

Seyitgazi-Eskişehir Bölgesi Bentonitlerinin Termogravimetrik Analizleri

Onur Eser Kök^{1*}  Ergül Yaşar¹  Yasin Erdoğan²  İsmail Akça³  İsmail Kurumuş³ 

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

² T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, Türkiye

³ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana, Türkiye

ÖZET

Kil mineralleri dünyada ve ülkemizde önemli ölçüde çeşitliliğe ve kullanım alanına sahiptir. Farklı kil minerallerinin özelliklerine göre kullanım alanları çeşitlilik göstermektedir. Rezerv bakımından başlıca olarak Çankırı, Tokat, Eskişehir, Kütahya ve Ordu illeri ülkemizdeki önemli rezervlere sahip bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu bölgelerdeki kil yatakları ise sondaj, döküm, çimento, ilaç, kozmetik, inşaat gibi birçok sektör için endüstriyel hammadde kaynağı olmaktadır. Farklı kil türleri ve özelliklerine göre ise bu rezervlerden üretim yapılmakta ve değerlendirilmektedir. Eskişehir bölgesi yüksek kil rezervleri ile başta petrol ve doğalgaz ile döküm sektörleri olmak üzere birçok alanda önemli yere sahiptir. Özellikle Seyitgazi bölgesi bentonitleri kullanım alanları bakımından öne çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmada, Seyitgazi-Eskişehir bölgesi bentonitlerinin jeolojik özellikleri ile termal karakterizasyonu incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı lokasyonlardan bentonit örnekleri (ES-1A, ES-1B, ES-1C, ES-2A, ES-2B ve ES-3) toplanmış ve jeolojik değerlendirmeler ile formasyonlar ve oluşum mekanizmaları incelenmiştir. Toplanan örneklerle öğütme ve eleme işlemleri uygulandıktan sonra karakterizasyon çalışmaları XRF ve XRD analizleriyle yapılmıştır. Termogravimetrik analizler 25-1200 °C aralığında 20 °C/dk ısıtma hızı koşullarında yapılarak, sonuçlar detaylı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, çalışma bölgesinden alınan numunelerdeki serbest su moleküllerinin ve absorplanmış gözenek suyunun %4-14 aralığında olduğu ve 200 °C değerine kadar uzaklaştığı belirlenmiştir. Ayrıca, organik bileşiklerin ise %1,5-3,5 aralığında olduğu ve 600 °C değerine kadar uzaklaştığı belirlenmiştir. Hidroksil grupları ve karbondioksit miktarı ise %1-3 aralığında olup, 750 °C değerine kadar ayrıştığı tespit edilmiştir. Yapılan termal analizlerde kütle kayıpları %10-19 aralığında değişim göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bentonit, Termal Analiz, Eskişehir, Kil

Thermogravimetric Analysis of Bentonites in Seyitgazi-Eskişehir Region

ABSTRACT

Clay minerals have a significant variety and usage area in the world and in our country. The usage areas of different clay minerals vary according to their properties. In terms of reserves, Çankırı, Tokat, Eskişehir, Kütahya and Ordu provinces stand out as the regions with important reserves in our country. Clay beds in these regions are the source of industrial raw materials for many sectors such as drilling, casting, cement, medicine, cosmetics and construction. Mining is made and evaluated from these reserves according to different clay types and properties. Eskişehir region has an important place in many areas, especially in the oil and natural gas and casting sectors, with its high clay reserves. Especially the bentonites of the Seyitgazi region stand out in terms of usage areas. In this study, geological properties and thermal characterization of bentonites in Seyitgazi-Eskişehir region were examined. Within the scope of the study, bentonite samples (ES-1A, ES-1B, ES-1C, ES-2A, ES-2B and ES-3) were collected from different locations and formations and formation mechanisms were examined with geological evaluations. After grinding-screening processes were applied to the collected samples, their characterization studies were made by XRF and XRD analysis. Thermogravimetric analyzes were performed under heating rate conditions of 20 °C/min in the range of 25-1200 °C and the results were evaluated in detail. As a result of the

*Corresponding author: oeser.kok@iste.edu.tr

results obtained, it was determined that the free water molecules and absorbed pore water in the samples taken from the study area were in the range of 4-14% and moved away up to 200 °C. Also, it was determined that the organic compounds were in the range of 1.5-3.5% and moved away up to 600 °C. The amount of hydroxyl groups and carbon dioxide was in the range of 1-3% and was determined to decompose up to 750 °C. In the thermal analyzes, mass losses varied between 10-19%.

Keywords: Bentonite, Thermal Analysis, Eskisehir, Clay

Copyright © 2024 by author(s), DergiPark and JOEBS. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

[CC BY 4.0 Deed](#) | [Attribution 4.0 International](#) | [Creative Commons](#)

Received :07.06.2024.

Accepted :19.07.2024.

How to cite this article: Onur Eser Kök, Seyitgazi-Eskişehir Bölgesi Bentonitlerinin Termogravimetrik Analizleri, Journal of Engineering and Basic Sciences, 2024, 02, 1477387

1. GİRİŞ

Kil mineralleri kristal yapıya sahip, toprağımsı, tane boyutu ince ve sulu süspanسیونları plastik özellik gösteren hidratlaşmış alüminyum silikat olarak tanımlanmaktadır. Ancak, bazı türlerinde alüminyum yerine magnezyum veya demir de yer alabilmektedir. Kil mineralleri, sediman yapılarına, toprak veya kayalara kolloidal özellik sağlayan tane boyutu ince malzemeler olarak da bilinmektedir. Doğada saf olarak bulunmayıp, genellikle heterojen karışım olarak bulunmaktadır. Oluşumda meydana gelen safsızlıklar ise başlıca olarak kuvars ve feldspat gibi kil dışı minerallerden kaynaklanmaktadır. Ancak, baskın olarak kil mineralleri yer aldığından kil dışı minerallerin oranı düşüktür [1-4].

