



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ  
KOORDİNASYON BİRİMİ



## **RADYOAKTİF ATIK TASFIYE TESİSİ BARIYER MALZEME ARAŞTIRMASI**

**Proje No: FBA-2016-20086**

Proje Türü: Normal Araştırma Projesi

### **SONUÇ RAPORU**

#### **Proje Yürütücüsü:**

Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU  
Mühendislik Fakültesi/Maden Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN  
Mühendislik Fakültesi/Maden Mühendisliği Bölümü

Arş. Gör. Dr. Deniz ADIGÜZEL  
Mühendislik Fakültesi/Maden Mühendisliği Bölümü

Arş. Gör. Dr. Serkan TÜYLÜ  
Mühendislik Fakültesi/Maden Mühendisliği Bölümü

Haziran 2017

İSTANBUL

TEŞEKKÜR: Üniversitemiz Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2016-20086 proje numarası ile kabul edilen Normal Araştırma Projesi faaliyetleri sırasında araştırmalarda kullanmış olduğumuz verilen maddi desteğin yanı sıra işlemlerin yürütülmesinde tarafımıza sağlanan yönlendirici ve yardımcı desteklerinden ötürü BAP Birimi görevlilerine, diyatomit örnekleri için Sayın Ramazan SEVGİ (BEGTUĐ Mineral) teşekkür ederim. Normal Araştırma Projeleri kapsamında sağlanan bu tür desteklerin küçük bütçeli ön araştırmaların yapılabilmesi için bilim insanları açısından oldukça önemli bir destek olduğunu ifade ederek verilen desteklerden ötürü teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	6
ABSTRACT	6
1. PROJE ÖZET BİLGİLERİ	6
2. LİTERATÜRDEKİ GELİŞMELER	7
3. TEKNİK BÖLÜM	8
3.1. Gereç ve Yöntem	8
3.2. Bulgular	19
3.3. Tartışma ve Sonuç	23
3.4. Yapılan Bilimsel Etkinlikler	24
3.5. Darboğazlar ve çözüm önerileri	24
3.6. İş-Zaman Çizelgesi	25
3.7. Proje Tamamlanma Tabloları	26
3.8. Çalışma Planı Değişiklikleri	26
4. İDARİ BÖLÜM	26
4.1. Gelişme Dönem İçindeki Proje Yönetimi ile İlgili Gelişmeler, Risklerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri	26
4.2. Personel Değişiklik Tablosu	27
4.3. Proje ek süre ihtiyacının belirlenmesi	27
5. MALİ BÖLÜM	27
5.1. Bütçe	27
5.2. Harcan(a)mayan Kalemlere İlişkin Açıklamalar	27
5.4. Harcamalara İlişkin Zorluklar	28
6. PROJE ÇIKTILARI ve EKLER	28
6.1 Dönem İçinde Yayımlanan ve Toplantılarda Sunulan Yayınlar/Bildiriler	28

## TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

### TABLolar

	Sayfa No
Tablo 1. Katkı malzemelerinin su emme oranları	15
Tablo 2. Çalışmada uygulanan karışım oranları	16
Tablo 3. Deney Sonuçları	19
Tablo 4. Ölçülen radyasyon dozları ve yıllık etkin doz hesaplama sonuçları	19

### ŞEKİLLER

	Sayfa No
Şekil1. Saha çalışmaları	9
Şekil 2. Sahadan alınan örnekler	9
Şekil 3. Ankara/Kızılcahamam diyatomit lokasyonu	10
Şekil 4. BEG-TUĞ diyatomit örnekleri	10
Şekil 5. Manisa/Köprübaşı lokasyonu	11
Şekil 6. Manisa/Köprübaşı ölçümleri	11
Şekil 7. Balıkesir/Sındırgı lokasyonu	12
Şekil 8. Balıkesir/Sındırgı kaolin örnekleri	12
Şekil 9. Bariyer deney düzenekleri.	13
Şekil 10. Katkılı beton numunelerinin kalıplarda hazırlanması.	13
Şekil 11. Katkılı beton numunelerinin kür kabinde bekletilmesi.	14
Şekil 12. Mekanik ve indeks deneyler için hazırlanan numuneler	14
Şekil 13. Pundit Deneyi	16
Şekil 14. Eğilme dayanım testi	18
Şekil 15. Basma dayanım testi	18
Şekil 16. Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini deneyi	19
Şekil 17. Su işleme derinliğinin belirlenmesi	19
Şekil 18: Diyatomit katkılı betonun basınç dayanımı	20
Şekil 19: Bentonit katkılı betonun basınç dayanımı	20
Şekil 20: Kaolen katkılı betonun basınç dayanımı	21
Şekil 21: Barit katkılı betonun basınç dayanımı	21
Şekil 22: Diyatomit katkılı betonun eğilme dayanımı	22
Şekil 23: Bentonit katkılı betonun eğilme dayanımı	22
Şekil 24: Kaolen katkılı betonun eğilme dayanımı	23
Şekil 25: Barit katkılı betonun eğilme dayanımı	23

## **KISALTMALAR LİSTESİ:**

Kpa Kilopascal

Mpa Megapascal

TS Türk Standartları

**1. PROJE ÖZET BİLGİLERİ:** Türkçe Özet ve İngilizce "Abstract" şeklinde hazırlanmalıdır. Projedeki faaliyetlerin kısa özetini içermeli ve 500 kelimeyi geçmemelidir.

**Özet:**

Proje kapsamında yürütülen faaliyetler saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazide belirlenen lokasyonlardan örnekleme yapılması kapsamında, 21-27 Ocak 2017 tarihleri arasında Ankara, Manisa ve Balıkesir il sınırları içerisinde bulunan ve önceden belirlenen lokasyonlardan örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örnekler 5-10 cm parça boyutunda temin edilerek bölüm laboratuvarlarına getirilmiştir. Deney Programının Oluşturulması kapsamında, deney programları mevcut örnek miktarları göz önüne alınarak mekanik ve geçirimsizlik deney programları ayrı ayrı oluşturulmuştur. Deney Düzeneklerinin Hazırlanması kapsamında, mekanik ve indeks deneyler için laboratuvar cihazları hazır hale getirilmiştir. Bariyer deneyi için düzenek deney yapımına uygun duruma getirilmiştir. Örneklerin Deneye Hazırlanması kapsamında, mekanik ve indeks deneyleri için standartlara uygun özel kalıplar hazırlanmıştır.

