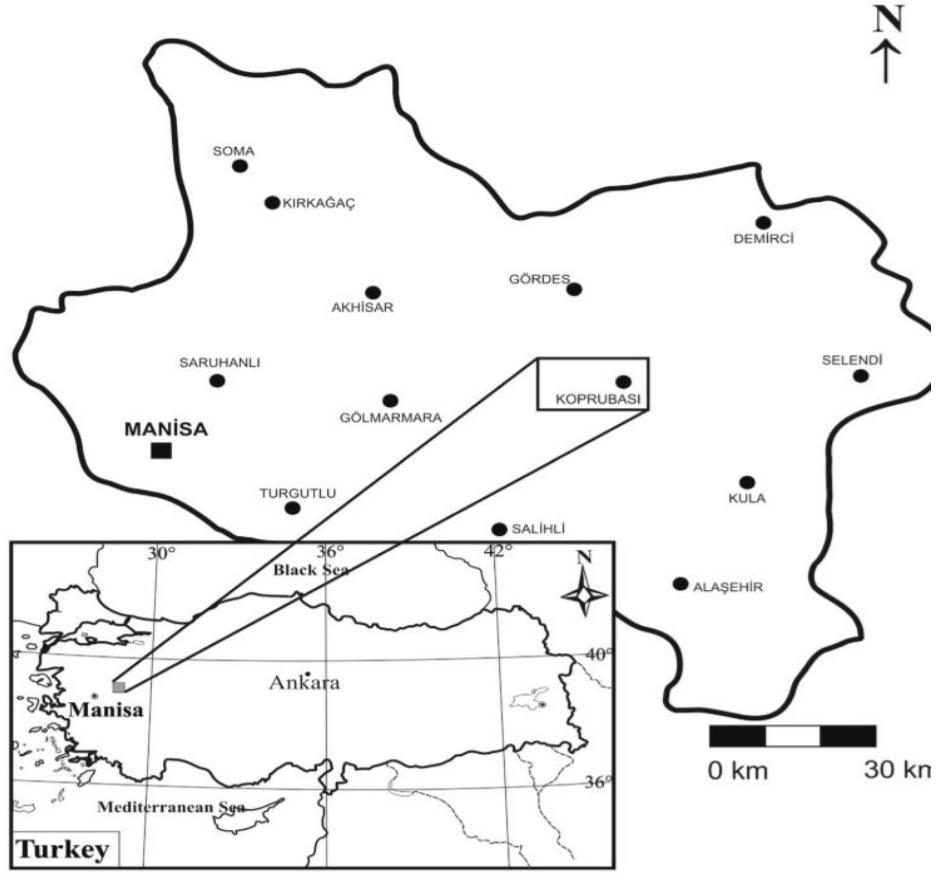
kaldırma kuvvetleri ve difüzyon işlemlerinin membrandan geri kalması nedeniyle tutulan maddenin birikmesini sınırlanır. Normal çalışmada, filtre toplanır ve konsantre edilen bileşenlerin istenen konsantrasyonu elde edilene kadar konsantre edilir veya süspansiyonun yükseltilmiş viskozitesinden dolayı pompalama daha uzun süre gerçekleştirilemez. Bu tipik üniteler bir veya daha fazla membran modülünü ve bir yeniden dolaşım pompasını içerir. [38]

Kullanılabilecek Diğer Katkı Malzemeleri

Katkı malzemeleri, çimentoyu doldurmak, ısı oluşumunu azaltmak veya sertleşmiş çimento macununu daha masif veya katı yapmak için ilave ilave edilir. Tarif edilen katkı maddesi, aynı zamanda, suyla reaksiyon halinde katı bir macun oluşturabilen bir malzeme grubu olan ve suyla temas ettirmek için Portland çimentosu veya tebeşir eklenmeden bir malzeme grubu olan puzolanlar olarak da adlandırılır. Bu materyaller için önemli bir faktör, hepsinin hidrasyonları sırasında kalsiyum hidroksit tükettiklerinden dolayı liç riskleri de azdır. Katkı maddelerinin çoğu, Portland çimentosundakiler gibi aynı oksitleri içerir. Yaygın katkı maddeleri silika dumanı, cüruf ve uçucu küldür. Harçların kendi kendini iyileştirme kabiliyeti, katkı maddesi miktarı arttığında azalır. Harç karışımındaki katkı maddesi miktarı arttığında korozyona karşı korunma da azalır. Katkı maddeleri, bazı özel çimentolama uygulamalarında kullanılır. Bazı testler, örneğin çimentoda ince taneli yüksek fırın cürufu kullanılırken, ince taneli enjeksiyon çimentolarında penetrasyonun artırılabilirliğini göstermektedir. [44]

2.3.ÇALIŞILAN BÖLGE VE JEOLJİSİ

Tez kapsamında, Manisa'nın 120 km kuzeydoğusundaki Köprübaşı/Kasar civarındaki uranyum mostralarında biriken yüzey sularından örnek alınarak radyoaktivite düzeyi nispeten yüksek olan (300 Bq/litre) radyoaktif sular ile çalışılmıştır. Bölgenin harita üzerindeki yeri şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27: Manisa Köprübaşı'nın harita üzerindeki yeri

Köprübaşındaki uranyum cevheri 1957'de Maden Tetkik Arama (MTA) bünyesinde araştırılmaya başlanıp cevherin sondajlar sonucu tam tespiti 1961 yılında olmuştur. [39]

2.3.1. Manisa Köprübaşı Jeolojisi

Köprübaşı ve komşu uranyum yatakları orta ve yüksek dereceli metamorfik temel kayalar üstüne uyumsuz olarak oturan Neojen yağlı fluvyal kayalar ile oluşurlar. Yöredeki Neojen gökel kayaları geniş bir alana yayılmış olup genellikle mikaşist ve gnays çakıllı bir temel konglomera ile başlar. Temel konglomerası linyit kapsayan kumtaşı, silttaşı ve kireçtaşları tarafından üstlenir. Çeşitli volkanitlerin, özellikle kalın tuf istiflerinin neojen sökel kayaları ile aratabakılması yaygındır. [40]

2.3.1.1. Uranyum Yataklanması

Çökel kayalar içindeki tüm uranyum yatakları üst nehir sökellerinin (üst fluvyal birim) gözenek dolgusu, çakıl ve kum tanelerini üstünde sıvamalar olarak ve

çamurtaşı, silttaşı içindeki çatlaklar boyunca dolgu şeklinde belirir. Bütün uranyum yatakları metamorfik kayalara yakın oluşurlar. Bu yatakların çoğunun uzun eksenleri eski kanal doğrultularına koşut olan uzanımlı mercceklerdir. [40]

Üst fluviyal birim alt ve orta konglomera düzeylerinde oluşan Kasar, Tonmaşa, Bozburun, Mestanlı ve Topallı yatakları sarı ve limon sarısı renktedirler. Bu yataklar süreklilik göstermeyen uranyum cevher mercceklerince karakterize edilir. Uranyum kapsayan konglomera seviyesi genellikle kötü derecelenmiş gevşek yapılı konglomera, az oranda kaba ve ince taneli kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve birkaç mm kalınlığında okside olmuş karbonlu bitki artıklarından oluşan düzeylerden ibarettir. Bu yataklar içindeki ortalama cevher yüzdesi %0.03'ten %0.04 U₈Og'e kadar değişir. Üst konglomera seviyesi içinde oluşan Tüllüce yatağı yeşilimsi ve kahvereng-gri renklerdir. Bu yatak silttaşı ve çamurtaşı ile girişli veya aratabakalı, gevşek dokulu, kötü derecelenmiş kumtaşı ve konglomera içinde gelişir. Merccek şekilli cevher yatağı çamurtaşı, marn ve silttaşı tabakaları ile alttan ve üstten çevrilmiştir. Taşlaşmış ağaç malzemesi, çürümüş karbonlu bitki artıkları bu yatak içinde gözlenir. [40]

Yalnız orta konglomera silisleşmiş tabaka kapsamaz. Üst konglomeranın çökelim özellikleri ve ana mineralojik bileşimi alt konglomeraninkine benzerdir fakat üst konglomera ek olarak bol organik malzeme kapsar. [40]

