

İSTANBUL DOĞU YAKASI MAGMATİK KAYAÇLARININ AYRIŞMASI VE AYRIŞMANIN JEOLJİK, PETROGRAFIK-MİNERALOGİK İZLERİ

Erkan BOZKURTOĞLU*, Şenel ÖZDAMAR, Mustafa KUMRAL
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Çalışma alanı stratigrafisi Kretase yaşlı bazalt ve bazaltik andezitler ile başlayıp bu kayaçların ayrışması ile oluşan ürünler ile devam eder. Bu istif üzerinde İstanbul'un güneyindeki kayaçların ayrışma ürünü kumlar yer alır ve güncel çökeller ile sonlanır. Birimlerin fizikomekanik, kayaç değişim değeri (KDD), kayaç değişim oranı (KDO), pelitler ile psammitlerin içerisindeki killerin serbest şişme (SS) değeri hesaplanmıştır. Çalışma alanı için KDD–KDO ve KDO–KDD, porozite–serbest şişme, porozite–birim hacim ağırlık değerleri, KDD–dane birim hacim ağırlık, KDO–dane birim hacim ağırlık, nokta yük–KDD, nokta yük–KDO arasında güvenilir eşitlikler önerilmiştir. Volkanitlerin orta ayrışmadan ileri ayrışma aşamasına geçişte bölgenin volkanizma etkisinde kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayrışma, Kayaç Değişim Değeri, Kayaç Değişim Oranı, Fizikomekanik Özellikler, Serbest Şişme, Mineraloji, Petrografi, Jeokimya

THE WEATHERING OF EASTERN İSTANBUL MAGMATIC ROCKS AND ITS GEOLOGICAL, PETROGRAPHICAL-MINERALOGICAL TRACES

ABSTRACT

The stratigraphic basement in the study area begins with Cretaceous basalts and basaltic andesite and continuous with weathered products of these rocks. The sands which are the weathering products of the İstanbul south part rocks overlap the basement and these series are ended with current sediments. The units of physicomechanic properties, rock change value (RCV), rock change ratio (RCR), free swelling (FS) value of pelites and the clay contents of the psammities were calculated. The reliable equations are proposed between the RCV–RCR, RCR–RCV (where $R^2 = 0.9991$ and 0.9989).

*corresponding author: erkan@itu.edu.tr

Furthermore, some equations were also defined between porosity–free swelling, porosity–unit weights, RCV–specific unit weight, RCR–specific unit weight, point load–RCV, point load–RCR. It is determined that the rocks were affected by a new volcanic activity when it changed from moderate to completely weathered.

Keywords: Weathering, Rock Change Value, Rock Change Ratio, Physicomechanic Properties, Free Swelling, Mineralogy, Petrography, Geochemistry

1. GİRİŞ

Kayaçlar oluşumundan itibaren iç ve dış etmenler etkisinde kalarak ayrışır ve değişirler. Taze kayaktan sonuç ürüne gelişen değişimler sonucunda; zemin ve toprak oluşumunun yanı sıra ekonomik değere sahip ürünler de gelişebilir. Bu çalışmada İstanbul ilinin doğusunda yaygın mostra veren volkanik kayaçların oluşumundan günümüze ne tür ayrışma ürünleri ürettiği, bu ürünlerin fizikomekanik özellikleri, kayaç değişim değerleri (KDD) ve kayaç değişim oranları (KDO) belirlenmiş, söz konusu çalışma alanında killeşmeye giden süreçte etkin evrilmenin gelişimi jeolojik, mineralojik ve petrografik izler ile denetlenmiştir. Gerek yerinde ayrışma ile oluşmuş pelitler gerekse havzaya İstanbul Anadolu yakasının güney kesiminde İstanbul Zonu'nun Paleozoyik serisi kayaçları ile Mesozoyik yaşlı granodiyorit kayaçlarının ayrışması sonucunda oluşmuş kumların taşınıp çökmesi ile yerleşmiş olan psammitlerin içerdiği killer çalışma alanının ince daneli malzemesini oluşturur [1]. Bölgedeki killeşmenin köken kayacı Kretase yaşlı başta bazalt ve bazaltik andezitler olmak üzere volkanik kayaçlardır [2]. Oluşumlarını Senozoyik zaman diliminde tamamlayarak kaynak alan olan İstanbul'un güneyinden kuzeyine taşınmış kumların kil içerikleri ise son derece düşüktür. Jeokimyasal veriler (Tablo 1) orta – aşırı ayrışmış volkanik kayaktan aşırı ayrışmış volkanik kayaca devam eden evrilmede bölgede etkin magmatik faaliyet ve juvenil akışkanın varlığını kanıtlamıştır. Fiziksel deneyler ise kayaç ayrışması sonucunda kuru birim hacim ağırlık değerinde %32.71, dane birim hacim ağırlık değerinde %22.67 oranında azalma, su içeriği değerinde 77.62 kat, porozite değerinde 54.47 kat, boşluk oranı değerinde 188.62 kat artma olduğunu göstermiştir. Ayrışmanın killeşme ile sonuçlanan sürecinde ortalama değerler açısından endüstriyel öneme sahip kilin dane birim hacim ağırlık değeri taze kayaca göre %4.79, kuru birim hacim ağırlık değeri taze kayaca