Laboratuvar deneylerinde çalışma kapsamında Diyatomit, Kaolen, Barit ve Bentonit malzemelerinin katkı olarak kullanımının betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve permabilite kapsamındaki etkileri belirlenmiştir. Buna göre söz konusu katkı malzemeleri beton içerisinde çimentonun yerine farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) kullanılmış ve beton özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Kaolen katkılı beton eğilme dayanımı sonucu bütün karışımlara göre daha yüksek ölçülmüştür. Arkasından sırasıyla barit, bentonit ve diyatomit gelmektedir. Kaolen ve baritin en düşük eğilme dayanımları 7 MPa olarak belirlenmiştir. Katkı malzemelerinin beton permabilitesine etkilerinin tespit edilmesi amacıyla TS EN 12390-8 Sertleşmiş Betonda Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini deney sonuçlarına göre referans malzemenin su işleme derinliği 25 mm olarak bulunmuştur. Deney sonuçları %15 diyatomit katılan numunenin su işleme derinliğinin 15 mm'ye düştüğünü göstermektedir. Bariyer malzemesi açısından yapılan deneyler sonucunda betona %15 diyatomit katkısının dayanımdaki değişiklikleri de göz önüne alarak bariyer malzeme için optimum değer olduğu değerlendirilmektedir.

**Abstract:**

The activities carried out within the scope of the project were carried out in two stages; field studies and laboratory studies. Within the scope of sampling from locations; sampling was carried out at predetermined locations within the boundaries of Ankara, Manisa and Balıkesir provinces between 21-27 January 2017. Samples were taken in 5-10 cm piece size and transferred to laboratories. Within the scope of the establishment of the test program, the experimental programs were prepared separately for the mechanical and permeability test programs depend on the sample quantities. Within the preparation of experimental test systems; laboratory equipment for mechanical and index experiments are prepared. The apparatus for the permeability test was prepared for barrier testing. Special molds have been prepared according to the TSE standards for mechanical and index tests for the preparation of the specimens for the experiment.

During the laboratory experiments, the effects of the use of diatomite, kaolin, barite and bentonite as an additive in the concrete were determined in the scope of concrete compressive strength, bending strength and permeability properties. Accordingly to the additive materials were used in different proportions (5%, 10%, 15%, 20%) instead of cement in concrete, the effects of additive materials on concrete properties were examined. The result of the bending strength of kaolin added concrete is higher than those of all mixtures. Barite, bentonite, and diatomite follow respectively. The lowest concrete bending strength values of Kaolinite and barite added concrete specimen is determined as 7 Mpa. In order to determine the effects of admixtures on concrete permeability, tests were carried out according to the TS EN 12390-8 Hardened Concrete Under Pressure Standard and the water intrusion depth of reference material was determined as 25 mm. The test results show that the depth of water intrusion for 15% diatomite added sample was decreased to 15 mm. As a result of the experiments made on the barrier materials, it is evaluated that the added value of 15% diatomite in concrete is an optimum value for barrier material considering the changes in strength.

**2. LİTERATÜRDEKİ GELİŞMELER:** Proje konusunda proje teklifi sırasında kullanılmış ve kabul edildikten sonraki dönem içinde dünya literatüründe gerçekleşen yenilikler ve çıkmış olan makaleler konusunda bilgi verilmeli, eğilimler ve proje konusu ile ilgili gelişmeler bu bölümde irdelenmelidir.

İsviçre Jeoloji Topluluğu tarafından yapılan bir araştırmada; kil veya kristalin kaya içerisindeki depo kavramları, atıkların tutulması ve atık kaçınsının sınırlandırılması sağlamak için bentonit esaslı bariyer sistemleri araştırılmıştır. Son yıllarda İsviçre Mont Terri kaya laboratuvarında gerçekleştirilen bariyer ve sızdırmazlık özellikleri üzerine üç geniş ölçekli deney bu makalede sunulmaktadır: Şu anda faaliyette olan 1: 2 ölçekli HE-E ısıtıcı deneyi ve tam ölçekli mühendislik bariyer deneyi Ve 2014 ve 2012'de başarıyla tamamlanan Borehole Seal deneyini içermektedir. Yerinde yapılan deneyler, bariyer ve sızdırmazlık elemanlarının küçük çaplı testlerle ortaya çıkan beklentileri karşılayacak şekilde oluşturulabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, ana kayaç ile olan etkileşimin, küçük ölçekli deneylerin deneyimlerinden her zaman doğrulanmayacağını ve hatta öngörülemeyen bariyer veya tamponda ek etkilere neden olduğu gösterilmiştir (örn., Gözenekli su ile yeniden doymuşluk Kaya, hasar gören kazı bölgesi ile tercihli akış veya mekanik etkiler açısından etkileşim). Bu, entegre sistem bariyer/kaya ara yüzeyinin de test edilmesinin gerektiğini ifade etmektedir. © 2017

*Kaynak: Swiss Journal of Geosciences. 20 February 2017, Pages 1-16*

*In-situ experiments on bentonite-based buffer and sealing materials at the Mont Terri rock laboratory (Switzerland) Wieczorek, K.a , Gaus, I.b, Mayor, J.C.c, Schuster, K.d, García-Siñeriz, J.-L.e, Sakaki, T.b*

Bu makalede; nükleer enerji santrallerinden güvenli olarak depolanması gereken yüksek seviyeli radyoaktif atıklar üretildiği ve birçok ülkenin yüksek seviyeli radyoaktif atıklarını (HLRW) sıkıştırılmış bentonit bariyerlerle kontrol altına almayı planladıkları ifade edilmektedir. Bentonitin nükleer atık deposu için özelliklerini bulmak üzere test edilmiştir. Bu çalışmada bentonitin bentonit-demir ve bentonit-çimento ara yüzeyleriyle temas halinde performansını içeren küçük ölçekli bir düzenek test edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çimentonun çok agresif tepki verdiğini ve bu reaksiyonların bentonit-demir ara yüzünde gerçekleştiğini göstermiştir. Test edilen üç bentonit türü arasından Slovakya'daki Ca-bentonit B36 ortalama olarak daha az şişme kapasitesi (MSK) gösterdiği ve bu nedenle diğer iki materyalden daha üstün özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. © 2016

*Kaynak: Applied Clay Science Volume 135, 1 January 2017, Pages 427-436*

*Cement-bentonite-iron interactions on small scale tests for testing performance of bentonites as a barrier in high-level radioactive waste repository concepts. Balmer, S.a , Kaufhold, S.ab, Dohrmann, R.bc*

Amerikan İnşaat Mühendisliği Topluluğu tarafından yürütülen bu çalışmada, ısı üreten nükleer atıkların derin jeolojik oluşumlarda izole edilmesi için mühendislik bariyer sistemlerinde dolgu ve bariyer malzeme olarak kullanımın uygunlu değerlendirilmiştir. Dolgu veya bariyer malzemelerin etkinliğinin artırılabilmesi için temas süresi önemli ölçüde geciktirilebileceği araştırılmıştır. Bu özellikleri simüle etmek için, iki gözeneklilik seviyesi içeren bir çift-yapı yapısal modeli kullanılmıştır. Yazarlar, bir çift-yapı modelinin formülasyonunu sunmakta ve onun birleştirilmiş akışkan akış ve jeomekanik sayısal simülatör içine uygulanmasını anlatmaktadır. Yazarlar, makro yapıyı modellemek için doymamış malzemenin elasto plastik bir yapısal model olan Barselona Temel Modeli'ni (BBM) kullanıyorlar ve hacimsel ve elastik olan mikro yapının plastik gerilime neden olduğu varsayıyor. Yazarlar, genleşmiş kilin iki laboratuvar testinde gözlemlenen davranışı modelleyip üreyerek uygulanmış çift-yapı modelinin yeteneklerini test ederek göstermektedir. Deneylerde, emme döngüleriyle geri döndürülemez gerilim birikimi ve artan sınırlama stresiyle birlikte şişme kapasitesinde azalma sağlamıştır. Bu çalışmada sunulan çift-yapı modelinin, termodinamik-hidro-mekanik davranışları uygun bir şekilde modellemek için gerekli olduğunu göstermektedir. © 2015.