Kötü derecelenme gösteren nehir çökelleri üç boyutta ani fasiyes değişimi göstermeleri yanında yer yer kanal yapıları ve özellikle havza kısmında aluviyal konilerini kapsamaktadır. Bu özellikler yeraltı sularının çökeller içindeki akış yollarını belirlemede önemlidir. [40]

Gölsel çökeller (Lakustin birim) çalışma alanının güneyinde küçük bir alan kaplar. Bu çökellerin tabanında silisli kumtaşı ve marn yer alır. Yukarıya doğru beyaz ve yeşil renkli kil katmanları ile devam eder ve en üstte çörtlü, çakıllı kumlu beyaz renkli kireçtaşı katmanı ile son bulur. [40]

Sedimenter kayalar yapısal olarak kuzeybatı uzantılı bir senklinalin parçasıdır. Tabanda yer alan metamorfik kayaçlar ekseni çökel kayalarinkine uyumlu olan bir çöküntü havzası oluştururlar. Bu yapısal özellik, sularını havzaya boşaltan tersiyer drenaj sisteminin yönü ve yerini etkilediği gibi daha sonra havza içindeki yeraltı

sularının hareketini de etkilemiştir. Çökel kayaların eğimleri çoğunlukla yatay olup havza kıyısına doğru 20'' K'ye kadar ulaşır. [40]

Cevher tenörü %0.01'den %0.06 UaO₈'e kadar değişir. Kasar, Tomağa, Bozburun, Mestanlı, Topallı ve Tüllüce yatakları oksidasyon zonları içinde oluşmuşlardır. Bunların tümü yüzeyde görüntü verirler. [40]

Üst alüvyal birimin kumtaşı düzeyinde uranyum yatağı oluşur. Cevher yatağı yarım ay biçimli olup 4 m'lik bir ortalama kalınlığa ve %0.06 U₈O₈ tenöre sahiptir. Yatağın genişliği 130 m'den 330 m'ye kadar değişim gösterir. Kötü derecelenme gösteren kaba ve orta taneli kumtaşı ve bununla aratabakalanmış konglomeratik merccekler, çamurtaşlarından ve siltaşlarından oluşmaktadır. [40]

Yatak bol pirit kapsayan uranyumca zengin birçok süreksiz mercceklerden oluşur. Kumtaşı içindeki bu cevher merccekleri bol siderit kapsayan düşük tenörlü uranyum mineralleşmesiyle birbirlerine bağlantılıdır. Uranyum yatağı 90 m ve derinlerdeki indirgen kumtaşı düzeylerinde gelişmiştir. [40]

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞILAN YÖNTEMLER

Mineral bazlı kompozit filtre çalışması sırasında ideal filtrenin yapılması için iki ana kriter belirlenmiştir. Bunlardan ilki filtrenin sağlamlığı ve ikincisi kullanılan katkı malzemesi miktarının radyoaktiviteyi tutabilme oranıdır.

İlk kriterin deneylerle belirlenmesine yönelik olarak, filtrenin sağlamlığının belirlenmesi için filtreye eşdeğer hazırlanan silindirik örneklerle tek eksenli basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Deneyler kapsamında filtre içerisinde kullanılan tüm katkı malzemeleri (bentonit, diatomit, kaolen ve zeolit), filtrenin içerisinde kullanılan kuvars kumunun içerisine farklı yüzdelerde (%10, %20 ve %30) karıştırılmış ve hazırlanan numuneler 3, 7 ve 28 gün bekletilip İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü kapsamındaki laboratuvarında, EMCK 200 markalı tek eksenli basma makinesinde kırılarak kırılma dayanımları elde edilmiştir. Ayrıca referans malzeme oluşturması için sadece kuvars kumu kullanılarak katkısız örnekler hazırlanmıştır. Tek eksenli basma deney sonuçları karşılaştırılarak sağlam bir filtre elde etmek için filtrenin içerisindeki katkı miktarı belirlenmiştir.

İkinci kriterin deneylerle belirlenmesine yönelik olarak, kompozit filtreye eklenen katkı tür ve miktarlarının radyoaktiviteyi tutma potansiyellerini ölçmek için; yapılan literatür araştırması sonucunda süzme düzeneği kullanılması uygun görülmüştür. Süzme düzeneği olarak Borucam Laboratuar ve İnşaat Malzemeleri San. ve Ltd. Şti. firmasının NS 40/38 kodlu süzme düzeneği kullanılmıştır. Deney kapsamında filtre içerisinde kullanılan tüm katkı malzemeleri (bentonit, diatomit, kaolen ve zeolit), filtrenin içerisinde kullanılan kuvars kumunun içerisine farklı yüzdelerde (%10, %20 ve %30) karıştırılmış ve tüm numuneler için düzenekte kullanılmak üzere 1 cm kalınlığında farklı plakalar elde edilmiştir. Bu plakalar deney düzeneğine yerleştirilerek radyoaktif sıvı deney düzeneğine beslenmiş ve hazırladığımız filtre plakalarından geçmesi sağlanmıştır. Sıvının ilk radyoaktivitesi ile kompozit filtreden geçirildikten sonraki radyoaktivitesi ölçülerek kompozit katkı tür ve oranlarının sıvıdaki radyoaktiviteyi azaltma düzeyleri tespit edilmiştir.

3.1.1. Filtre Sağlamlığı Testi

Filtrenin sağlamlığı için daha önce bahsedilen ECS Grup'un EMCK 200 markalı tek eksenli basma cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1: Tek eksenli basma deney düzeneği

Filtrenin sağlamlığının test edilmesi için tek eksenli basma deneyinde kullanılacak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, hazırlanacak plakalarla uyumlu olması açısından en olarak 4,5 cm seçilmiş olup yapılan literatür araştırmaları sonucunda ideal en boy oranının 1/2 olduğu görülerek numunelerin boyutları (çapı en:45mm ve boy:90 mm olarak) belirlenmiştir.

Numunelerin boyutları belirlendikten sonra içeriğine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan literatür taramaları ve sektörden kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda su/çimento oranı 1/2 ve toplam su çimento oranının diğer katkı maddelerine oranının 1/1 olduğu görülerek bu oranlar alınmıştır. Dolayısıyla oluşturulan örneklerimizde 1/6 oranında su, 2/6 oranında çimento ve 3/6 oranında katkı malzemesi (kuvars kumu+kil) olacak şekilde hazırlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen malzeme oranları belirlenirken, su çimento ile katkı malzemesi

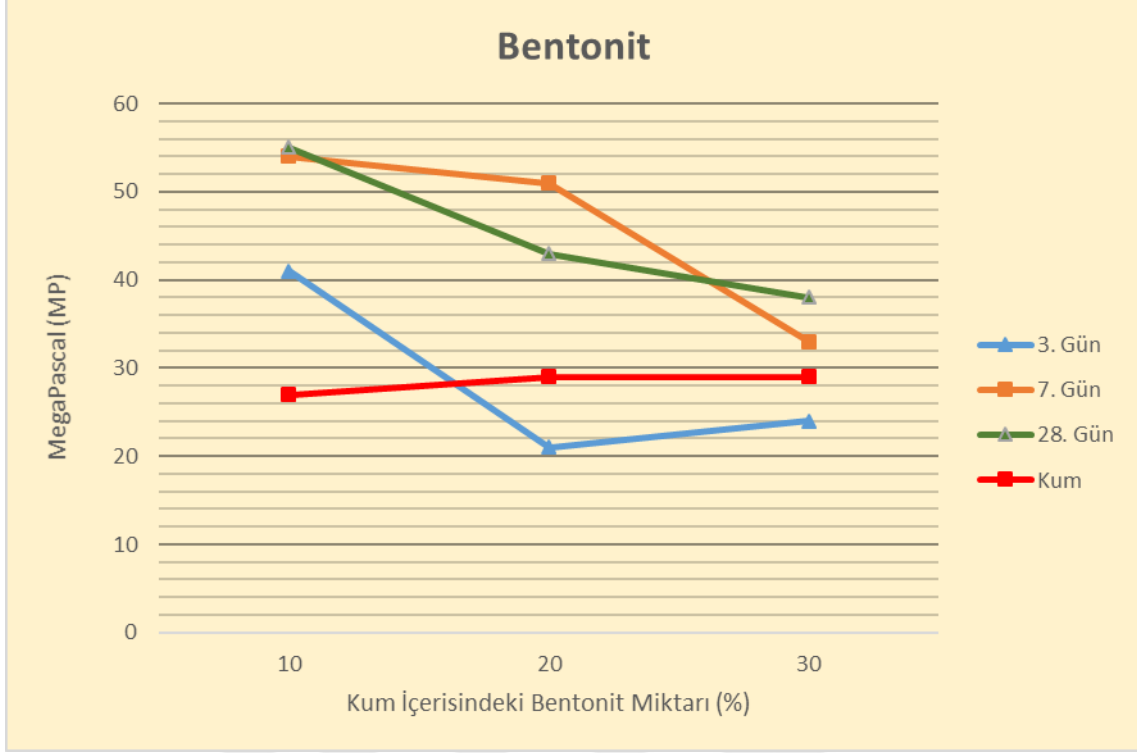
oranları ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu ayrımın temel sebebi beton mukavemetinin düşmemesi için 1/2 olan su-çimento oranı ve 1/1 olan su-çimento oranının katkı malzemesine oranında değişiklik yapılamayacak olmasıdır. Bu sebeple filtre içerisinde radyoaktiviteyi düşürmek için eklenecek olan mineraller, yukarıda 3/6 olarak belirtilmiş olan katkı malzemesi oranı içerisinde yer almıştır. Numunenin hacimce %50 sini oluşturan (yukarıda 3/6 olarak belirtilmiştir) filtredeki kuvars kumu oranının %10, %20 ve %30'u oranında kil kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm numuneler ve içerikleri tablo 3.1'de verilmiştir.