Kil mineralleri, oluşumları, yapıları ve bileşimlerine göre başlıca dört gruba (kaolin, simektit, illit, klorit) ayrılmaktadır. Endüstriyel, tıbbi ya da çeşitli kullanım alanlarına göre farklı kil grupları öne çıkmaktadır. Ancak genel olarak simektit grubu kil mineralleri diğer grup mineraller arasında yaygın olarak tercih edilmektedir [5,6].

Simektit grubuna ait kil mineralleri genellikle $(Mg,Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$ molekül formülü ile ifade edilmektedir. Katmanlar arasındaki su molekülleri ise molekül formülünde yer alan nH_2O ile ifade edilmektedir. Bu gruba dahil kil minerallerinin katman yapısı 2:1 olarak tanımlanmakta ve iki tetrahedral ve bir oktahedral katmandan oluşmaktadır. Katmanlar

arasında kuvvetli iyonik bağlar ve zayıf Van der Waals bağları bulunmaktadır. İyonik bağlar tetrahedral ve oktahedral yapılar arasında yer alırken, Van der Waals bağları katmanlar arasında yer alarak yaklaşık 0,96 nm bazal mesafe ile süreklilik sağlanmaktadır [7,8].

Simektit grubuna ait kil mineralleri farklı tür ve bileşimlerde yer almaktadır. Yaygın olarak 'Montmorillonit' minerali olmasına rağmen izomorfik iyon değişimleri sonucunda bidellit, nontronit, hektorit ya da saponit gibi türleri de bulunmaktadır. Bu türler dioktahedral (bidellit, nontronit) ve trioktahedral (hektorit, saponit) yapıdan oluşmaktadır. Montmorillonit mineralinde yer alan Fe^{3+} iyonunun Al^{3+} ile yer değişimi sonucunda bidellit ve nontronit oluşmaktadır. Oktahedral boşluklar arasında yüksek oranda Mg^{2+} iyonu bulunduğu durumlarda ise hektorit meydana gelmektedir. Saponit ise oktahedral boşluklar arasında yüksek oranda Mg^{2+} iyonları bulunmasına rağmen bu iyonların Fe^{2+} ve Al^{3+} ile düşük oranda yer değişimi sonucu oluşmaktadır [3,9-13].

Simektit grubu kil mineralleri arasında ise kullanım alanlarına bağlı olarak 'Bentonit' öne çıkmaktadır. Baskın iyonuna göre ise sodyum bentonit (Na-Ben), kalsiyum bentonit (Ca-Ben) ve ara tip (Na/Ca-Ben) bentonit olmak üzere üç tip bentonit bulunmaktadır. Kullanım amacına göre farklı tip bentonitler yüksek verim göstermektedir. Kullanım amacına göre sondaj ve döküm sektörleri olmak üzere birçok alanda yer almaktadır. Sondaj sektöründe petrol, jeotermal ve doğalgaz sondajlarında derinliğe bağlı olarak yeraltı sıcaklığının artışı ve döküm sektöründe kalıp sıcaklığı düşünüldüğünde bentonitlerin ısı özellikleri oldukça önem kazanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, Seyitgazi-Eskişehir bölgesine ait bentonitlerin kullanım alanlarının genişletilmesi ve ısı işlemlerin yer aldığı sektör ve endüstrilerde kullanımına yönelik araştırmaların yapılması amaçlanmıştır. Böylece termal özelliklerinin detaylı olarak araştırılması ve farklı sıcaklık seviyelerine karşı etkileşimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu sebeple Seyitgazi-Eskişehir bölgesi bentonitlerinin oluşumları, jeolojik özellikleri ve termal karakterizasyonu incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı lokasyonlardan örnekler toplanıp; ES-1A, ES-1B, ES-1C, ES-2A, ES-2B ve ES-3 olarak kodlanmıştır. Toplanan örneklere öğütme-

eleme işlemleri uygulandıktan sonra karakterizasyon çalışmaları XRF ve XRD analizleriyle yapılmıştır. Termogravimetrik ölçümler ile numunelerin termal karakterizasyonları değerlendirilmiştir.

2. JEOLJİ

Seyitgazi (Eskişehir) bölgesini kapsayan alanda yapılan jeolojik çalışmalarda bentonit oluşturabilecek sahalara incelenmiştir. Yapılan inceleme ve bölgede yapılmış çalışmalara göre Afyon Metamorfitleri, Bozkır Birliği ve Örtü birimleri olmak üzere üç gruba ayırıldığı tespit edilmiştir [13].

Bu çalışmada Afyon Metamorfitleri olarak mikaşist, şist, para ve ortognayslar ile metariyolit ve metabazitlerden oluşan Prekambriyen yaşlı İhsaniye formasyonu; kuvarsit, metaçakıltaşı, kuvarsşist, kalkışist ve mermerden oluşan Geç Permiyen yaşlı İncehisar formasyonu; metaçakıltaşı, kuvarsit, şist, rekristalize dolomitik kireçtaşlarından oluşan Erken-Orta Triyas yaşlı Kıyır formasyonu; rekristalize dolomit ve rekristalize dolomitik kireçtaşından oluşan Orta-Geç Triyas yaşlı Şaphane Dağı formasyonu; metaçakıltaşı, rekristalize kireçtaşı, rekristalize dolomitik kireçtaşı ve çörtlü rekristalize kireçtaşlarından oluşan Jura-Kretase yaşlı Budağan formasyonu; metakırıntılı, kalkışist, rekristalize kireçtaşı ve değişik kaya türü bloklarından oluşan Geç Kretase yaşlı Kayı formasyonundan oluştuğu ifade edilmiştir [13].