göre %38.98 oranında azalmıştır. Ortalama değerler açısından endüstriyel kilin taze kayaca göre su içeriği değeri 5.39, porozite değeri 3.29 ve boşluk oranı değeri 4.47 kat artmıştır.

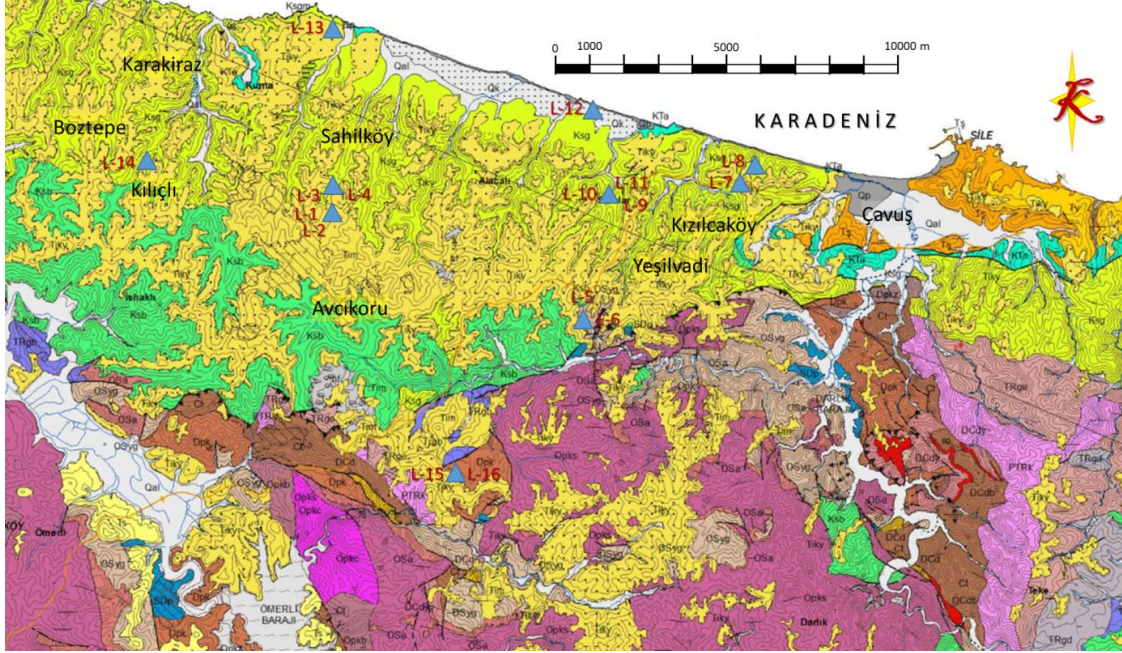
İnceleme alanında volkanik kayaların ayrışması sonucu oluşan ürünlerin bataklık ortamına taşınması ile oluşan killerin tabanını siderit, hematit, pirit gibi Fe türevi mineraller oluşturmaktadır [3]. Bu oluşumlardan siderit katman inceleme alanında kılavuz seviyeyi oluşturur ve pelitler içindeki endüstriyel kil olan siderit üzerindeki katmanın Plastisite kartındaki sınıfı CH olup dane boyutunun tamamı 200# elekten geçmiştir. İnceleme alanında psammitlerin içerisinde bulunan killerin Plastisite kartındaki genel sınıfı ise CL dir. İnceleme alanında kayaçtan zemine giden ayrışma sürecinde zeminleşmiş kesimlerin sınıf dağılımı ise %26.32 SW, %15.79 CL, %10.53 GW, %10.53 SW-SC, %10.53 SC, %10.53 CH, %5.26 SW-SM, %5.26 SP-SC, %5.26 SM dir. Çalışma alanında kayaçtan killeşmeye giden süreçte ayrışma ürünleri olan farklı dane boyutlu malzeme içerisinde oluşmuş killerin serbest şişme değerleri %0.40 ile %7.22 arasında değişmekte olup çalışma alanı stratigrafisinde kılavuz katman siderit seviyenin üstünde yer alan endüstriyel kil şişme açısından sorunsuzdur. Kayaç değişim değeri (KDD)'nin 1 ile 0.5019 arasında değiştiği ve ortalama değer 0.9053 olduğu çalışma alanında kayaç değişim oranı (KDO) %0 ile %86.8095 arasında değişir ve ortalama değer %5.011 dir. KDD ve KDO na ait bu değerler çalışma bölgesinde endüstriyel kili oluşturan köken kayaçtan jeolojik süreç içerisinde türeyecek ayrışma ürünü kil hammaddenin bolluğunu göstermektedir. Çalışma