	Su	Çimento	Kuvars Kumu	Bentonit	Diatomit	Kaolen	Zeolit
Numune 1	16,67	33,3	50				
Numune 2	16,67	33,3	45	5			
Numune 3	16,67	33,3	40	10			
Numune 4	16,67	33,3	35	15			
Numune 5	16,67	33,3	45		5		
Numune 6	16,67	33,3	40		10		
Numune 7	16,67	33,3	35		15		
Numune 8	16,67	33,3	45			5	
Numune 9	16,67	33,3	40			10	
Numune 10	16,67	33,3	35			15	
Numune 11	16,67	33,3	45				5
Numune 12	16,67	33,3	40				10
Numune 13	16,67	33,3	35				15

Tablo 3.1: Numunelerin yüzdece içerik oranı

Tablo 3.1'de belirtilen 13 adet içeriği farklı numune tipi oluşturulduktan sonra killerin artan yüzdelerdeki eğilimlerini görmek ve aralarında kıyaslamak amacıyla TS 500 ve TS EN 12390 standartlarına göre 3 gün, 7 gün ve 28 günlük kürlenme süreleri sonunda kırılmak üzere numuneler dökülmüştür. [41] [42]

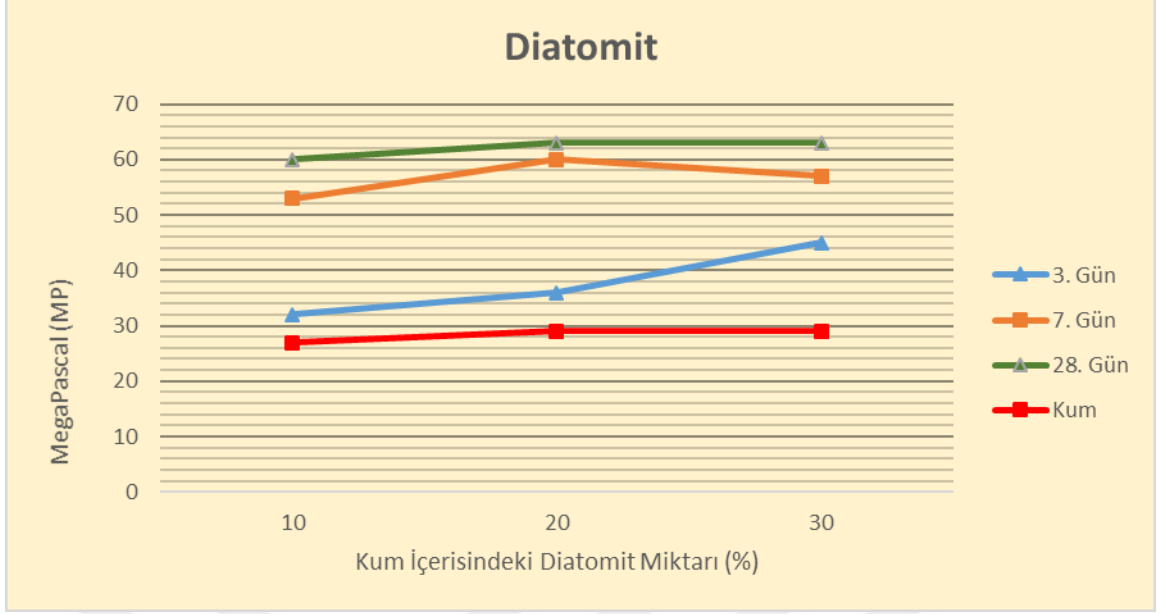
Tüm numuneler hazırlandıktan sonra farklı kil yüzdeleri içeren numuneler 3, 7 ve 28 günlük kürlenme süreleri dolduktan sonra tek eksenli basma dayanımı testine tabi tutularak kırılmıştır. Numunelerin kırıldıkları MegaPascal (MPa) değerleri kaydedilerek bu veri üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Killerin farklı kürlenme sürelerindeki mukavemetlerini gösteren tabloları kum (içerisinde kil barındırmayan, yalnızca kuvars kumu olan numune) referansı ile karşılaştırmalı olarak tablo 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki bentonitin zamana göre mukavemeti

Bentonit katkılı kompozit filtre malzemesinin tek eksenli basınç dayanım deney verilerine göre; %10 bentonit katkısı eklendiğinde 3, 7 ve 28 günlük kürlenme sonrası dayanımlarının sırasıyla 41, 54 ve 55 MPa değerlere çıktığı belirlenmiştir. Oysa bentonit katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin dayanımı 30 MPa altında bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre %10 bentonit katkısı kompozit malzemenin dayanımını en yüksek değer olan 28 günlük kür sonrasında $(55-30/30) \times 100 = \%83,3$ oranında artırmaktadır.

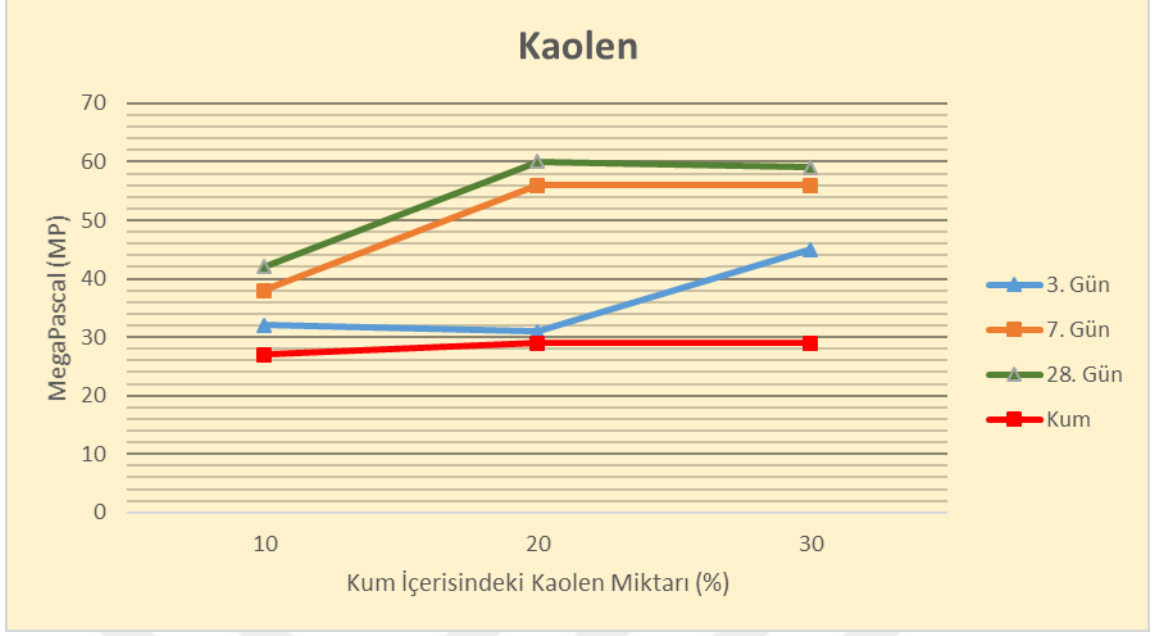
Benzer şekilde, %20 ve %30 bentonit katkısının 3,7 ve 28 günlük kürlenme süresi sonundaki dayanımlarını değerlendirdiğimizde ise; 3 günlük değerlerin dayanımlarında düşüş olurken 7 ve 28 günlük dayanımların bentonit katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin 7 ve 28 günlük dayanımından daha iyi olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre %20 bentonit katkısı kompozit malzeme için en yüksek dayanım, 7 günlük kür sonrası elde edilmiş olup 51 MPa değeridir. Bu değer %10 katkı ile elde edilen değerden düşük kalmıştır. Bu deney sonuçlarına göre, %10 bentonit katkısı kompozit malzemenin dayanımına en olumlu etkiyi oluşturmaktadır.