Bozkır Birliği inceleme alanında, Geç Kretase yaşlı Dağardı melanjı ve Triyas-Kretase yaşlı Domuzdağ napına ait neritik kireçtaşlarından oluşan Orta-Geç Triyas yaşlı Çiğdemli formasyonu ile temsil edilmektedir [13].

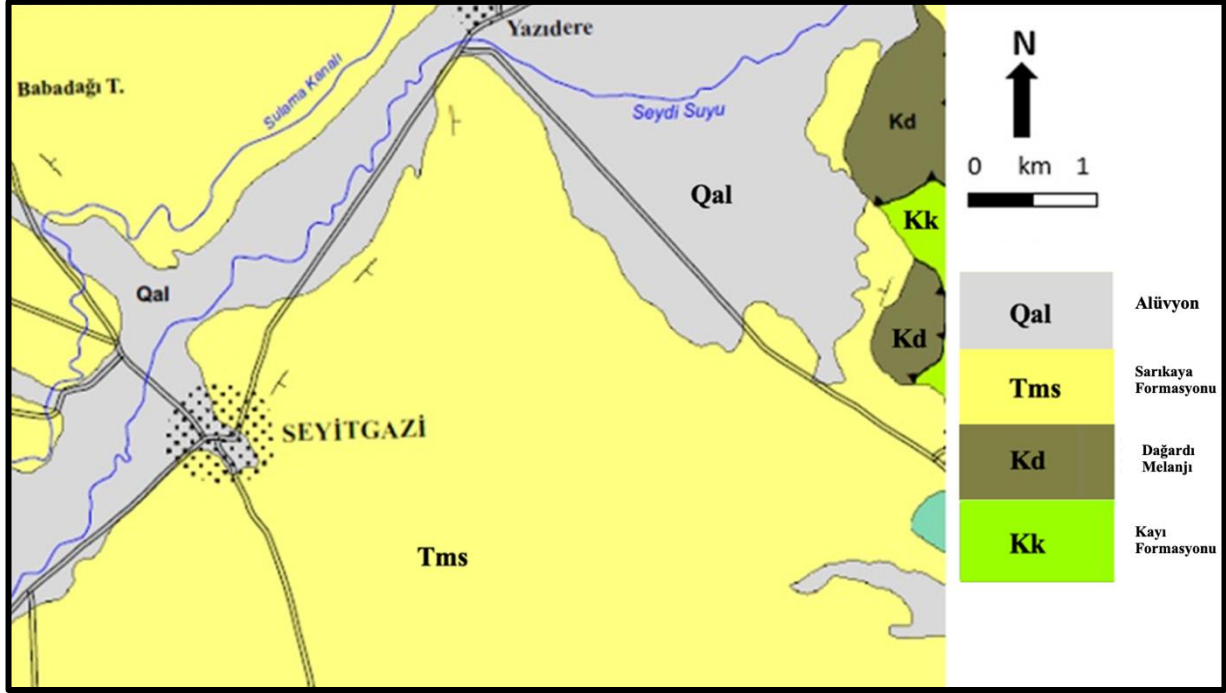
Örtü birimlerinin tabanında Geç Paleosen-Orta Eosen yaşlı altta çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı, yumrulu kireçtaşı üste doğru killi kireçtaşı ve kireçtaşından oluşan denizel Hanköy formasyonu bulunmaktadır. Üzerinde uyumsuz olarak Erken Miyosen yaşlı Seydiler ignimbiriti ile riyolit, riyodasit ve dasitten oluşan İdrisyayla volkaniti ve boratlı zonlar ile yer yer tuf düzeyleri içeren killi kireçtaşı, kireçtaşı, kilttaşı, silttaşı, marn ve kumtaşlarından oluşan gölsel ortamda çökelmiş Sarıkaya formasyonu yer almaktadır. Orta Miyosen, bazalt bileşimli lavlardan oluşan Kesenler volkaniti ile Geç Miyosen ise marn, kireçtaşı, jips, çakıltaşı, kumtaşından oluşan Uruş formasyonu ile temsil edilmektedir. Örtü birimleri, çakıltaşından oluşan Pliyosen yaşlı Kıran formasyonu ve kumtaşı, gevşek tutturulmuş çakıltaşı, silttaşı ve kilttaşından oluşan Erken Pleyistosen yaşlı Pörnek formasyonu ile devam ederek Kuvaterner yaşlı alüvyon ile sona erdiği belirlenmiştir [13].

Sondaj çamuruna uygun bentonit oluşturabilecek sahalara yönelik olarak örtü birimlerinden Sarıkaya Formasyonu (Tms) incelenmiş ve Sarıkaya Formasyonu orta kesimlerinde borat oluşumları da içeren kireçtaşı, killi kireçtaşı, silttaşı, kilttaşı ve tuf ara seviyelerinden oluşan formasyon, ilk kez Yalçın [14] tarafından Sarıkaya formasyonu adıyla incelenmiştir. Tipik mostraları Eti Maden Kırka işletmesindeki Sarıkaya Tepe'de bulunan birim, inceleme alanında Üçsaray, Ayvalı, Gümüşbel köyleri, Seyitgazi ilçesi, Bardakçı, Çatören köyleri, Kırka ilçesi, Karaören, Gökçekuyu, Gökbağçe, Ağlarca, Malıca, Çukurkuyu, Eski Eymir köyleri çevresinde geniş bir alanda yayılım gösterdiği ifade edilmiştir. Formasyonun tabanı sarımsı renkli, ince tabakalı kilttaşı ve tuf ara seviyeleri içeren, masif yapılı, orta-kalın tabakalı, kireçtaşları ile başlamaktadır. Bu seviyenin üzerinde ince tabakalı killi kireçtaşları yer almaktadır. Üzerine ise kilttaşı, marn, kireçtaşı araldanmasından oluşan yer yer pomza parçaları içeren tuf ara katkılı, killi karbonatlı borat zonu bulunmaktadır. Borat zonundaki minerallerin arazideki konumları genel olarak masif ve ınsal yapılı olup karbonatlı ve killi seviyeler ile araldanmalı olarak gözlenmektedir. Makro örneklerde belirlenen ana bor mineralleri kolemanit, üleksit ve borakstır. Bu mineraller yatak içinde Na, Na/Ca ve Ca-borat biçiminde mineralojik zonlanma göstermektedirler [14]. Bu zonun üstündeki laminasyonlu kilttaşı, killi kireçtaşı araldanması sarımsı, krem renkli, orta-kalın tabakalıdır. En üstte ise boratlı zonun örtü kayasını oluşturan kalın tabakalı, yer yer çörtlü (yumrulu/bantlı), üste doğru yaygın erime boşluklu kireçtaşları bulunmaktadır. Bu kireçtaşları arasında seyrek olarak ince tabakalı kilttaşı, silttaşı ve kumtaşı ara seviyeleride bulunmaktadır. Formasyonun inceleme alanındaki görünür kalınlığı sondaj verilerine göre 450 m civarındadır [13,14].