alanında fizikomekanik, serbest şişme ve KDD, KDO arasında ikili ilişkiler araştırılmıştır. Porozite–serbest şişme değerleri arasında minimum değerler için $R^2 = 0.9634$, ortalama değerler için $R^2 = 0.9638$ ve maksimum değerler için $R^2 = 0.9631$ korelasyon ile güvenilir eşitlikler belirlenmiştir. Porozite–kuru birim hacim ağırlık değeri arasında taze kayaçtan ilkin orta ayrılmış sonrada ayrılmış kayaca ve buradan da kılavuz seviye siderit katmanının altındaki killi kumdan siderit katmanının üzerindeki endüstriyel kile süregelen evrilme için $R^2 = 0.902$, kumlar için $R^2 = 1$ korelasyon ile güvenilir eşitlikler elde edilmiştir. Az ayrılmış kayaçtan orta ve aşırı ayrılmış kayaca süregelen ayrışmada KDD–dane birim hacim ağırlık değeri arasında $R^2 = 0.9989$, KDO –dane birim hacim ağırlık değeri arasında $R^2 = 1$ korelasyon ile kayacın ayrışması ile birim hacim ağırlık ilişkisine yönelik güvenilir eşitlikler önerilmiştir. Nokta yük – KDD ve nokta yük – KDO arasında $R^2 = 1$ ile eşitlikler önerilmiştir. Çalışma sahası için KDD – KDO ve KDO ile KDD arasında da anlamlı eşitlikler ($R^2 = 0.9991$ ve 0.9989) belirlenmiştir. İstanbul'un Doğu

yakasındaki magmatik kayaçlarının ayrışma gelişiminin jeoloji, jeokimya, petrografi ve mineralojisi ile açıklandığı sahada herhangi bir kesimde yapılacak yeni bir çalışmada fizikomekanik deney sonuçları ile ayrışma ve killeşme konusunda detaylı yorumlar yapılabilecektir. Jeokimyasal analizler ile mineralojik – petrografik incelemeler volkanitlerin orta ayrışmadan ileri ayrışma aşamasına evrilme sürecinde bölgede büyük bir volkanik faaliyetin olduğunu ve ayrışma sürecinin de bundan ciddi şekilde etkilendiğini göstermiştir.