*Kaynak: International Journal of Geomechanics. Volume 16, Issue 6, 1 December 2016.*

*Use of a dual-structure constitutive model for predicting the long-term behavior of an expansive clay buffer in a nuclear wasterepository*

*Vilarrasa, V. , Rutqvist, J., Martin, L.B., Birkholzer, J.*

Sıkıştırılmış bentonit, üst düzey radyoaktif atık depolarının mühendislik bariyer sistemlerinde (EBS) sızdırmazlık ve bariyer malzeme olarak kullanılır. Kilin ve gözenek suyunun kimyasal özellikleri atıklardan çıkan radyonüklidlerin göçünü etkilemektedir. Kilin özellikleri, bariyerin bütünlüğünü ve uzun vadeli

performansını da belirlemektedir. Temel özellikler, ana mineral montmorillonitin yapısal negatif yükü ve yapısal (ara katman) suyunun büyük bir kısmı olup, bu da porozite alanının büyük bir bölümünde anyonların ve fazla bir katyonun çıkarılmasına yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Olkiluoto'da planlanan Finlilerin kullanılmış nükleer yakıt deposu bağlamında sıkıştırılmış bentonitte boşluksularının kimyası üzerindeki farklı gözeneklilik modeli kavramlarının etkisini değerlendirilmesidir. İlk olarak, farklı gözeneklilik tiplerinin kesirlerini tahmin etmek için kristalografik ve elektrostatik hususlara dayanan yapısal bir model oluşturulmuştur. Ara tabakanın suyunun kimyasal özellikleri ile ilgili belirsizlik göz önüne alındığında, bentonit için iyi bilinen bir termodinamik model ile birlikte çok farklı iki model kavramı (anyonsuz katman, Donnan uzayı) uygulanarak Olkiluoto'daki bentonit bariyeri değerlendirilmiştir. Simülasyonlar, iki model için "serbest" su bileşiminde çok benzer sonuçları göstermektedir. Bu nedenle radyoaktif atık depolarının performans değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan su geçirimsizliğinin geçerliliğini desteklemektedir. Modeller arasındaki, yüzey yükünden etkilenen suyun kompozisyonunda (yani, difüze çift katman ve ara katman) farkları ortaya çıkmaktadır. © 2016

*Kaynak: Applied Geochemistry. Volume 74, 1 November 2016, Pages 165-175  
Porewater chemistry in compacted bentonite: Application to the engineered buffer barrier at the Olkiluoto site. Wersin, P.a ,Kiczka, M.b ,Koskinen, K.c*

Amerika Mineraloji Topluluğu tarafından yapılan bu çalışmada gelecek nesilleri bugünkü nükleer atıklardan uzak tutmak, bu atıkların her zaman etkili şekilde izole edilmesinin önemi belirtilmektedir. Killerin oluşum zamanları boyunca umut verici izolasyon özellikleri sunduğu ifade edilmektedir. Böyle bir oluşum içerisinde oluşturulacak bir nükleer depoda, kilin izolasyon özelliklerinin önemli ölçüde değiştirmedığı ve bunun da önemli bir avantaj olduğu belirtilmektedir. İzolasyonun, atıklardan radyonüklidlerin yavaş salınımı, difüzyon kontrollü radyonüklid göçü, indirgenmiş bir jeokimyasal ortamın oluşturulması ve zehirli radyonüklidlerin kil mineralleri üzerinde zayıf çözünürlük ve güçlü bir şekilde tutulması arasındaki karşılıklı etkileşimin bir fonksiyonu olarak sunulmaktadır. © 2016

*Kaynak: Elements  
Volume 12, Issue 4, August 2016, Pages 239-245  
Geological disposal of radioactive waste in Clay (Article)  
Grambow, B.*

### 3. TEKNİK BÖLÜM:

Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuç bölümlerinden oluşur. Sonuç bölümünün önerileri de kapsamı gerekmektedir.

**3.1. Gereç ve Yöntem:** Projede öngörülen iş paketleri özelinde faaliyetler ele alınmalı

#### 3.1.1. İş Paketleri:

Proje Dönemi içerisinde gerçekleştirilen iş paketleri ve takvimi aşağıda sunulmaktadır;

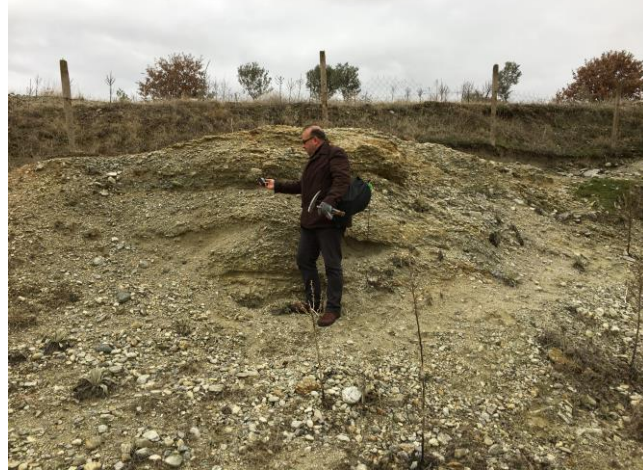
- 1-Arazide belirlenen lokasyonlardan örnekleme yapılması, Kapsadığı Ay Aralığı:1-2,
- 2-Deney Programının Oluşturulması, Kapsadığı Ay Aralığı:2-4,
- 3-Deney Düzeneklerinin Hazırlanması, Kapsadığı Ay Aralığı:2-4,
- 4-Örneklerin Deneye Hazırlanması, Kapsadığı Ay Aralığı:4-6,
- 5-Laboratuvar Deneylerinin Yapılması, Kapsadığı Ay Aralığı:6-7,
- 6-Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Kapsadığı Ay Aralığı:7-7,

Bu iş paketleri ile ilgili çalışmalar sırasıyla aşağıda sunulmaktadır;

#### **Arazide belirlenen lokasyonlardan örnekleme yapılması:**

1 Nolu iş paketinde projenin başlangıcından itibaren ilk iki ay içerisinde arazide belirlenen lokasyonlardan örnekleme yapılması planlanmıştır. 1 nolu iş paketinde öngörülen çalışma bu sonuç raporunun ilgili bölümünde belirtilen gerekçeler nedeniyle ancak 21 - 27 Ocak 2017 tarihleri arasında ve süre düşürülerek 7 (gün) olarak gerçekleştirilebilmiştir.