Ayrıca bölgede sondaj çamuruna uygun olabilecek bentonit yataklarında bulunan sahalarda bulunan Uruş Formasyonu (Tmu) yer almaktadır. Uruş formasyonu, beyaz renkli, orta tabakalı marn, beyaz gri renkli, ince-orta tabakalı, gastropodalı kireçtaşı araldanması ile başlamaktadır. Bu seviyeler arasında yer yer jips oluşumları da mevcuttur. Birimin üst kesimleri ise yeşil, sarı, kahverengi renkli kilttaşı, beyaz renkli marn ve kireçtaşı araldanımı ile yer yer çakıltaşı ve kumtaşı ara düzeylerinden ve jips ara katkılarında oluşmuştur. Bu dizilim ile alacalı bir görünüm kazanır. Birimin kalınlığı yaklaşık 200 metre civarındadır [13].

Çalışma yapılan sahanın doğu kısmında Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanj ve metamorfik birimlerden Kayı formasyonunun da yer aldığı görülmektedir. Seydi Deresi

boyunca alüvyal malzemelerin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Seyitgazi-Eskişehir Bölgesi Jeoloji Haritası [15]

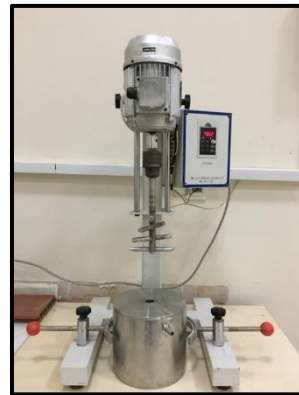
3. MATERYAL VE METOT

Analizler kapsamında kullanılan numuneler Eskişehir ili Seyitgazi ilçesi bölgesinde farklı lokasyonlardan temin edilmiştir. Numune kodları ve alındığı koordinatlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numune Kodları ve Koordinatlar

| Numune Kodu | Koordinatlar (Y/X) |
|-------------|--------------------|
| ES-1A | 291183 / 4362528 |
| ES-1B | 291183 / 4362528 |
| ES-1C | 291183 / 4362528 |
| ES-2A | 291156 / 4362568 |
| ES-2B | 291156 / 4362568 |
| ES-3 | 291193 / 4362589 |

Temin edilen numunelere Şekil 1’de yer alan dikey karıştırıcı bilyalı değirmen ile zirkon alümina öğütme bilyaları kullanılarak öğütme işlemi uygulanmıştır. Öğütme işlemi esnasında Tablo 2’de verilen parametreler uygulanmıştır. Öğütme işlemi sonrası 75 µm gözenek çaplı elekten geçirilerek numuneler analizlere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Öğütme İşleminde Kullanılan Dikey Karıştırıcı Bilyalı Değirmen

Tablo 2. Öğütme İşlemi Parametreleri

| | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-----|
| Hedef Tane Boyutu | 75 µm | |
| Kurutma İşlemi | 80 °C / 120 dk | |
| Öğütme Hızı (devir/dk) | 750 | |
| Öğütme Süresi (dk) | 180 | |
| Bilya Çapı (mm) ve Miktarı (g) | 0,2 | 500 |
| | 0,3 | 350 |
| | 0,5 | 450 |
| | 1,0 | 600 |
| Basınç / Soğutma | Atmosfer basıncı Su soğutmalı | |

Öğütme ve eleme işlemleri uygulandıktan sonra numunelerin karakterizasyon çalışmaları X-ışını floresans spektroskopisi (XRF) ve X-ışını difraksiyon spektroskopisi (XRD) analizleriyle yapılmıştır.

XRF analizleri PANalytical marka Minipal-4 model XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda numunelerin kimyasal bileşimi ile Eşitlik

1'de verilen Mass Ratio (MR) yöntemi kullanılarak bentonit tipleri belirlenmiştir.

$$MR = \frac{Na_2O + K_2O}{CaO + MgO} \quad (1)$$

(Na-Ben: $MR > 1$, Na/Ca-Ben: $0.35 < MR < 1$, Ca-Ben: $MR < 0.35$)

XRD analizleri PANalytical marka Empyrean model cihaz kullanılarak Cu tüpler ile 2θ tarama hızı ve 5-90 derece aralığı koşullarında yapılmıştır.