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İstanbul Zonu içindeki İstanbul Boğazı'nın doğu bölgesi kayaçları Paleozoyik'ten günümüze değişik yaşlardadır [1]. Paleozoyik yaşlı birimler Ordovisyende şelf-karasal-karasal ve şelf ortamlarda çökelmiş çakıltaşından kireçtaşına değişen tnasgresif özellik gösteren tortul kayaçlardır. Silüriyende şelf ortamında çökelmiş kumtaşı, kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı, kireçtaşı kayaçlar, Devoniyende şelf ortamında çökelmiş kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı, kireçtaşı, şelf ve yamaç ortamda çökelmiş kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, çört, yamaç ortamda çökelmiş çörtlü kireçtaşı kayaçlar, Karboniferde yamaç ve abisal ortamlarda çökelmiş çört, şelf ve yamaç ortamlarda çökelmiş kumtaşı-çamurtaşı, şelf ortamda çökelmiş kireçtaşı kayaçlar oluşturur [1]. Bölge Permien-Triyas döneminde metamorfizma etkisinde kalmıştır. Triyasta şelf ortamında çökelmiş kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı-çamurtaşı kayaçlar, Jurada şelf ortamında çökelmiş kireçtaşı, Üst Kretasede şelf ve yamaç ortamında çökelmiş çökel kayaçlar ile volkanitler, bazaltlar ve metamorfik kayaçlar Mesozoyik sonunda granodiyorit sokulumu ile kesilmiştir. Mesozoyik serinin tavan kayacı şelf ve yamaç ortamında çökelmiş killi kireçtaşları olup bu kayaç çökelişini Alt Eosene kadar sürdürmüştür. Oligosen ve Alt Miyosen boyunca çoğunlukla karasal kısmen de karasal ve şelf ortam kökenli kırıntılılar çökelmiş ve çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı kayaçları oluşmuştur. Tüm bu seri ise Kuvaterner yaşlı karasal plaj, kumul, moren, yamaç molozu ve alüvyon çökeller ile örtülmüştür [1]. İnceleme alanında stratigrafik serinin tabanı Kretase yaşlı bazalt ve bazaltik andezitlerin oluşturduğu taze – az ayrışmış volkanik kayaç kesimler ile başlar. Tabandan tavana doğru sırasıyla az – orta ayrışmış, orta – aşırı ayrışmış, aşırı ayrışmış volkanik kayaçlar, aşırı ayrışmış volkanik kayaç ürünleri olan kum-killi kum-kil, siderit (kılavuz seviye), aşırı ayrışmış volkanik kayaç ürünü endüstriyel kil, beyaz kum, sarı kum ve kırmızı kum olarak devam eder. Tüm bu seriyi ise Kuvaterner yaşlı güncel çökeller üzerler. İnceleme alanında

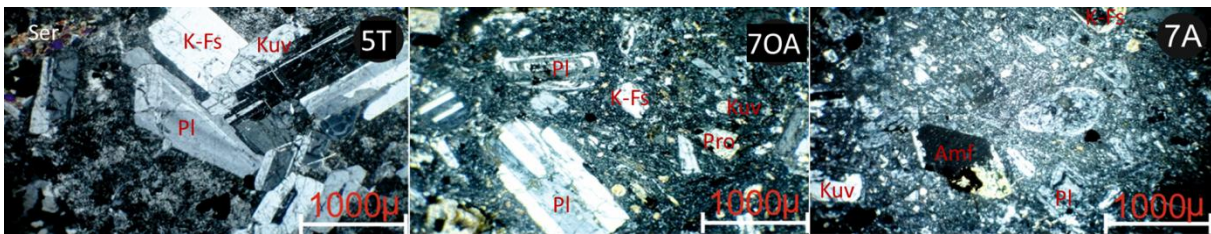
endüstriyel hammadde olan kil ve kumların (koyu ve açık sarı birimler) yayılım alanı ile örnekleme noktaları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanında endüstriyel hammadde olan kil ve kumların (koyu ve açık sarı birimler) yayılım alanı (Harita Özgül, 2011 den alınmıştır) ile örnekleme noktaları.