Şekil1. Saha Çalışmaları



Şekil 2. Sahadan alınan örnekler

Örnekleme ve ölçüm lokasyonları sırasıyla aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır;





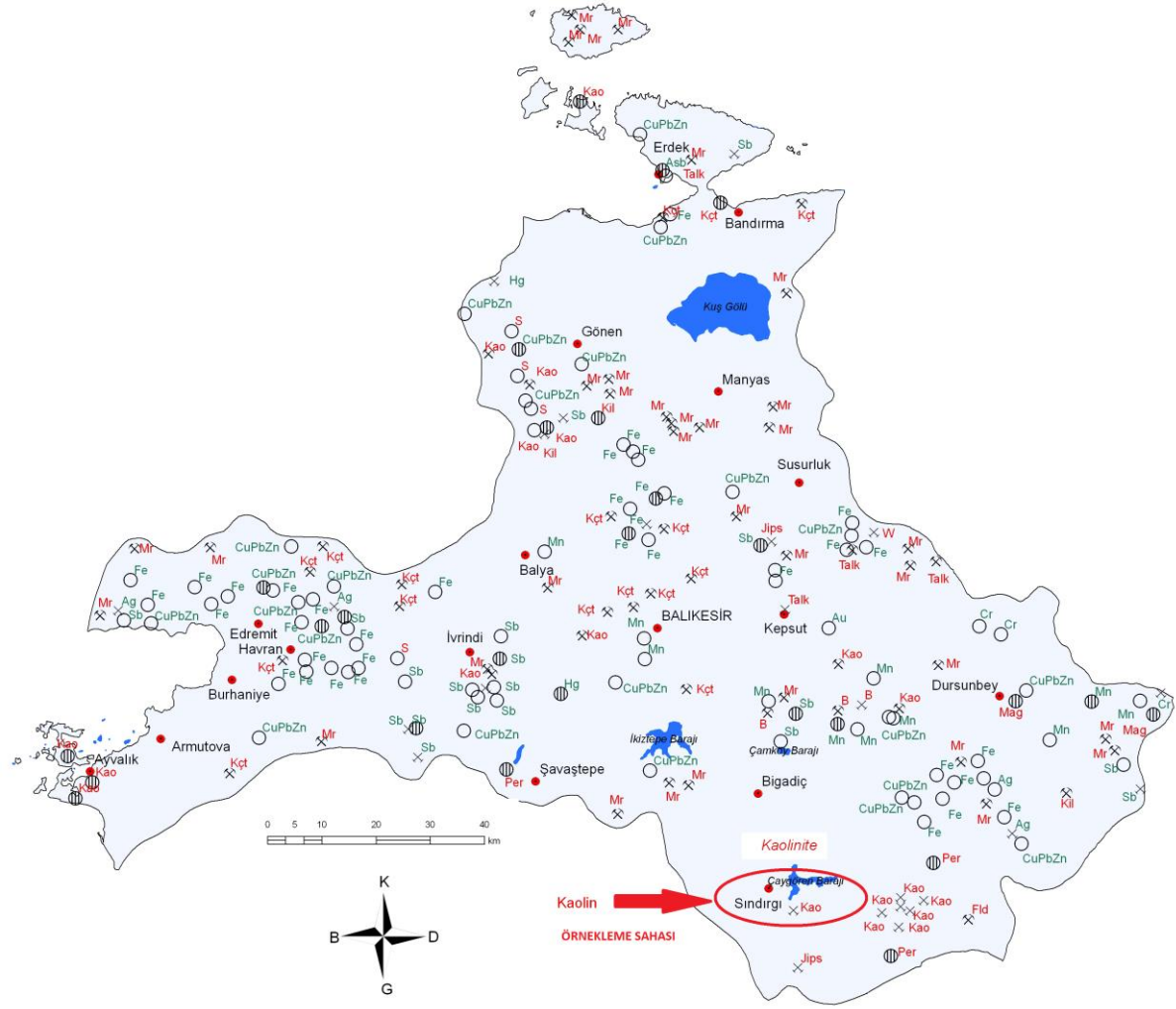
Şekil 5. Manisa/Köprübaşı saha çalışma lokasyonu.

Manisa/Köprübaşı Kasar Köyü civarındaki Uranyum zuhurlarından ölçümler yapılarak mostralarda biriken yüzey kontamine su örnekleri temin edilmiştir.



Şekil 6. Manisa/Köprübaşı ölçümleri.

## BALIKESİR İLİ MADEN HARİTASI



Şekil 7. Balıkesir/Sındırgı saha çalışma lokasyonu.

Balıkesir/Sındırgı Kaolin madeninden örnek temini gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Balıkesir/Sındırgı kaolin örnekleri.

### Deney Programının Oluşturulması:

Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan altyapı olanakları ile aşağıdaki deneyler gerçekleştirilmiştir;

Taze Betonda Birim Ağırlık Deneyi (TS 12350-6) Cihazı  
Taze Betonda Hava Muhtevası Deneyi (TS 12350-7) Cihazı  
Beton Basınç Dayanım Deneyi (TS 12390-4) Cihazı  
Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini (TS 3502) Cihazı  
Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini (TS 12390-7) Cihazı  
Beton Permeabilite Deneyi (TS 12390-8) Cihazı  
Radyoaktivite Geçirimsizlik (Bariyer) Deneyleri

### Deney Düzeneklerinin Hazırlanması:



Şekil 9. Bariyer deney düzenekleri.

### Örneklerin Deneye Hazırlanması:

Çalışma kapsamında TS EN 196-1 standardına göre, 40 mm x 40 mm x 160 mm olan prizmatik deney numuneleri her bir karışım türünden 6'şar adet hazırlanmış ve Şekil 1A, B, C ve D'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Katkılı beton numunelerinin kalıplarda hazırlanması.

Numuneler, kütlece 1 kısım çimento, 3 kısım CEN standard kum ile 0,50 su/çimento oranındaki taze harçtan hazırlanmıştır. Referans işleminde mekanik karıştırma ile hazırlanan harç, standard bir sarsma makinası kullanılarak, kalıp içinde sıkıştırılmıştır. Kalıptaki numuneler, 24 saat rutubetli bir atmosferde muhafaza edilir, sonra kalıptan çıkarılan numuneler dayanım deneyine kadar kür içinde bekletilmiştir.

Deney numunelerinin hazırlandığı laboratuvarın sıcaklığı  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  ve bağıl nemi en az % 50 seviyelerindedir. Kalıptaki numuneler,  $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki ve % 90 nemin üzerindeki kür kabinlerinin içinde bekletilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Katkılı beton numunelerinin kür kabininde bekletilmesi.