Termogravimetrik analizler (TGA) Mettler Toledo marka TGA3+ model cihaz kullanılarak 25-1200 °C aralığı ve 20 °C/dk ısıtma hızı koşullarında yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Karakterizasyon Sonuçları

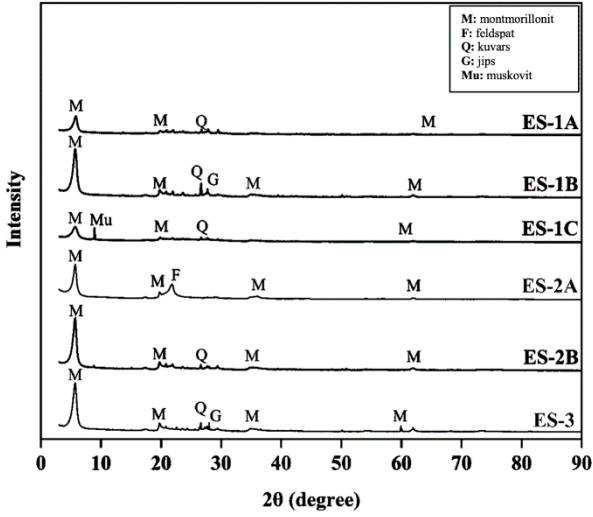
Çalışma kapsamında kullanılan numunelerin XRF analiz sonuçları (ortalama) ve MR değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçlara göre numunelerin tamamının Ca-Ben olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla Na-Ben ve Na/Ca-Ben tip bentonitlere kıyasla şişme özelliklerinin daha düşük olacağı görülmüştür. MR değerlerine göre değerlendirildiğinde şişme özelliği en düşük numune ES-1A, en yüksek numuneler ise ES-1C ve ES-3 kodlu numuneler olmuştur.

Tablo 3. X-ışını Floresans Spektroskopisi Analiz Sonuçları

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | Diğer | K.K. | MR |
|-------|------------------|--------------------------------|------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------|-------|------|
| ES-1A | 55,51 | 16,00 | 5,33 | 3,74 | 2,35 | 0,42 | 0,80 | 0,86 | 14,99 | 0,13 |
| ES-1B | 57,80 | 15,57 | 5,58 | 2,85 | 2,12 | 0,95 | 0,65 | 1,15 | 13,33 | 0,19 |
| ES-1C | 53,94 | 16,53 | 4,66 | 3,15 | 2,50 | 0,90 | 1,09 | 0,76 | 16,47 | 0,25 |
| ES-2A | 58,21 | 12,90 | 4,80 | 4,04 | 3,10 | 0,74 | 0,93 | 1,28 | 14,00 | 0,19 |
| ES-2B | 56,59 | 15,15 | 4,90 | 3,64 | 2,95 | 0,70 | 0,76 | 1,47 | 13,84 | 0,17 |
| ES-3 | 55,65 | 15,94 | 4,13 | 3,63 | 2,86 | 0,99 | 0,98 | 1,19 | 14,63 | 0,25 |

Numunelerin XRD analizlerinden elde edilen spektrumları Şekil 3'te verilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre örneklerde <20° de montmorillonit (M), 25°-30° de kuvars (Q) (ES-2A hariç) ve 55°-65° de düşük montmorillonit pikleri görüldü. Ayrıca ES-1C'de 5°-10° aralığında muskovit (Mu) piki tespit edildi. jips (G) pikleri 25°-

30° de ES-1B ve ES-3'te görüldü. ES-2A için 20°-25° arasında feldspat (F) piki tespit edildi. Bazı örneklerde (ES-1B ve ES-3) kil olmayan minerallere ait pikler görüldü. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde örneklerin bentonit ile karakterize olduğu tespit edilmiştir.

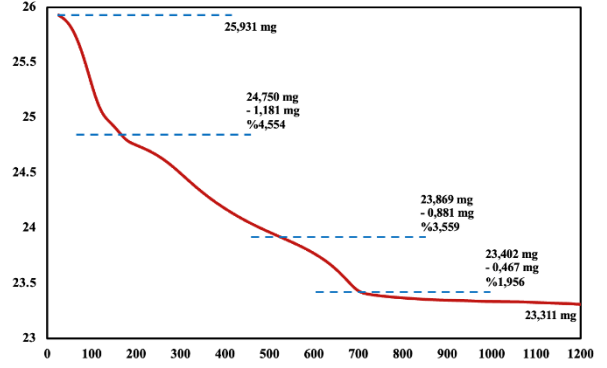


Şekil 3. Numunelerin X-Işını Difraksiyon Spektrumları

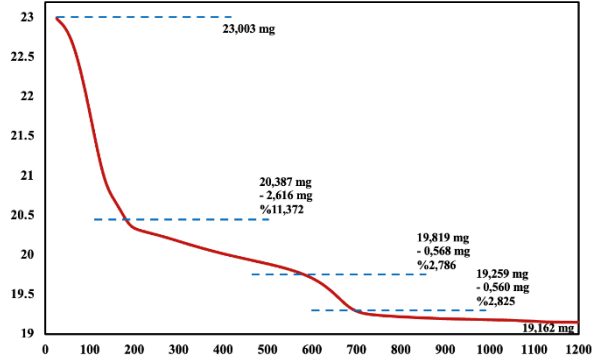
4.2. Termogravimetrik Analizler

ES1-A, ES1-B, ES1-C, ES2-A, ES2-B ve ES-3 kodlu numunelere ait TGA analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