Harita ölçeği nedeniyle koyu ve açık sarı birimler içinde yayımlı olan ve endüstriyel kil için köken kayacı oluşturan Kretase yaşlı bazalt ve bazaltik andezitler gösterilememiştir.

Endüstriyel kumların köken kayaları ise Şekil 1 ile verilen haritanın alt yarısını oluşturan kayaç topluluğudur. İstanbul ve civarında mostra veren Üst Kretase yaşlı volkanik kayaçlar bazalt (çoğunlukla spilitik), bol miktarda andezit, traki-andezit, dasit, riylit lavları ile bu kayaçların piroklastik seviyelerinden oluşur. Bu kayaçlar küçük farklılıklarla benzer petrografik özellikler sunar (Şekil 2).



Şekil 2. Andezitik kayaçların çift nikoldeki optik mikroskop görüntüleri (Ser: serizit, K-Fs: K-feldispat, Kuv: Kuvars, Pl: Plajyoklaz, Pro: Piroksen, Amf: Amfibol).

Porfiritik, hyaloporfiritik ve pilotaksitik dokulu bu kayalar, genellikle değişik derecelerde altere olmuş andezitler olup plajiyoklas, hornblend, piroksen, biyotit, opak mineraller ve matriks kısımdan oluşmuştur. 5T kodlu en taze örnek dikkate alındığında fenokristal/matriks oranı 1/1 olan kayalarda hamur kısım genelde mikrokristalli, camsal ve killeşmiş şekilde görülür. Çalışılan kayalarda alterasyon oranına bağlı olarak matriks oranı artmakta ve fenokristal oranı azalır fenokristal/matriks oranı 1/2'ye kadar değişmektedir (Şekil 2). Plajiyoklazlar öz - yarı öz şekilli, polisentetik ikizli ve zonlu yapılıdır. 30° - 40° sönme açısına sahip andezin bileşiminde olan plajiyoklazlar bazen elek (sieve) dokusu gösterir. Plajiyoklazlardaki tüm bu dokusal özellikler magma karışım olaylarını ve dengesiz kristallenmeleri göstermektedir. Amfiboller genelde opaklaşmış ve kloritleşmiş yarı öz şekilli ve öz şeklini kaybetmiş hornblend kristallerinden oluşmuştur. Piroksenler epidotlaşmış, biyotitler opaklaşmış, killeşmişlerdir. Bazı piroksenler ise kloritleşmişlerdir.

Çalışma alanında kayalar az ve/veya çok alterasyona maruz kalmışlardır. Alterasyon genelde ikincil karbonatlaşma, kuvars varlığı ve kil oluşumları şeklinde karakteristiktir. Piropilitik alterasyon, serizitleşme, karbonatlaşma ve silisleşme en yaygın alterasyon türleridir.

Kimyasal analiz için Kretase yaşlı magmatik kayalardan 2 farklı lokasyondan kayaç örnekler alınmıştır. Bu örnekler seçilirken arazi genelini yansıtabilecek düzeyde en taze, orta ayrışmış ve aşırı ayrışmış olmalarına dikkat edilmiştir (5A, 7OA ve 7A kodlu örnekler). Kum ve kil örnekler içinse Kretase yaşlı magmatik kayalardan türeme olanlar (L3-5, L4SÜ ve L4SA kodlu örnekler) ve havzaya güneyden gelenler (L2K, L4S ve L4B kodlu örnekler) olmak üzere seçim yapılmıştır. İnceleme alanında yüzeylemiş olan pekişmiş ve ayrık kayaç birimlerine ait jeokimyasal analiz sonuçları Tablo 1 ile verilmiştir. Tablo.1'de verilen değerler incelendiğinde kayalar %49 – 69 gibi geniş bir aralıkta SiO₂ içeriğine sahiptirler. SiO₂ oranının en fazla olduğu kayaç makroskopik ve mikroskopik en taze kayadır (Şekil 2, Tablo 1).