Şekil 12. Mekanik ve indeks deneyler için hazırlanan numuneler

### Laboratuvar Deneylerinin Yapılması:

Proje kapsamında öncelikle 7 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda, önce numunelerin boyutları ve ağırlıkları ölçülerek birim hacim hesabı yapılmıştır. Daha sonra hazırlanacak karışımdaki katkı malzemelerinin (Diyatomit, Kaolen, Barit ve Bentonit) su emme oranları tayin edilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir.

Elde edilen su emme oranlarını ve TS EN 196-1 Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini standardını dikkate alarak Tablo 2’deki karışım oranları oluşturulmuştur.

Hazırlanan beton örnekleri üzerinde pundit deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Pundit Deneyi

Çalışma kapsamında beton üretiminde Diyatomit, Kaolen, Barit ve Bentonit malzemelerinin katkı olarak kullanımının betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve permabilite özelliklerine olan etkileri belirlenmiştir. Buna göre söz konusu katkı malzemeleri beton içerisinde çimentonun yerine farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) kullanılmış ve beton özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

Betonun basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla “TS EN 196-1 Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini” deney standardı kullanılmış ve farklı oranlarda katkı kullanılarak oluşturulan beton numunelerinin basınç ve eğilme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca pundit deneyi yapılarak beton malzemelerin ultrasonik ses geçirgenliği özellikleri belirlenmiştir. Tablo 3’de TS EN 196-1 deney standardı kullanılarak hazırlanan karışım oranları verilmektedir.

Ayrıca karışımların su miktarları katkı malzemelerinin su emme değerleri (Tablo 1) kullanılarak düzeltilmiştir. Tüm karışımlarda CEM I Portland çimentosu 32,5R kullanılmıştır.

Tablo 1. Katkı malzemelerinin su emme oranları

Silis Kumu (%)	Diyatomit (%)	Kaolen (%)	Barit (%)	Bentonit (%)
0,65	24,65	0,94	0,31	6,64

Tablo 2. Çalışmada uygulanan karışım oranları

Karışım Adı	Su miktarı (g)	Çimento miktarı(g)	Silis Kumu miktarı (g)	Katkı miktarı			
				Diyatomit (g)	Kaolen (g)	Barit (g)	Bent (g)
Referans	225	450	1350	-	-	-	-
D05 (Diyatomit %5)	225	427,5	1350	22,5	-	-	-
D10 (Diyatomit %10)	225	405	1350	45	-	-	-
D15 (Diyatomit %15)	225	382,5	1350	67,5	-	-	-
D20 (Diyatomit %20)	225	360	1350	90	-	-	-
Be05 (Bentonit %5)	225	427,5	1350	-	-	-	22,5
Be10 (Bentonit %10)	225	405	1350	-	-	-	45
Be15 (Bentonit %15)	225	382,5	1350	-	-	-	67,5
Be20 (Bentonit %20)	225	360	1350	-	-	-	90
K05 (Kaolen %5)	225	427,5	1350	-	22,5	-	-
K10 (Kaolen %10)	225	405	1350	-	45	-	-
K15 (Kaolen %15)	225	382,5	1350	-	67,5	-	-
K20 (Kaolen %20)	225	360	1350	-	90	-	-
B05 (Barit %5)	225	427,5	1350	-	-	22,5	-
B10 (Barit %10)	225	405	1350	-	-	45	-
B15 (Barit %15)	225	382,5	1350	-	-	67,5	-
B20 (Barit %20)	225	360	1350	-	-	90	-

\* CEM I Portland çimentosu 42,5R

TS EN 196-1 deney standardına göre mekanik karıştırma ile hazırlanan harç, standart bir sarsma makinası kullanılarak, kalıp içinde sıkıştırılmıştır.

Buna göre 40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlarında, her bir karışımdan 6'şar adet deney numunesi hazırlanmış ve kalıptaki numuneler, 24 saat rutubetli bir atmosferde muhafaza edildikten sonra kalıptan çıkarılarak dayanım deneyine kadar kür havuzunda kürlenmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2).

Deney numunelerinin hazırlandığı laboratuvarın sıcaklığı ( $20 \pm 2$ ) °C' ve bağıl nemi en az % 50 seviyelerindedir. Kalıptaki numuneler, ( $20 \pm 1$ ) °C sıcaklıktaki kür havuzu içerisinde bekletilmiştir.

28 gün kürlenmiş numuneler üzerinde eğilme deneyinde kırılarak ikiye ayrılan her parça basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 14-15).





Şekil 14. Eğilme dayanım testi



Şekil 15. Basma dayanım testi

Çalışma kapsamında kullanılan katkı malzemelerinin beton permabilitesine etkilerinin tespit edilmesi amacıyla TS EN 12390-8 Sertleşmiş Betonda Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini deney standartına göre deneyler yapılmıştır. Buna göre referans(katkısız) beton ve diatomit (%15) katkılı karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar 30 cm yüksekliğe sahip silindirik kalıplara dökülerek 1 gün sertleşmesi beklenmiştir. 1 gün sonucunda kalıplardan sökülen beton numuneleri 28 gün boyunca 20°C sıcaklık değerinde kür havuzunda tutulmuştur.

Bu numuneler 28 günlük iken ikiye kesilerek permeabilite deneyi için uygun hale getirilmiştir. TS EN 12390-8 standardı gereği su basıncı, numunenin mastarlanmamış yüzeyine uygulanmıştır (Şekil 16). Numune, cihaza yerleştirilerek ve  $(72 \pm 2)$  saat süreyle  $(500 \pm 50)$  kPa su basıncı uygulanmıştır.

Deney esnasında, deney numunesinin basınç uygulanmayan yüzeyleri, belirli aralıklarla gözlenmiştir. Deney sonucunda numuneler cihazdan çıkartılarak, basınçlı su uygulanan yüzeydeki fazla su silinerek temizlenmiştir.

Numune, basınçlı su uygulanan yüzeye dik şekilde, ortasından yarılarak ikiye bölünmüştür. Numunenin bölünmesiyle ortaya çıkan numune yüzeyinin, su işleyen kısım kesitinin belirgin şekilde görülünceye

kadar kurutulmasından hemen sonra, ıslak alanın sınırları işaretlenmiştir. Deney sonucu olarak; basınç uygulanan deney alanından itibaren, suyun işlediği en büyük derinlik, ölçülerek en yakın milimetreye yuvarlatılmak suretiyle kaydedilmiştir (Şekil 17).



Şekil 16. Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini deneyi



Şekil 17. Su işleme derinliğinin belirlenmesi

### 3.2. Bulgular:

Çalışma kapsamında farklı katlı oranları kullanılarak oluşturulan toplam 17 beton karışımının basınç dayanımları, eğilme dayanımları, birim hacim ağırlıkları ve pundit değerleri Tablo 3'de verilmektedir.