Şekil 3.3: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki diatomitin zamana göre mukavemeti

Diatomit katkılı kompozit filtre malzemesinin tek eksenli basınç dayanım deney verilerine göre; %10 diatomit katkısı eklendiğinde 3, 7 ve 28 günlük kürlenme sonrası dayanımlarının sırasıyla 32, 53 ve 60 MPa değerlere çıktığı belirlenmiştir. Oysa diatomit katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin dayanımı 30 MPa altında bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre %10 diatomit katkısı kompozit malzemenin dayanımını en yüksek değer olan 28 günlük kür sonrasında $(60-29/29) \times 100 = \%107$ oranında artırmaktadır.

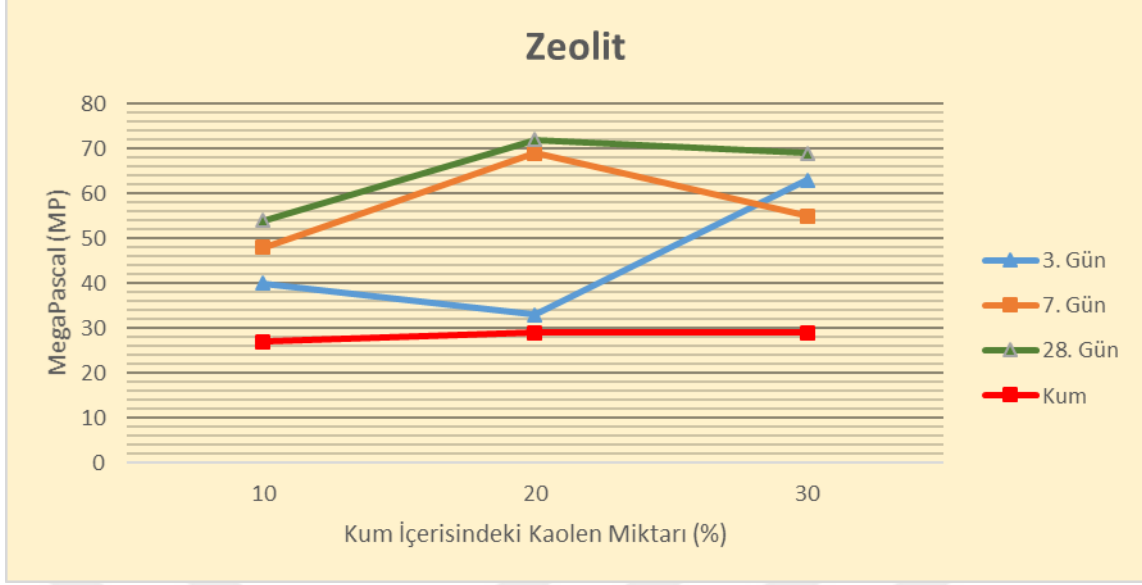
Benzer şekilde, %20 ve %30 diatomit katkısının 3,7 ve 28 günlük kürlenme süresi sonundaki dayanımlarını değerlendirdiğimizde ise; 3 günlük değerlerin dayanımlarında düşüş olurken 7 ve 28 günlük dayanımların diatomit katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin 7 ve 28 günlük dayanımından daha iyi olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım %20 diatomit katkısı kompozit malzemedede ve 28 günlük kür sonrası elde edilmiş olup 63 MPa değeridir. Bu deney sonuçlarına göre, %20 diatomit katkısı kompozit malzemenin dayanımına en olumlu etkiyi oluşturmaktadır.



Şekil 3.4: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki kaolenin zamana göre mukavemeti

Kaolen katkılı kompozit filtre malzemesinin tek eksenli basınç dayanım deney verilerine göre; %10 kaolen katkısı eklendiğinde 3, 7 ve 28 günlük kürlenme sonrası dayanımlarının sırasıyla 32, 38 ve 42 MPa değerlere çıktığı belirlenmiştir. Oysa kaolen katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin dayanımı 29 MPa bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre %10 diatomit katkısı kompozit malzemenin dayanımını en yüksek değer olan 28 günlük kür sonrasında $(42-29/29) \times 100 = \%44.8$ oranında artırmaktadır.

Benzer şekilde, %20 ve %30 diatomit katkısının 3,7 ve 28 günlük kürlenme süresi sonundaki dayanımlarını değerlendirdiğimizde ise; 3 günlük değerlerin dayanımlarında artış olduğu ve 7 ve 28 günlük dayanımların kaolen katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin 7 ve 28 günlük dayanımından çok daha iyi olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım %20 kaolen katkısı kompozit malzeme ve 28 günlük kür sonrası elde edilmiş olup 60 MPa değeridir. Bu deney sonuçlarına göre, %20 kaolen katkısı kompozit malzemenin dayanımına en olumlu etkiyi oluşturmaktadır.

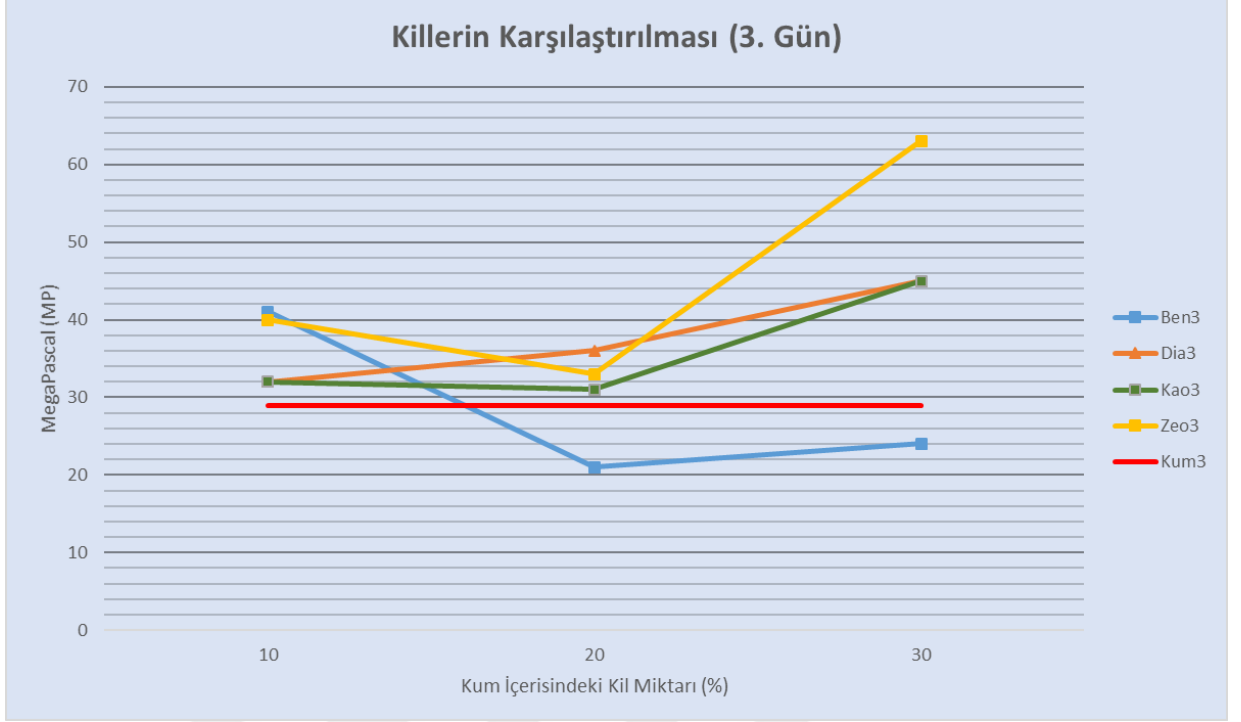


Şekil 3.5: Kuvars kumu içerisinde farklı yüzdelerdeki diatomitin zamana göre mukavemeti