Tablo 1. Jeokimyasal Analiz Sonuçları

Örnek türü Örnek Numarası	Kayaç			Kum				Kil	
	5T	7OA	7A	L2K	L4S	L4B	L3-5	L4SÜ	L4SA
Ana elementler (%)									
SiO ₂	68.63	48.68	53.99	75.11	84.78	83.43	82.23	53.85	63.12
Al ₂ O ₃	12.82	17.15	17.17	16.94	11.79	13.26	12.07	25.28	22.24
Fe ₂ O ₃	3.72	8.51	9.05	2.40	0.46	0.35	1.38	7.16	1.84
MgO	0.72	2.50	3.28	0.35	0.07	0.05	0.27	0.58	0.50
CaO	4.82	11.69	7.11	0.10	0.02	0.02	0.12	0.22	0.14
Na ₂ O	2.89	2.44	2.68	0.05	-	-	0.05	0.09	0.07
K ₂ O	3.70	1.73	1.64	0.50	0.88	0.46	0.66	3.02	2.34
TiO ₂	0.59	0.64	0.67	0.86	0.28	0.52	0.78	1.26	1.10
P ₂ O ₅	0.20	0.12	0.13	0.07	-	0.05	-	0.04	0.03
MnO	0.13	0.16	0.14	0.01	-	-	0.02	0.02	0.01
Cr ₂ O ₃	-	0.67	0.35	0.04	0.01	0.02	0.36	0.37	0.13
SO ₃	-	0.03	0.05	0.07	0.03	0.03	0.07	0.06	1.58
AZ	1.58	5.50	3.51	3.34	1.60	1.72	1.87	7.82	6.75
Toplam	99.93	99.87	99.86	99.32	99.92	99.91	99.87	99.78	99.84
İz elementler (ppm)									
Ba	-	279.51	407.77	268	266	87	471	672	515
Co	52.73	53.96	65.36	9	6	5	9	-	17
Cs	0.84	2.14	2.25	-	-	-	-	-	-
Ga	40.32	30.25	36.09	57	11	-	7	20	40
Hf	9.91	6.28	6.35	-	-	-	-	-	-
Nb	-	-	-	20	6	6	14	29	21
Ni	20.53	33.99	38.20	30	14	14	34	12	52
Pb	10.23	12.61	11.69	-	45	45	16	60	59
Rb	68.73	39.05	36.90	19	-	7	19	139	112
Sr	206.36	290.91	309.45	36	22	22	31	15	34
Th	33.50	16.83	18.06	-	-	-	-	-	-
Tl	0.41	0.27	0.18	-	-	-	-	-	-
U	1.61	0.97	0.80	-	-	-	-	-	-
Y	23.04	19.54	18.82	27	13	8	20	16	18
Zn	49.06	189.37	125.52	-	-	-	-	121	-
Zr	-	-	-	509	150	316	151	244	211
Nadir Toprak elementleri (ppm)									
La	15.88	8.50	7.89	-	-	-	-	-	-
Ce	33.28	18.55	17.27	-	-	-	-	-	-
Pr	4.18	2.53	2.30	-	-	-	-	-	-
Nd	16.96	10.94	10.02	-	-	-	-	-	-
Sm	4.14	2.62	2.63	-	-	-	-	-	-
Eu	0.97	0.85	0.81	-	-	-	-	-	-
Gd	4.60	3.63	3.19	-	-	-	-	-	-
Tb	0.66	0.55	0.51	-	-	-	-	-	-
Dy	3.90	3.18	3.08	-	-	-	-	-	-
Ho	0.82	0.70	0.63	-	-	-	-	-	-
Er	2.51	2.12	1.96	-	-	-	-	-	-
Tm	0.40	0.32	0.31	-	-	-	-	-	-
Yb	2.76	2.25	1.96	-	-	-	-	-	-
Lu	0.43	0.32	0.31	-	-	-	-	-	-

T: Taze; A: Ayrılmış; OA: Orta ayrılmış. L2K: Kırmızı kum, L4S: Sarı kum, L4B: Beyaz kum, L4SÜ: Siderit üstü kil, L4SA: Siderit altı kil.