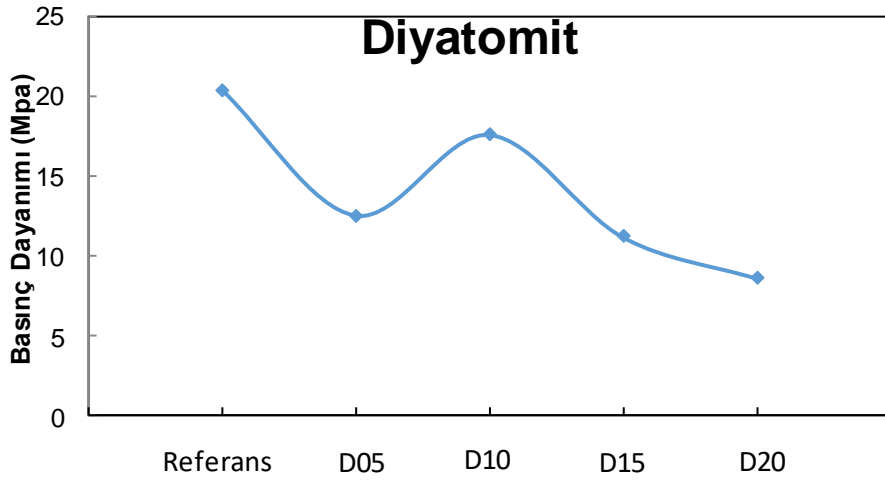
Tablo 3. Deney Sonuçları

Karışım Adı	Basınç Dayanımı MPa	Eğilme Dayanımı MPa	Birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Pundit (m/sn)
Referans	20,4	8,08	3,33	4176
D05 (Diyatomit %5)	12,56	6,9	3,46	4265
D10 (Diyatomit %10)	17,56	7,15	3,32	4190
D15 (Diyatomit %15)	11,21	6,92	3,25	4110
D20 (Diyatomit %20)	8,64	5,84	3,03	4000
Be05 (Bentonit %5)	15,36	8,30	3,18	4295
Be10 (Bentonit %10)	14,98	7,98	3,22	4205
Be15 (Bentonit %15)	14,05	7,43	3,38	4155
Be20 (Bentonit %20)	14,88	6,68	3,3	4010
K05 (Kaolen %5)	18,98	7,86	3,22	4295
K10 (Kaolen %10)	14,21	7,35	3,27	4225
K15 (Kaolen %15)	12,33	7,27	3,32	4245
K20 (Kaolen %20)	11,20	7,04	3,29	4200
B05 (Barit %5)	16,34	7,32	3,31	4250
B10 (Barit %10)	15,41	7,27	3,31	4200
B15 (Barit %15)	13,37	7	3,18	4190
B20 (Barit %20)	12,9	7,00	3,28	4095

Tablo 3'ten de görüldüğü üzere pundit ve birim hacim ağırlık değerleri açısından 17 karışımında özellikleri birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. Buna göre ortalama pundit değeri ~4180 m/sn ve ortalama birim hacim ağırlık değeri ise 3,27 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Karışımlarda kullanılan katkıların betonun basınç dayanımlarına etkileri diyatomit için Şekil 18, Bentonit için Şekil 19, Kaolen için Şekil 20 ve Barit için ise Şekil 21'de verilmiştir. Betonun eğilme dayanımlarına etkileri ise Diyatomit için Şekil 22, Bentonit için Şekil 23, Kaolen için Şekil 24 ve Barit için ise Şekil 25'de verilmiştir. Diğer taraftan radyasyon ölçüm sonuçları ve bu ölçümlere göre hesaplanan yıllık etkin doz değerleri Tablo 4. de sunulmaktadır.

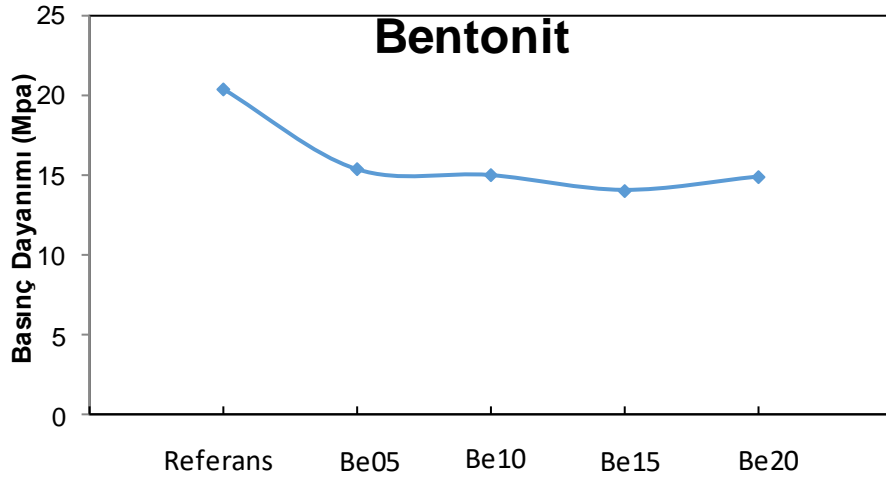
Tablo 4. Ölçülen radyasyon dozları ve yıllık etkin doz hesaplama sonuçları.

Ölçüm Yeri	Radyasyon Dozları (D) nGy/h	Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri (DAE) mSv/yıl			
		Günlük Meşguliyet Süreleri			
		1saat/gün	5saat/gün	8saat/gün	12saat/gün
Yığın No 1	520	0,12	0,63	1,05	1,59
Yığın No 2	1721	0,42	2,11	3,48	5,27
Mostra 1	1965	0,48	2,40	3,97	6,02
Mostra 2	1863	0,45	2,28	3,76	5,71
Mostra 3	2215	0,54	2,71	4,48	6,79



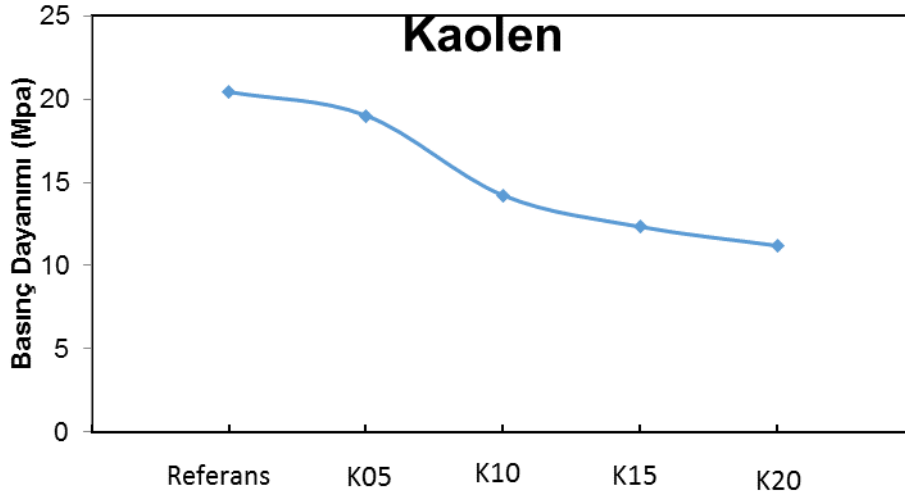
Şekil 18: Diyatomit katkılı betonun basınç dayanımı

Şekil 18'deki sonuçlara göre diyatomit katkısında ortalama %40 dayanım kaybı yaşandığı anlaşılmaktadır. %20 diyatomit katkısı ile basınç dayanımının 10 Mpa'nın altına düştüğü görülmektedir.