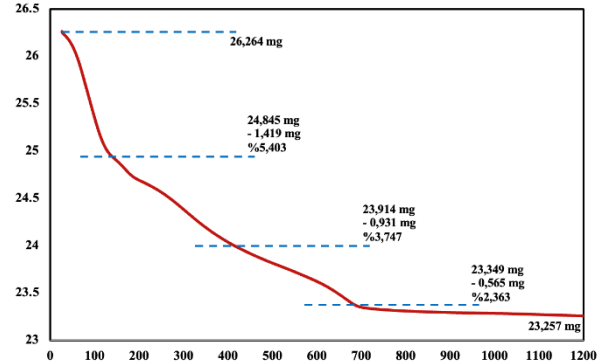
ES1-A kodlu numuneye ait TGA grafiğine göre 25,931 mg numune ile analize başlanıp; 25-200 °C aralığında %4,554 oranında kütle azalması meydana gelmiştir. Bu azalma numunenin su kaybindan kaynaklanmış ve iki aşamada gerçekleşmiştir. 25-120 °C değerine kadar olan kütle kaybı nem ve yüzeye tutunmuş serbest su moleküllerinin uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 120-200 °C aralığında olan kayıp ise tabakalar arasındaki katyonlara bağlı absorplanmış gözenek suyunun uzaklaşması ile oluşmuştur. Bu iki aşama sonucunda toplam 1,181 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 200-550 °C aralığında meydana gelen düşük kütle kayıplarının ise safsızlık olarak nitelendirilen kil dışı mineraller ile organik bileşenlerden kaynaklanmıştır. Bu aşamada %3,559 oranında 0,881 mg kütle azalması olmuştur. TGA grafiği yüksek sıcaklıklar için incelendiğinde 550-725 °C aralığında %1,956 oranında kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıp bentonit numunesinin dehidroksilasyonu sonucu oluşmuş; hidroksil gruplarının uzaklaşması ile birlikte 0,467 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 750 °C üstü görülen kütle kayıpları ise bentonit içeriğinde yer alan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşiklerinin ayrışması sonucu CaO ve MgO oluşması ve bu tepkimeye bağlı CO₂ gazının uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 950 °C üstü derecelerde cam-silikat fazı oluşarak sinterleşme başlamaktadır. Analiz süresince toplam %10,104 oranında 2,62 mg kütle kaybı olmuştur.



Şekil 4. ES-1A Kodlu Numunenin Termogravimetrik Analizi



Şekil 5. ES-1B Kodlu Numunenin Termogravimetrik Analizi



Şekil 6. ES-1C Kodlu Numunenin Termogravimetrik Analizi

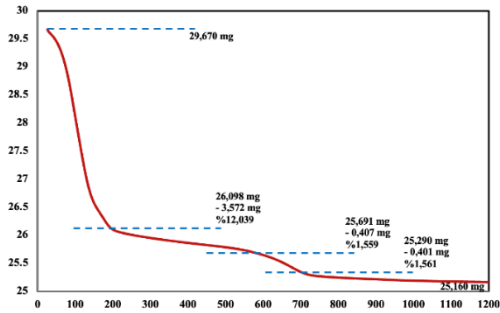
ES1-B kodlu numuneye ait TGA grafiği incelendiğinde 23,003 mg numune ile analize başlanıp; 25-190 °C aralığında %11,372 oranında kütle azalması meydana gelmiştir. Bu azalma numunenin su kaybindan kaynaklanmış ve iki aşamada gerçekleşmiştir. 25-110 °C değerine

kadar olan kütle kaybı numunedeki nem ve yüzeye tutunmuş serbest su moleküllerinin uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 110-190 °C aralığında olan kayıp ise tabakalar arasındaki katyonlara bağlı absorplanmış gözenek suyunun uzaklaşması sonucu oluşmuştur. Bu iki aşama sonucunda toplam 2,616 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 200-550 °C aralığında meydana gelen düşük kütle kayıplarının ise safsızlık olarak nitelendirilen kil dışı mineraller ile organik bileşenlerden kaynaklandığı söylenebilmektedir. Bu aşamada %2,786 oranında 0,568 mg kütle azalması olmuştur. TGA grafiği yüksek sıcaklıklar için incelendiğinde 575-725 °C aralığında %2,825 oranında kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıp bentonit numunesinin dehidroksilasyonu sonucu oluşmuş; hidroksil gruplarının uzaklaşması ile birlikte 0,560 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 725 °C üstü görülen düşük kütle kayıpları ise bentonit içeriğinde yer alan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşiklerinin ayrışması sonucu CaO ve MgO oluşması ve bu tepkimeye bağlı CO₂ gazının uzaklaşması neticesinde meydana gelmiştir. 900 °C üstü derecelerde ise cam-silikat fazı oluşarak sinterleşme başlamaktadır. Analiz süresince toplam %16,698 oranında 3,841 mg kütle kaybı olmuştur.

ES1-C kodlu numuneye ait TGA grafiği incelendiğinde 26,264 mg numune ile analize başlanıp; 25-160 °C aralığında %5,403 oranında kütle azalması meydana gelmiştir. Bu azalma numunenin su kaybindan kaynaklanmış ve iki aşamada gerçekleşmiştir. 25-110 °C değerine kadar olan kütle kaybı numunedeki nem ve yüzeye tutunmuş serbest su moleküllerinin uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 110-160 °C aralığında olan kayıp ise tabakalar arasındaki katyonlara bağlı absorplanmış gözenek suyunun uzaklaşması sonucu oluşmuştur. Bu iki aşama sonucunda toplam 1,419 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 175-450 °C aralığında meydana gelen düşük kütle kayıplarının ise safsızlık olarak nitelendirilen kil dışı mineraller ile organik bileşenlerden kaynaklandığı söylenebilmektedir. Bu aşamada %3,747 oranında 0,931 mg kütle azalması olmuştur. TGA grafiği yüksek sıcaklıklar için incelendiğinde 475-700 °C aralığında %2,363 oranında kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıp bentonit numunesinin dehidroksilasyonu sonucu oluşmuş; hidroksil gruplarının uzaklaşması ile birlikte 0,565 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 725 °C üstü görülen düşük kütle kayıpları ise bentonit içeriğinde yer alan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşiklerinin ayrışması sonucu CaO ve MgO oluşması ve bu tepkimeye bağlı CO₂ gazının uzaklaşması neticesinde meydana gelmiştir. 900 °C üstü derecelerde ise cam-silikat fazı oluşarak sinterleşme başlamaktadır. Analiz süresince toplam %11,449 oranında 3,007 mg kütle kaybı olmuştur.