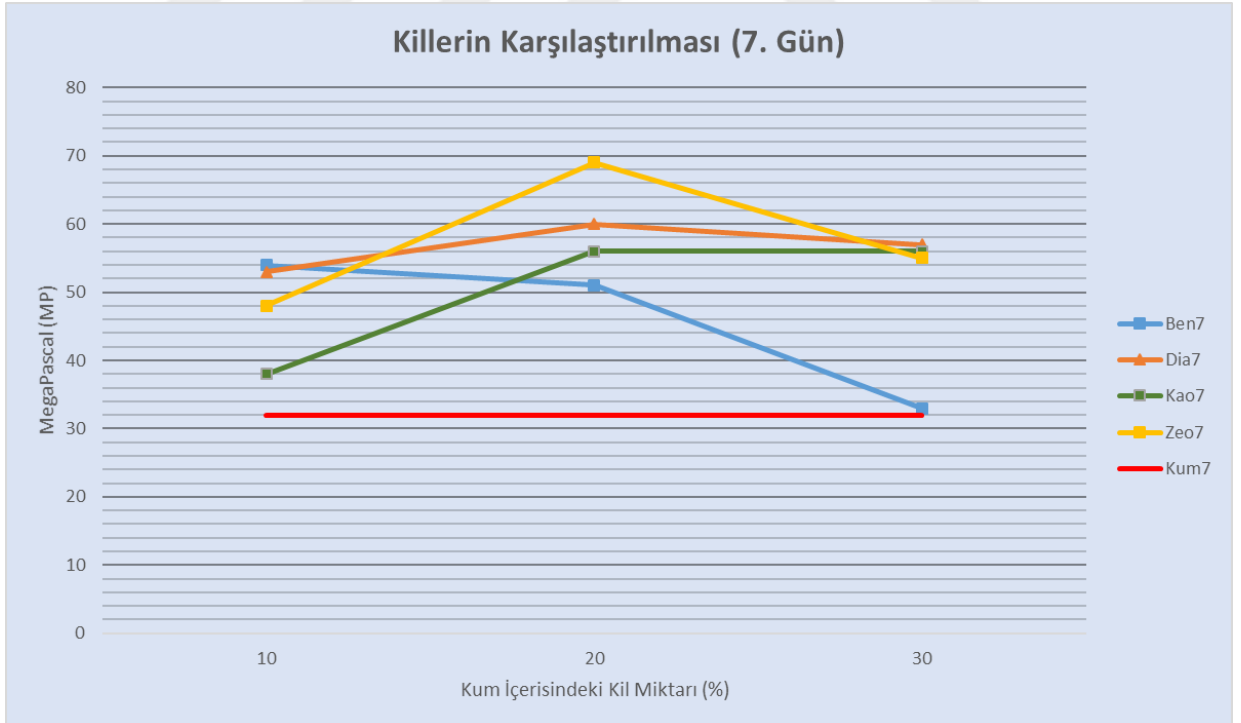
Zeolit katkılı kompozit filtre malzemesinin tek eksenli basınç dayanım deney verilerine göre; %10 zeolit katkısı eklendiğinde 3, 7 ve 28 günlük kürlenme sonrası dayanımlarının sırasıyla 40, 48 ve 54 MPa değerlere çıktığı belirlenmiştir. Oysa zeolit katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin dayanımı 29 MPa bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre %10 diatomit katkısı kompozit malzemenin dayanımını en yüksek değer olan 28 günlük kür sonrasında $(54-29/29) \times 100 = \%86$ oranında artırmaktadır.

Benzer şekilde, %20 ve %30 diatomit katkısının 3,7 ve 28 günlük kürlenme süresi sonundaki dayanımlarını değerlendirdiğimizde ise; 7 ve 28 günlük dayanımların gerek 3 günlük kür sonrası değerlerden gerekse zeolit katkısı olmayan sadece kum içeren kompozit malzemenin 7 ve 28 günlük dayanımından çok daha iyi olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım %20 zeolit katkısı kompozit malzeme ve 28 günlük kür sonrası elde edilmiş olup 72 MPa değeridir. Bu deney sonuçlarına göre, %20 zeolit katkısı kompozit malzemenin dayanımına en olumlu etkiyi oluşturmaktadır.

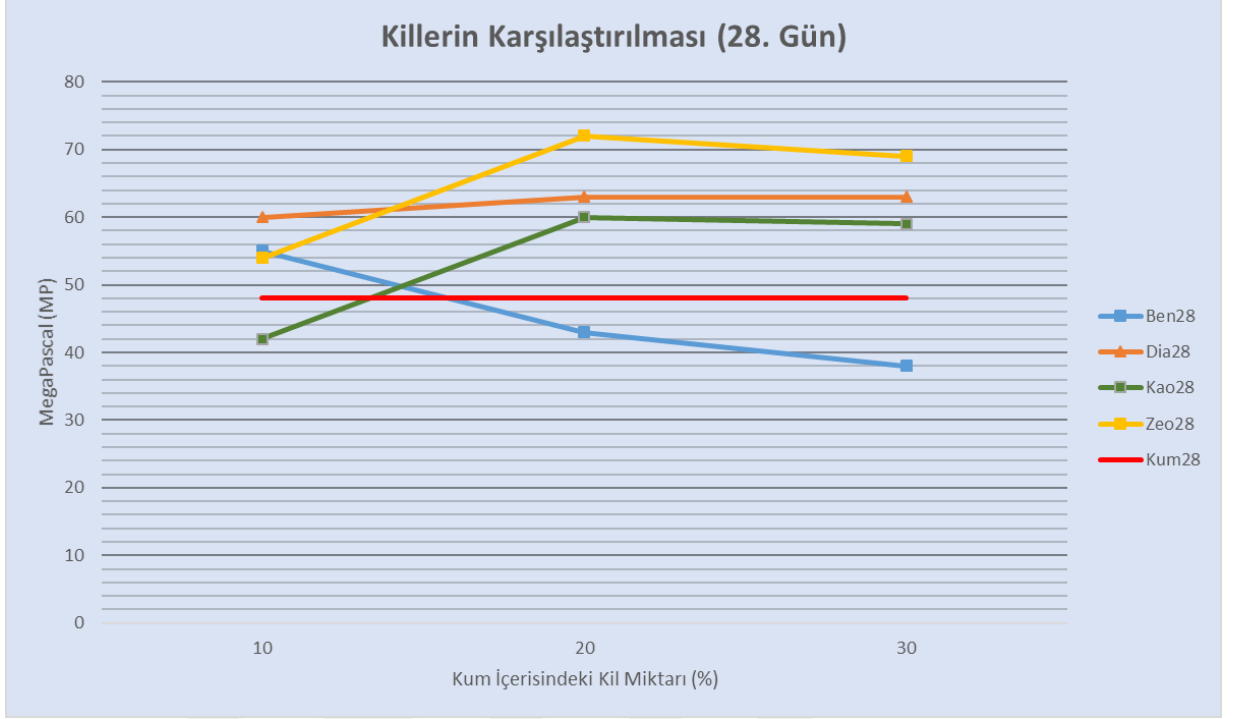
Tüm veriler elde edildikten sonra killerin 3. gün, 7. gün ve tam kürlenmeden sonraki (28. günden sonra) dayanımları karşılaştırılmıştır. Killerin 3,7 ve 28 günlük kürlenmeden sonraki karşılaştırması şekil 3.6, 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Farklı yüzdelerde kil içeren numunelerin 3. gündeki dayanımlarının kum referansı ile karşılaştırılması



Şekil 3.7: Farklı yüzdelerde kil içeren numunelerin 7. gündeki dayanımlarının kum referansı ile karşılaştırılması



Şekil 3.8: Farklı yüzdelerde kil içeren numunelerin 28. günden sonraki dayanımlarının kum referansı ile karşılaştırılması

3.1.2. Katkı Malzemelerinin Radyoaktiviteyi Tutma Oranı Etkisi

Mineral bazlı kompozit filtre deneysel çalışması sırasında iyon değişim kapasitesi yüksek killerin radyoaktiviteyi tutma oranına etkisi ve hangi kil katkı oranında radyoaktif sıvının radyoaktivite düzeyini ne kadar azalttığı belirlenmiştir. Bu işlem sırasında bir süzme düzeneği ve hazırlanmış olduğum kompozit filtre örnekleri kullanılmıştır. Deneyler sırasında Borucam Laboratuar ve İnşaat Malzemeleri San. ve Ltd. Şti. firmasının NS 40/38 kodlu süzme düzeneği kullanılmıştır. Kullanılan süzgeç düzeneğinde halihazırda olan ve geçirimsizlik hızı itibariyle bizim filtrelerimize de benzeyen filtre kısmı incelenmiş, sıvıyı geçirme süresi değerlendirilerek uygun olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda filtre plakalarının da orijinal deney düzeneğine yakın olarak 1 cm olması kararlaştırılmıştır. Dolayısıyla dökülen tüm numunelerimiz çapı 4.5 cm ve kalınlığı 1 cm olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney düzeneğini şekil 3.7’de, deney düzeneğinde kullanılan filtre plakalarını ise şekil 3.8’de görebilirsiniz.