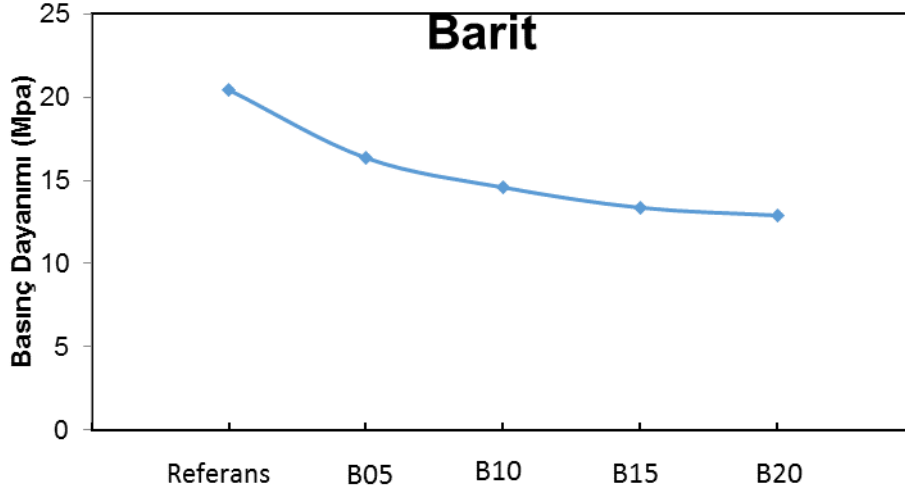
Şekil 19: Bentonit katkılı betonun basınç dayanımı

Şekil 19'deki sonuçlara göre bentonit katkısında ortalama %27,5 dayanım kaybı yaşandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca diatomitin aksine bentonit katkı oranlarının basınç dayanımını çok fazla etkilemediği ve yaklaşık 15 Mpa civarında kaldığı görülmektedir.



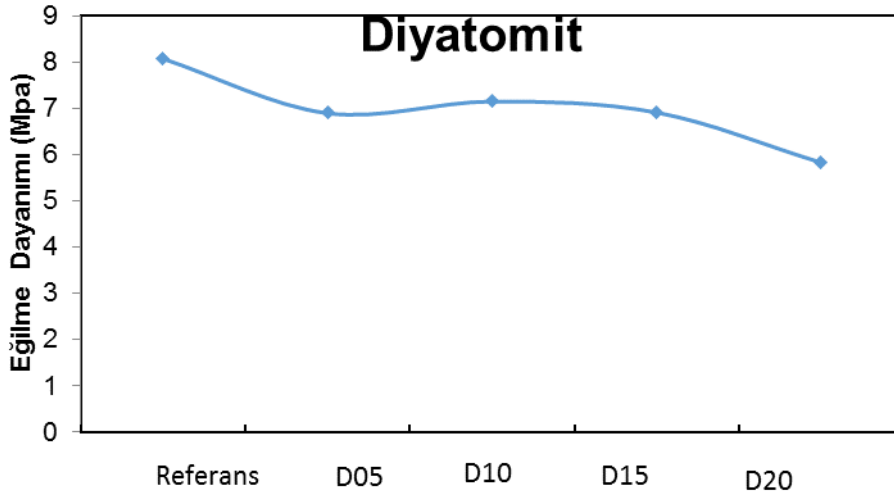
Şekil 20: Kaolen katkılı betonun basınç dayanımı

Şekil 20'deki sonuçlara göre kaolen katkısında ortalama %30 dayanım kaybı yaşandığı anlaşılmaktadır. Ancak %5 kaolen katkılı betondaki dayanım kaybı ~1 Mpa iken katkı oranı iki katına çıktığında ~7 Mpa olan en fazla düşüşün olduğu görülmektedir. En düşük basınç dayanımı 10 Mpa'ın üzerinde ölçülmüştür.



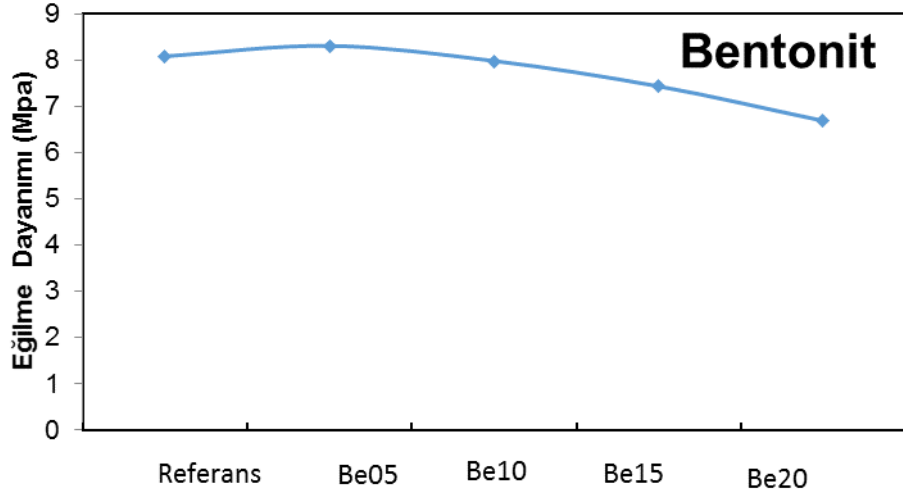
Şekil 21: Barit katkılı betonun basmaç dayanımı

Şekil 21'deki sonuçlara göre barit katkısında ortalama %30 dayanım kaybı yaşandığı ve bu oranın kaolanle benzediği anlaşılmaktadır. Ancak kaolene göre daha doğrusal bir düşüşün olduğu ve en düşük basmaç dayanımının kaolendekine göre 2 Mpa daha yüksek olduğu görülmektedir.