ES2-A kodlu numuneye ait TGA grafiği incelendiğinde

29,670 mg numune ile analize başlanıp; 25-200 °C aralığında %12,039 oranında kütle azalması meydana gelmiştir. Bu azalma numunenin su kaybindan kaynaklanmış ve iki aşamada gerçekleşmiştir. 25-110 °C değerine kadar olan kütle kaybı numunedeki nem ve yüzeye tutunmuş serbest su moleküllerinin uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 110-200 °C aralığında olan kayıp ise tabakalar arasındaki katyonlara bağlı absorplanmış gözenek suyunun uzaklaşması sonucu oluşmuştur. Bu iki aşama sonucunda toplam 3,572 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 225-575 °C aralığında meydana gelen düşük kütle kayıplarının ise safsızlık olarak nitelendirilen kil dışı mineraller ile organik bileşenlerden kaynaklandığı söylenebilmektedir. Bu aşamada %1,559 oranında 0,407 mg kütle azalması olmuştur. TGA grafiği yüksek sıcaklıklar için incelendiğinde 600-725 °C aralığında %1,561 oranında kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıp bentonit numunesinin dehidroksilasyonu sonucu oluşmuş; hidroksil gruplarının uzaklaşması ile birlikte 0,401 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 750 °C üstü görülen düşük kütle kayıpları ise bentonit içeriğinde yer alan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşiklerinin ayrışması sonucu CaO ve MgO oluşması ve bu tepkimeye bağlı CO₂ gazının uzaklaşması neticesinde meydana gelmiştir. 900 °C üstü derecelerde ise cam-silikat fazı oluşarak sinterleşme başlamaktadır. Analiz süresince toplam %15,2 oranında 4,510 mg kütle kaybı olmuştur.

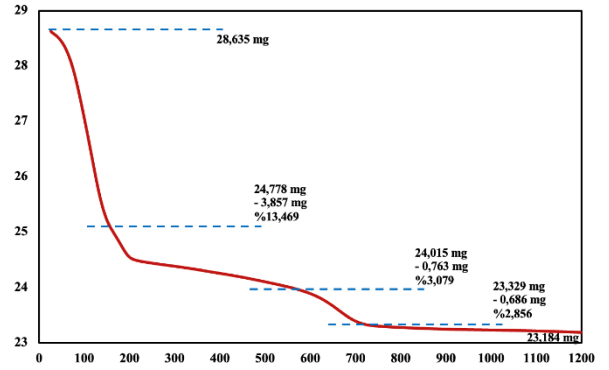


Şekil 7. ES-2A Kodlu Numunenin Termogravimetric Analizi

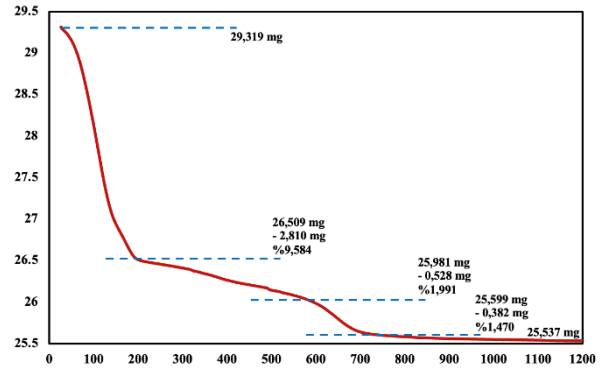
ES2-B kodlu numuneye ait TGA grafiği incelendiğinde 28,635 mg numune ile analize başlanıp; 25-180 °C aralığında %13,469 oranında kütle azalması meydana gelmiştir. Bu azalma numunenin su kaybindan kaynaklanmış ve iki aşamada gerçekleşmiştir. 25-110 °C değerine kadar olan kütle kaybı numunedeki nem ve yüzeye tutunmuş serbest su moleküllerinin uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 110-180 °C aralığında olan kayıp ise tabakalar arasındaki katyonlara bağlı absorplanmış gözenek suyunun uzaklaşması sonucu oluşmuştur. Bu iki aşama sonucunda toplam 3,857 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 200-550 °C aralığında meydana gelen düşük kütle kayıplarının ise safsızlık olarak nitelendirilen kil

dışı mineraller ile organik bileşenlerden kaynaklandığı söylenebilmektedir. Bu aşamada %3,079 oranında 0,763 mg kütle azalması olmuştur. TGA grafiği yüksek sıcaklıklar için incelendiğinde 550-725 °C aralığında %2,856 oranında kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıp bentonit numunesinin dehidroksilasyonu sonucu oluşmuş; hidroksil gruplarının uzaklaşması ile birlikte 0,686 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 750 °C üstü görülen düşük kütle kayıpları ise bentonit içeriğinde yer alan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşiklerinin ayrışması sonucu CaO ve MgO oluşması ve bu tepkimeye bağlı CO₂ gazının uzaklaşması neticesinde meydana gelmiştir. 950 °C üstü derecelerde ise cam-silikat fazı oluşarak sinterleşme başlamaktadır. Analiz süresince toplam %19,036 oranında 5,451 mg kütle kaybı olmuştur.