Şekil 3.9: Deneyler sırasında kullanılan deney düzeneği



Şekil 3.10: Deneyler sırasında kullanılan filtreler

Deneylerde hazırlanmış olduğum deney düzeneğine uygun olacak şekilde deneylerde kullanılacak her katkı malzemesi türü (Bentonit, Diatomit, Kaolen, Zeolit) için kuvars kumunun %10, %20 ve %30'u yerine geçecek oluşturacak şekilde toplamda 12 adet 1*4.5 cm'lik kompozit filtre numuneleri hazırlanmıştır.

Numuneler hazırlandıktan sonra Manisa Köprübaşı'ndan alınan radyoaktivitesi yüksek yüzey suyu örnekleri 100 ml olmak üzere ayrılmış ve deneye hazırlanmıştır.

Deneyler sırasında hazırlanan plakalar düzeneğe sabitlenmiş, deney düzeneğine girmeden ölçümü yapılmış yüzey suları eşit ölçüm koşulları olması bakımından filtreden geçtikten sonra aynı tüpe alınıp ölçüm sırasındaki uzaklık parametresi değişken olmaktan çıkartılmıştır.

Deneylerde filtrasyon sonrası radyoaktivitedeki azalma miktarını belirlerken doz

değerini ölçerek ve daha sonra bu değeri aktiviteye çevirerek hesaplanmıştır. Bunun için beslemedeki radyoaktivite değeri olarak 300 Bq kullanıldığından ve bu radyoaktif sıvıyı nokta kaynak olarak kabul ettiğimizde 1 cm mesafedeki doz değeri 43 μ R/saat olmaktadır. Filtrasyon sonrası benzer şekilde bu defa geçen sıvının doz değerini ölçerek radyoaktiviteye dönüştürüp ne kadar kısmının filtrede tutulduğunu hesaplanmıştır.

Doz ölçümleri için CsI dedektörlü Radeye SPRD portatif spektrometre kullanılmıştır. Kullanılan radyasyon ölçüm cihazı şekil 3.12’de görülmekte ve radyasyon hesaplamalarında kullanılan programda Şekil 3.12’de verilmektedir.



Şekil 3.11: Radeye SPRD portatif spektrometre

RAD PRO CALCULATOR

ISOTOPE DECAY DOSE RATE & ACTIVITY U & PU GRAMS CONVERSIONS URANIUM ENRICHMENT MDC/MDA

GAMMA EMITTERS BETA EMITTERS BREMSSTRAHLUNG X-RAY DEVICES ALARA INVERSE SQUARE LAW

Select Calculation
 Activity and Dose-Rate Shield Thickness

Enter Item ID
 BERK ÖZER

Select Isotope (Point Source) **Includes daughter isotopes.**
 U-238

Select Dose-Rate Units
 uR/hr

Select Activity Units
 Bq

Select Distance Units
 Centimeters

Select Activity Calculation
 Activity to Dose-Rate
 Dose-Rate to Activity

Enter Activity
 300 Bq

Enter Distance
 1 cm

Calculated Dose-Rate
 43,0618491442729 uR/hr

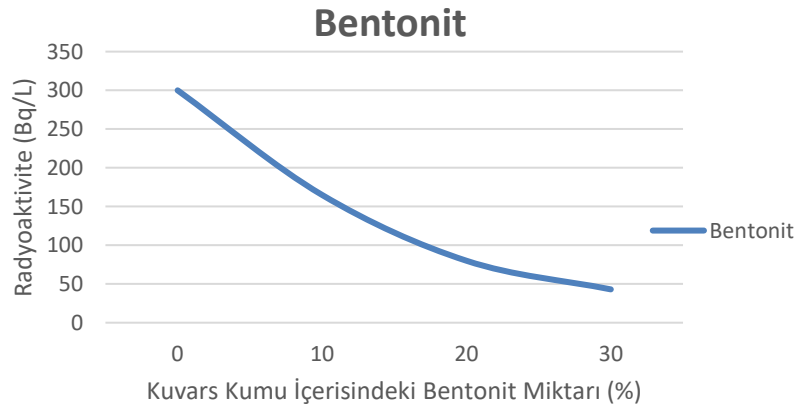
Add Shielding

300 Bq of U-238 at 1 Centimeters

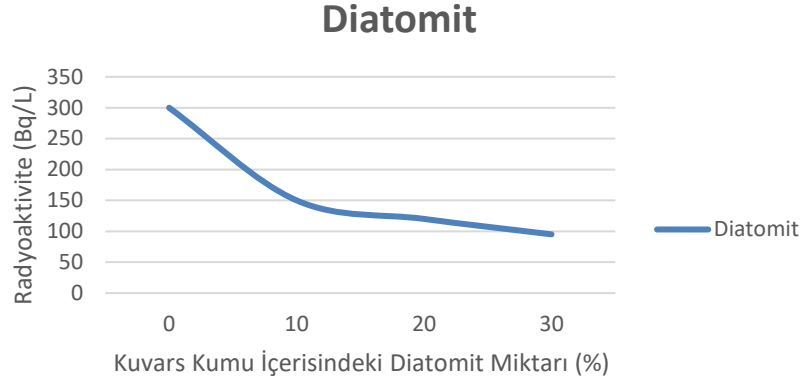
Calculate Start Excel Show Workbook Exit

Şekil 3.12: Hesaplamalarda kullanılan RAD Pro doz hesap programı

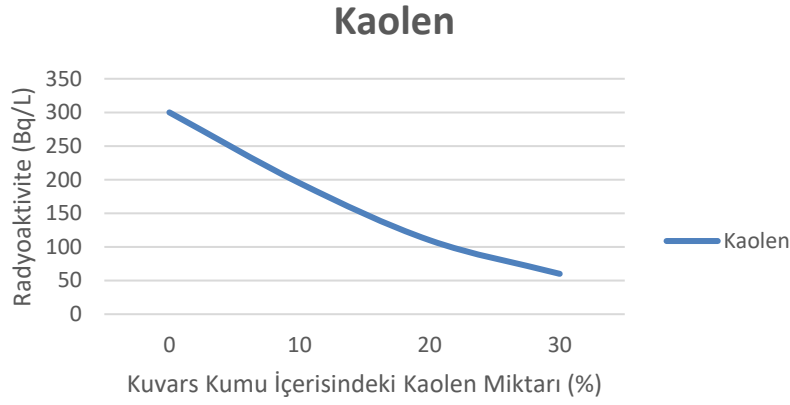
Deneme amaçlı kil içermeyen, katkı olarak yalnızca kuvars kumu içeren örnek de hazırlanmıştır fakat radyasyon içeren sıvıya etkisinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kil içeren numunelerin, kendi içlerinde farklı yüzdelerinin karşılaştırmalarını ve kil içeren numunelerin karşılaştırılması tablo 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15’de görülebilir.