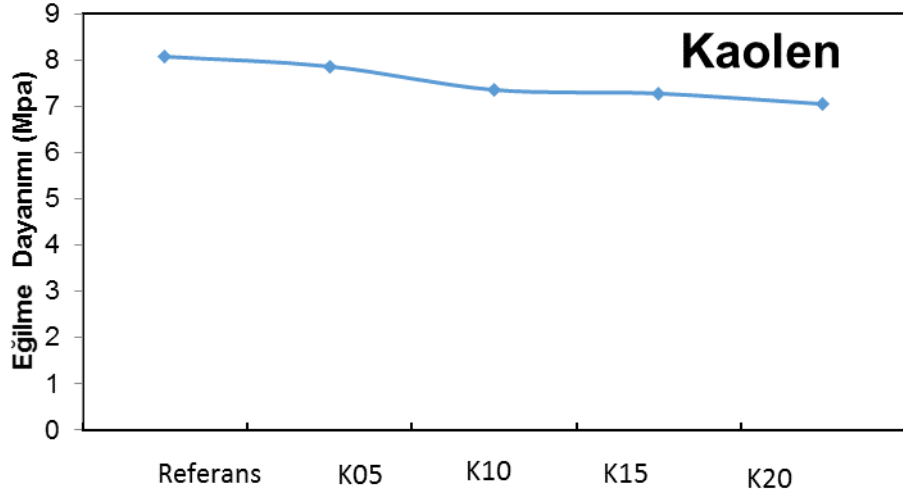
Şekil 22: Diyatomit katkılı betonun eğilme dayanımı

Şekil 22'deki sonuçlara göre diyatomit katkısında eğilme dayanımı 6,90-5,84 Mpa aralığında değişmektedir. %5, %10 ve %15 diyatomit katkılı beton eğilme dayanımları ~7 Mpa olarak birbirlerine çok yakın değerler ölçülmüştür.



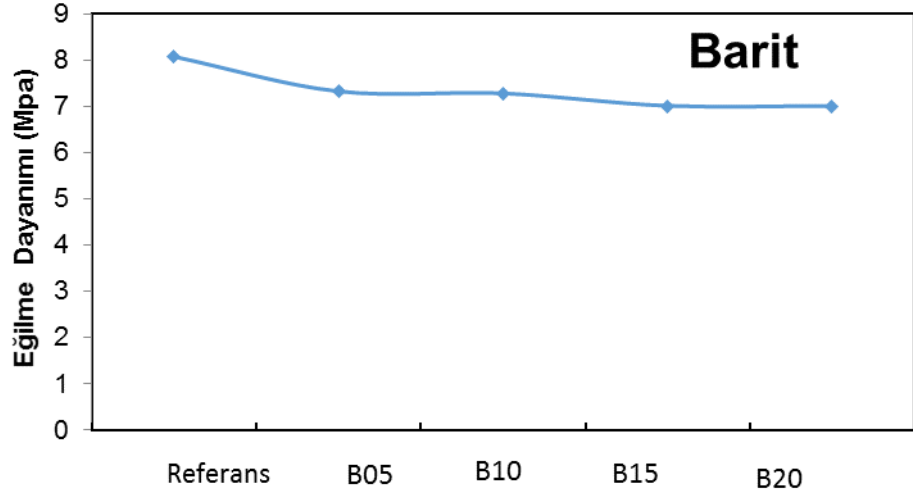
Şekil 23: Bentonit katkılı betonun eğilme dayanımı

Şekil 23'teki sonuçlara göre bentonit katkısında eğilme dayanımı 8,30-6,68 Mpa aralığında değişmektedir. %5 katkıdan sonra eğilme dayanımında doğrusal bir gerçekleşmektedir. En düşük eğilme dayanımı, diatomitten ~1 Mpa fazla ölçülmüştür.



Şekil 24: Kaolen katkılı betonun eğilme dayanımı

Şekil 24'teki sonuçlara göre kaolen katkısında eğilme dayanımı 7,86-7,04 Mpa aralığında değişmektedir. Referans numunde dahil bütün karışımların sonuçlarına bakıldığında ~1 Mpa'lık bir dayanım değişimi ölçülmüştür. En düşük eğilme dayanımı, bentonit ve diatomitten fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 25: Barit katkılı betonun eğilme dayanımı



### 3.3. Tartışma ve Sonuç:

Proje saha çalışmaları sırasında alınan örnekler ve yapılan ölçümler projenin yürütülmesinde önemli bulgular elde edilmesini sağlamıştır. Örnekler ise projede kullanılmak üzere doğrudan üretim yerinden temin edilmiş olup elde edilen veriler tüvenan (maden ocağı çıkışı) malzeme özelliklerini temsil ettiğinden doğrudan ülkemiz kaynaklarının özelliklerini içermektedir.

Deney sonuçlarına göre barit katkısında eğilme dayanımı 7,32-7,00 Mpa aralığında değişmektedir. Referans numune de dahil olmak üzere bütün karışımların sonuçlarına bakıldığında ~1 Mpa'lık düşük bir dayanım değişimi ölçülmüştür. Kaolen katkılı beton eğilme dayanımı sonuçları bütün karışımlara göre daha yüksek ölçülmüştür. Arkasından sırasıyla barit, bentonit ve diyatomit katkılı beton dayanım değerleri gelmektedir. En düşük eğilme dayanımlarına bakıldığında, kaolen ve baritin 7 MPa ve üzerinde değer aldığı görülmektedir.

Kullanılan katkı malzemelerinin beton permeabilitesine etkilerinin tespit edilmesi amacıyla TS EN 12390-8 Sertleşmiş Betonda Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini deney standardına göre yapılan deneyler sonucunda Referans malzemenin su işleme derinliği 25 mm olarak bulunurken %15 diyatomit katılan numunenin su işleme derinliğinin 15 mm de kaldığı tespit edilmiştir.

Radyoaktivite geçirimsizlik deney sonuçlarına göre bariyer malzemesi olarak en iyi deney sonucu diyatomit katkılı betonlarda ölçülmüştür daha sonra bentonit katkılı betonlar gelmektedir. Kaolen ve barit katkılı betonların bariyer malzemesi özellikleri diyatomite kıyaslandığında oldukça düşük kalmıştır.

Uranyum içeren sahadaki ölçüm sonuçlarına göre yıllık etkin doz hesaplamaları yapılmış olup meşguliyet süresine bağlı olarak 0,12 – 6,79 mSv/yıl arasında hesaplanmıştır (Tablo 4). Toplum bireyleri için müsaade edilen en fazla yıllık etkin doz sınırı 1 mSv/yıl olduğu göz önüne alındığında, çalışma sahasının radyasyon alanı olarak belirlenmesi ve kontrol altında tutulmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Özellikle yüzey sularının karışmasının engellenmesinde bu projede elde edilen veriler doğrultusunda bariyer bir malzemenin kullanılması uygun olacaktır.

Sonuç olarak ülkemizdeki yapılan deneyler sonucunda doğal olarak maden sahalarından temin edilmiş olan diyatomit ve bentonit katkı oranları göz önüne alınarak hazırlanacak olan betonun radyoaktif atık depolarında bariyer malzemesi olarak kullanılabilir özelliklerde olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu malzemeler ile ilgili radyoizotop-mineral yapısı ara yüzeyinde daha detaylı ve mikro ölçekte araştırmaların yapılması ise daha geniş kapsamlı olan bir proje için önerilmektedir. Uygun altyapı sağlandığında elde edilecek olan veriler sonucunda özellikle diyatomit katkılı gelişmiş yeni bir bariyer malzemesinin kompozit olarak üretilmesi ve test edilmesi mümkün olabilecektir. İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından FBA-2016-20086 proje numarası ile desteklenen bu projede elde edilen sonuçlar projenin başlangıcında hedeflenen amaca tam olarak ulaşıldığını göstermektedir.