ES-3 kodlu numuneye ait TGA grafiği incelendiğinde 29,319 mg numune ile analize başlanıp; 25-200 °C aralığında %9,584 oranında kütle azalması meydana gelmiştir. Bu azalma numunenin su kaybından kaynaklanmış ve iki aşamada gerçekleşmiştir. 25-115 °C değerine kadar olan kütle kaybı numunedeki nem ve yüzeye tutunmuş serbest su moleküllerinin uzaklaşması ile meydana gelmiştir. 115-200 °C aralığında olan kayıp ise tabakalar arasındaki katyonlara bağlı absorplanmış gözenek suyunun uzaklaşması sonucu oluşmuştur. Bu iki aşama sonucunda toplam 2,810 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 200-600 °C aralığında meydana gelen düşük kütle kayıplarının ise safsızlık olarak nitelendirilen kil dışı mineraller ile organik bileşenlerden kaynaklandığı söylenebilmektedir. Bu aşamada %1,991 oranında 0,528 mg kütle azalması olmuştur. TGA grafiği yüksek sıcaklıklar için incelendiğinde 625-775 °C aralığında %1,470 oranında kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Bu kayıp bentonit numunesinin dehidroksilasyonu sonucu oluşmuş; hidroksil gruplarının uzaklaşması ile birlikte 0,382 mg kütle kaybı meydana gelmiştir. 800 °C üstü görülen düşük kütle kayıpları ise bentonit içeriğinde yer alan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşiklerinin ayrışması sonucu CaO ve MgO oluşması ve bu tepkimeye bağlı CO₂ gazının uzaklaşması neticesinde meydana gelmiştir. 950 °C üstü derecelerde ise cam-silikat fazı oluşarak sinterleşme başlamaktadır. Analiz süresince toplam %12,899 oranında 3,782 mg kütle kaybı olmuştur.



Şekil 8. ES-2B Kodlu Numunenin Termogravimetrik Analizi



Şekil 9. ES-3 Kodlu Numunenin Termogravimetrik Analizi

5. SONUÇ

Yapılan çalışma kapsamında çalışma sahasının bentonit rezervlerine sahip olduğu jeolojik incelemeler ile belirlenmiştir. Toplanan numunelere detaylı karakterizasyon çalışması yapılmış olup; numunelerin tamamının bentonit olduğu belirlenmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre ise bu numunelerin kalsiyum tip bentonit olduğu belirlenmiştir. Bu durum çalışma alanındaki bentonitlerin düşük şişme özelliği göstereceğini ifade etmektedir. Bu sebeple bentonit kullanım alanları dikkate alındığında şişme özelliğine ihtiyaç duyulmayan sektör ve endüstrilerde kullanılmasının daha uygun olacağı görülmektedir. Mineralojik incelemeler sonucunda kil dışı minerallerin de yer aldığı XRD analizi ile belirlenmiştir. Bu durum çalışma alanından üretilecek bentonitlerin kullanım alanlarına veya endüstrilerine göre saflaştırma işlemi gerektirebileceğini göstermektedir. Termogravimetrik özellikleri değerlendirildiğinde ise serbest su moleküllerinin ve absorplanmış gözenek suyunun 200 °C

değerine kadar uzaklaştığı ve numunelerde yaklaşık olarak %4-14 oranında yer aldığı belirlenmiştir. Organik bileşenler başta olmak üzere kil dışı maddelerin ise 600 °C değerine kadar uzaklaştığı ve yaklaşık olarak %1,5-3,5 oranında yer aldığı belirlenmiştir. Hidroksil grupları ve CO₂ salınımı ise 750 °C değerine kadar gerçekleştiği ve yaklaşık olarak %1-3 oranında olduğu termogravimetric analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Analiz sürecince toplam kütle kayıplarının ise %10-19 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre başta döküm ile seramik sektörleri olmak üzere düşük şişme oranına sahip bentonitlerin kullanılabilmesi için bir çok alana uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, farklı aktivasyon yöntemleri kullanılarak ara tip ya da sodyum tip bentonitlere dönüştürülmesi halinde ise başta sondaj ve inşaat sektörü olmak üzere şişme özelliğinin gerektiği alanlarda da kullanımına olanak bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Erdem B. Na-bentonit ve organo-bentonit üzerine boya adsorpsiyonunun incelenmesi. Anadolu Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir. 2004.
- [2] Kayıkcı N. Eskişehir yöresi bentonitlerinin yağ ağartma kapasitelerinin belirlenmesi ve boyarmadde adsorpsiyonlarının incelenmesi. Anadolu Üniversitesi. Doktora Tezi, Eskişehir. 1989.
- [3] Erdoğan Y, Kök O E. Production and characterization of nanobentonite from sodium bentonite with mechanical grinding. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2019; 11 (28): 8141-50.
- [4] Hunter R J. The flow behavior of coagulated colloidal dispersions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 1982; 17(1):197.
- [5] Kök O E. Nanobentonit eldesi ve karakterizasyonu. Iskenderun Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Hatay. 2017.
- [6] Anderson R L, Ratcliffe I, Greenwell H C, Williams P A, Cliffe S, Coveney P V. Clay swelling—a challenge in the oilfield. *Earth-Science Reviews*. 2010; 98(3-4):201-16.
- [7] Tüysüz E. Çankırı-eldivan yöresi bentonitinin döküm kalıp kumu özelliklerine etkisinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. 2016.
- [8] Holtz R, Kovacs W. Geoteknik mühendisliğine giriş. Gazi Kitabevi. Ankara. 2010.
- [9] Moore D M, Reynolds Jr R C. X- ray diffraction and identification and analysis of clay minerals. Cambridge University Press. Oxford, New York. 1997.
- [10] Hancıoğlu Ç. Kaolin ve bentonit türü killerde bulunan silikaların belirlenmesi. Ankara Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara. 2015.

- [11] Erdoğan Y, Kök O E. Flow characteristics of eldivan-çankırı (Turkey) bentonites compared to wyoming (USA) in drilling muds: an experimental approach. *Current Researches in Engineering and Architecture Sciences*. 2020; 91.
- [12] Berger G. The structure of montmorillonite. *Chemical Weekblad*. 1941; 38: 42-43.
- [13] Mineral Research and Exploration General Directorate (MTA). Geological report of J-25 layout. 2018a. Turkey.
- [14] Yalçın H. Kırka (Eskişehir) yöresi volkanosedimenter oluşumların minerolojik-petrografik ve jeokimyasal incelemesi. Hacettepe Üniversitesi. Doktora Tezi, Ankara. 1988.
- [15] Mineral Research and Exploration General Directorate (MTA). Geological map of J-25 layout (1/100.000). 2018b. Turkey.