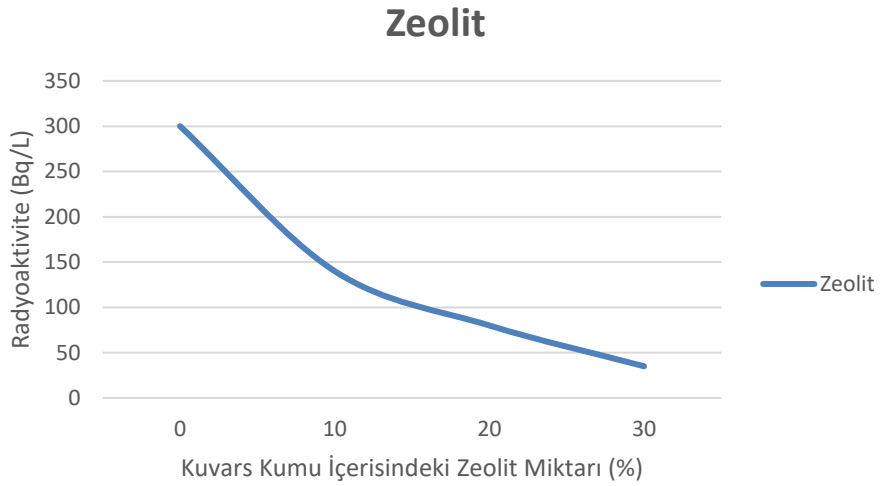
Şekil 3.13: Farklı yüzdelerde bentonit içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı



Şekil 3.14: Farklı yüzdelerde diatomit içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı



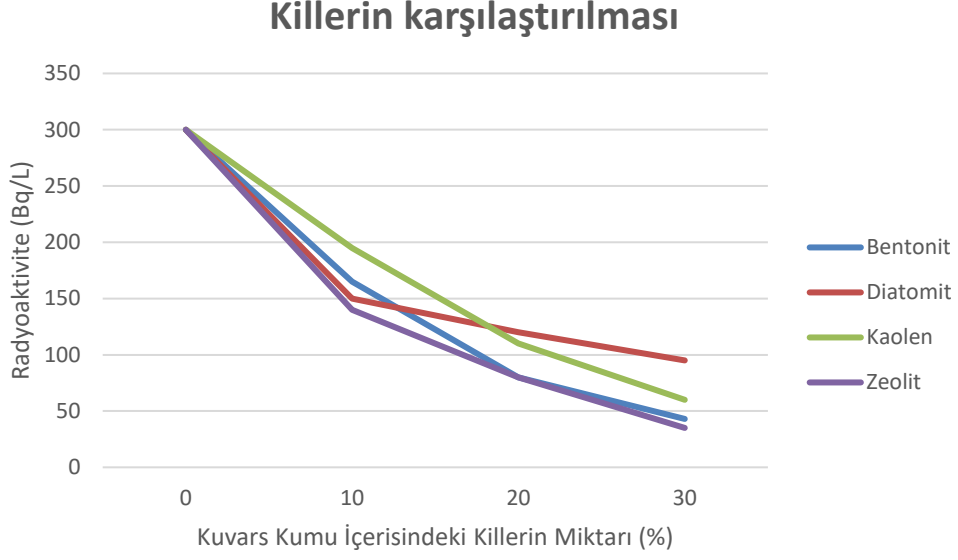
Şekil 3.15: Farklı yüzdelerde kaolen içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı



Şekil 3.16: Farklı yüzdelerde kaolen içeren numunelerin radyasyonu azaltma miktarı

Killer için gerekli veriler elde edildikten sonra verimlilik açısından kıyaslamak için

veriler aynı tabloda toplanmıştır. Killerin radyasyonu azaltma miktarlarını gösteren tablo, tablo 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.17: Çalışılan killerin radyoaktivite azaltma performanslarının karşılaştırılması

4. VERİLERİN YORUMLANMASI VE SONUÇ

Tez kapsamında, uranyum atık suları için mineral bazlı kompozit filtre araştırması yapılması amaçlanmıştır. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda mineral olarak katyon değişim kapasitesi yüksek olan Bentonit, Diatomit, Kaolen ve Zeolit killeri katkı malzemesi olarak tercih edilmiştir. Bu killeri ile deney kapsamında iki parametre üzerinde çalışılmıştır. Kompozit filtrenin dayanıklılığı ve radyoaktiviteyi tutma miktarı. Deneyler için farklı boyutlarda numuneler, filtre örnekleri dökülmüş ve bu örnekler üzerinde çalışılarak sonuca varılmaya çalışılmıştır. Yapısında bu killeri barındıran filtreler için yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Katkı malzemelerinin sağlamlık yönünden karşılaştırılması için tek eksenli basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Bu test sırasında filtre bileşimindeki kuvars kumunun içerisine farklı oranlarda kil katılarak optimum sağlamlık parametresi bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucu görülmüştür ki kuvars kumu içerisindeki kil oranı yüzde 20'nin üzerine çıktığında kilin kompozit malzemeye kattığı sağlamlıktan feragat edilmeye başlanmıştır. Bölüm 3.1.1.'de verilen ve killerin tek eksenli basma dayanımı performanslarını karşılaştıran şekil 3.8'de de net olarak görülebileceği gibi içerisine Diatomit, Kaolen ve Zeolit katılan numune örneklerinin hepsi, katkı maddesi olarak yalnızca kuvars kumu kullanılan numunelerden fazla dayanım sağlamıştır ve bu dayanımın pik noktası yüzde 20 eşliğidir. Yüzde 20'den yüzde 30'a geçilip numuneler içerisindeki kil oranını arttırdığımızda ise bu dayanımın düşmeye başladığını görüyoruz. Bu numuneler içerisindeki tek istisna Bentonit olup, Bentonit kili içeren numunelerin içerisindeki bentonit miktarı arttıkça dayanımlarını kaybettiklerini ve numunelerde bir pik noktası yakalayamadığımızı görüyoruz. Bentonit miktarı arttıkça dayanım bu orana ters bir şekilde sürekli bir düşüş göstermektedir. Dolayısıyla sağlamlık açısından killeri karşılaştırmak ve yorumda bulunmak istersek, dayanımı düşüren Bentonit örneğini dışarıda bırakarak Diatomit, Kaolen ve Zeolit killerinin her birisi için kompozit malzememizde optimum sağlamlığı sağlamak açısından kuvars kumunun hacimce yüzde 20'si oranında (tüm numune içerisinde hacimce yüzde 10) kullanılmasının en iyi sonuç verdiğini söyleyebiliriz. Ayrıca Zeolit numunelerimizin de (7. gün sonunda ve kürlenmesini tamamladığı 28. gün sonunda) Diatomit ve

Kaolen killere göre yüzde 10-12 daha fazla dayanım sağladığı görülmüştür.

- Deneylerin ikinci kısmında farklı killeri içeren filtrelerin radyoaktiviteyi azaltma performanslarına bakılmış ve killer birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bunun yapılabilmesi için bölüm 3.1.2.'de açıklanan laboratuvar tipi süzgeç düzeneği ve döktüğümüz filtre numunelerimiz kullanılmıştır. Her bir kilden, farklı oranlarda kil içeren 3 numune olmak üzere toplam 12 filtre numunesi ile 100'er mL ve 300 Bq radyoaktivite içeren sıvı ile süzme deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda tablo 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15 elde edilmiştir. Elde edilen tablolardan ve bu tablolardaki verileri kullanarak killerin radyoaktivite azaltma oranlarını karşılaştıran şekil 3.15 elde edilmiştir. Bu tablolardan da görüleceği üzere; killerin radyoaktivite azaltma miktarları, filtre içerisindeki kil oranına ters oranda artmaktadır. Yani filtre içerisinde kullandığımız kil miktarı arttıkça filtrenin süzme özelliği artmakta fakat azalarak artan bir eğilim göstermektedir. Kullandığımız 4 kilin ortalamalarına baktığımızda katkı oranının yüzde 10'u kil olan filtrelerin radyoaktivite miktarını yüzde 40-50 aralığında azalttığını, kil miktarı katkı oranının yüzde 20'si olan filtrelerde radyoaktivite azaltma ortalamasının yüzde 65-70 ve kil miktarı katkı oranının yüzde 30'u olan filtrelerde ise bu oranın yüzde 80-85 aralığında olduğu görülüyor. Dolayısıyla verileri birleştirdiğimizde filtrenin içerisine girdiğimiz kil miktarının radyoaktiviteyi azaltmakta kesinlikle işe yaradığını fakat bu kil miktarını arttırmanın radyoaktiviteyi azaltmakta aynı verimlilikte olmadığını söyleyebiliriz. Azaltılmak istenen radyoaktivite miktarına bağlı olarak çokça tercih sebebi olabilecek ve değişkenlik gösterebilecek bir veri olsa da verimlilik açısından incelendiğinde optimum faydanın yüzde 15-25 aralığında olduğu söylenebilir. Ayrıca bu deneylerde zeolit ve bentonit yüzde 10-15 bandında daha iyi verim vermiştir.

Bu veriler ışığında elimizde filtre içerisindeki kil miktarının, filtrenin sağlamlığına ve radyoaktivite azaltma miktarına etkisi olmak üzere 2 adet parametre incelenmiştir. Bir filtrenin nasıl olması gerektiği, seçme kriterleri bakımından kullanılan bölgeye ve kullanılmak istenen amaca göre veya endüstriyel amaçlarla kullanılıyorsa herhangi bir endüstriyel sebebe göre (ekonomi veya malzemelerin bulunma, gerekli kalitede malzemeyi temin etme vs gibi) çok fazla değişkenlik gösterse de yalnızca üzerinde

çalıştığımız 2 değişkenin verimlilikleri üzerinden bir çıkarım yapılmıştır.

Dayanım açısından kil katkı miktarının filtrenin içerisine yüzde 20'den fazla olduğunda kilin dayanımı düşmekte ve istenilen sonuçlardan uzaklaşmaktadır. Radyoaktivite azaltma performansına bakıldığında ise bu durumun tersi bir sonuç elde edilmiştir. Dayanımda kil miktarı arttığında dayanım düşmesine rağmen radyoaktiviteyi azaltmak için kil miktarını arttırmak gerekmekte olduğu yaptığımız deneylerden ortaya çıkmaktadır. Numunelerdeki kil miktarını arttırdığımızda radyoaktivite azaltma miktarı artmasına rağmen yukarıda da değinildiği gibi bu azalma aslında beklenenden daha düşük gerçekleşmektedir. Katkı malzemesine yüzde 20'den fazla girdiğimiz kil miktarı için radyoaktiviteyi düşürme miktarı oldukça düşük kalmaktadır. Kil miktarı yüzde 0'dan yüzde 10'a çıkarken radyoaktiviteyi azaltma verimi yaklaşık yüzde 40-50 artarken, bundan sonraki katkı miktarı artışları verim üzerinde daha az etkili olmaktadır. Grafiklerde verilen belirli düzeylerin üzerindeki artan katkı miktarları, radyoaktiviteyi azaltma verimi artışında sadece 1/5 oranına kadar etkili olmaktadır.

Killer açısından kıyasladığımızda ise killerin arasında fazla bir fark görülmemektedir. Yalnızca hem dayanımda hem de iyon değişiminde (radyoaktivite azaltma oranında) en verimli olarak gözüken (diğer killerden %10-15 aralığında daha fazla) zeolit tercih sebebi olabilir. Bununla birlikte deneylerde kullanılan diğer killerin de performanslarının benzer olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak elimizde iki adet birbirine zıt parametre bulunmaktadır. Kil miktarı arttığında dayanımdan ödün verilirken kil miktarı azaldığında ise filtrenin radyoaktiviteyi azaltmadaki performansının düştüğü belirlenmiştir. Verimlilik açısından baktığımızda yukarıda da açıklandığı gibi katkı miktarı içerisindeki yüzde 20-25 arası kil miktarı optimum sonuçları vermektedir. Dayanımın ön planda olduğu yerde yüzde 20 kil miktarı en uygun seçim olacaktır. Radyoaktivitenin azaltılması için performans arttırılmak istendiğinde ise dayanımdan bir miktar feragat edilerek kil miktarı arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1]: Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu, sf 3, Mart 2011, TMMOB
- [2]: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-dis-ticaret>
- [3]: Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları, TÜİK, 2016
www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1578
- [4]: Türkiye Kömür İşletmeleri Raporu, Kömür Sektörü Raporu 2016, Mayıs 2017
<http://www.tki.gov.tr/depo/file/k%C3%B6m%C3%BCr%20sekt%C3%B6r%C3%BCr%C3%BCr%20sekt%C3%B6r%C3%BCr%20raporu/k%C3%B6m%C3%BCr%20sekt%C3%B6r%C3%BCr%20raporu%202016.pdf>
- [5]: Osmanlioğlu A.E., Adigüzel D., Tüylü S., Başçetin A., "RADIOLOGICAL IMPACT ASSESSMENT OF URANIUM MINE DEPOSIT", 17 International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo SGEM 2017, Albena, BULGARISTAN, 29 Haziran - 5 Temmuz 2017, vol.17, no.13, pp.709-714
- [6]: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>
- [7]: Dünyada ve Türkiye’de Uranyum ve Toryum, sf 2, MTA Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Dr. Gonca Eroğlu, Mesut Şahiner, Eylül 2017
- [8]: Uranyum Toryum, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Necati Yıldız, Ocak 2015
- [9]: http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Uranium_Isotopes.htm
- [10]: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>
- [11]: Uranium 2016: Resources, Production and Demand, sf 17, Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency
- [12]: World Nuclear Association, World Uranium Mining Production, <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>

[13]: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/in-situ-leach-mining-of-uranium.aspx>

[14]: Osmanlioğlu A.E., Adigüzel D., Tüylü S., Başçetin A., "ACID MINE DRAINAGE AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF URANIUM DEPOSITS", 17 International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo SGEM 2017, Albena, BULGARISTAN, 29 Haziran - 5 Temmuz 2017, vol.17, no.31, pp.9-14

[15]: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12317.pdf>

[16]: http://iti.northwestern.edu/cement/monograph/Monograph3_8.html

[17]: Ö. Kırca, M. Şahin, ‘‘Yapılarda Hazır Beton ve Uygulamaları’’ Konut Kurultayı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 22-24 Mayıs 2002

[18]: Çimsa, Raf Ürün dergisi sayı 0 sf 34-35, Kasım 2005

[19]: Mineraloji, Mefail Yenyol, 2009, sf 316-317

[20]: Zeolitler, Saldıray İleri, Yeryuvarı ve İnsan, 1978

[21]: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/zeolit.jpg

[22]: Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması, H. Yılmaz Aruntaş, 1997

[23]: Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler, Özbey, G., Atamer, N.,

[24]: Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması, H. Yılmaz Aruntaş, 1997

[25]: *Diatomit Jeolojisi ve yararlanma olanakları, Uygun, A.*

[26]: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/di_dis.jpg

[27]: Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış, B. İPEKOĞLU, İ. KURŞUN, 1997

[28]: Osmanlioğlu A.E., "Evaluation on Mechanical Stabilities of Clay-Sand Mixtures Used as Engineered Barrier for Radioactive Waste Disposal ", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering Vol:10, No:6, 2016 , vol.10, pp.538-541, 2016

[29]: Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi, U Malayoğlu ve A. Akar, 1995

[30]: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2017
<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/clays/mcs-2017-clays.pdf>

[31]: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/kil_kaolen.jpg

[32]: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kaolin>

[33]: Mineraloji, Mefail Yenyol, sf 287-288, 2009

[34]: U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041

[35]: Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi, U Malayoğlu ve A. Akar, 1995

[36]: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2017

[37]: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/kil_kaolen.jpg

[38]: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Filtration, 1. Fundamentals, Siegfried Ripperger, Walter Gösele, Christian Alt, 2012

[39]: Uranyl phosphates and associated minerals in the Koprubasi (Manisa) uranium deposit, Turkey, Hulya Kaçmaz, Peter C. Burns, 2017

[40]: Neojen ökelleri (Köprübaşı-Gördes) içindeki Uranyum Yataklarının Oluşumu, Hüseyin Yılmaz, 1982

[41]: www.dm-consultancy.com/TR/dosya/1-38/h/ts500.pdf

[42]: <http://www.vota.com.tr/assets/ts-en-12390-3.pdf>

[43]: Liquid Filtration, Nicholas P. Cheremisinoff, sf 2-8 1998

[44]: Penetrability Due to Filtration Tendency of Cement Based Grouts, Daniel Eklund, 2005



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Berk ÖZER
Doğum Yeri	Bornova / İZMİR
Doğum Tarihi	08.07.1989
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0533 650 88 00
E-Posta Adresi	berk_ozer@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2018