Taze kayaçtan orta ayrıışmış kayaca gelişimde kayaç bünyesindeki SiO_2 oranındaki azalma %29.07 dir. Benzer şekilde ilişki ayrıışmış kayaca geçişte ise %21.33 tür. Bu durum genel kabul ile tezattır. Ayrıca ayrıışmaya bağılı oluşan diğere ürünlerin (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO) artışı da orta ayrıışmış kayaçtan aşırı ayrıışmış kayaca geçişte taze kayaçtan orta ayrıışmış kayaca geçişe göre oransal olarak azalmıştır ki bu da genel kabul ile tezattır (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO değerlerinin artması sonucu SiO_2 oranı da göreceli olarak artmıştır). Magmatik kayaçların ayrıışması sonucu oluşmuş, kılavuz seviye siderit katmanının altında yer alan killerde SiO_2 oranı %63.12 iken kılavuz seviye siderit katmanının üzerindeki killerde SiO_2 oranı %53.85 dir. Kretase yaşlı magmatik kayaçların SiO_2 oranlarının orta ayrıışmış kayaçtan aşırı ayrıışmış kayaca geçişte artması kayaç bünyesine etkiyecek SiO_2 zenginleşmesi ile mümkündür. Bu zenginleşme, kayaç bünyesinde ilerleyen ayrıışma sonucu gelişen süreksizliklerin bir fonksiyonudur. Kayaçta ilerleyen ayrıışma sonucu sistematik ve/veya düzensiz çatlaklanmaya bağılı çatlak sıklığı yanı sıra ortalama çatlak sayısı değerleri de artacaktır. Kayaç bünyesinde çatlak özelliklerinin değışmesi ile çatlak açıklık değerleri genişleyerek jüvenil akışkanın taşıdığı SiO_2 'nin kayaç bünyesine nüfuz etmesi kolaylaşacak ve orta ayrıışmış kayaçtan aşırı ayrıışmış kayaca geçişte kayaç bünyesindeki SiO_2 zenginleşmesi olacaktır (Tablo 1). Jüvenil akışkan kayacın ayrıışmaya bağılı kazanmış olduğı yeni ortam özelliklerinden yararlanarak kayaç bünyesine nüfuz etmiş ve doğal ayrıışmanın döngüsünü değıştirerek çatlak takımları dolayında yeni SiO_2 sıvamalarına neden olmuştur. Kayacın genelinde ayrıışmanın devam eden evrelerinde silileşme ilerlemiş ve izleyen süreçte killeşme tetiklenerek endüstriyel kil yataklarının çökmesine ve artan killeşmenin çökel ortamdan hareketliliğine (mobiliteye) neden olmuştur.

Taze kayaçtan ayrıışmış kayaca evrimleşen killeşme sürecinde kayacın Al_2O_3 taze kayaca göre orta ayrıışmış kayaçta %33.78 oranında, ayrıışmış kayaçta ise %33.93 oranında artış sunar. Bu iki değerin birbirine yakın olması killeşmenin ana kayaçtan fazla uzaklaşmadığını gösterir ve havzanın belli kesimlerinde yerli yerinde Kretase yaşlı volkanitlerin üzerinde görülmesini açıklamaktadır. Orta ayrıışmış ve özellikle ayrıışmış kayaçta Jüvenil akışkan etkisi ile de artarak gelişen killeşme jeolojik süreçte kayaç ortamın bünyesinden ayrılıp havza içinde kısa mesafelerde taşınmıştır. Taşınan malzeme havzanın uygun kesimlerinde köken kayacının üzerine çökelen ve Jüvenil akışkan etkisi ile yerli yerinde oluşmuş aşırı ayrıışmış volkanik kayaç ürünü silis kumu üzerine çökelmiştir. Böylece aşırı ayrıışmış volkanik kayaç ürünü killi kum seviye oluşmuş ve

süre gelen ayrışma olayları sonucunda çalışma bölgesi için kılavuz seviye olan sideritik zon oluşup köken kayaçtan endüstriyel hammadde özelliği sergileyen killeşmeye giden süreç tamamlanıp kılavuz seviye üzerindeki ayrılmış volkanik kayaç ürünü endüstriyel killer çökelmiştir. Jüvenil akışkanın killeşme süresince olumlu etkisi yanı sıra olumsuz etkisi de olmuş ve killeşme sonrası bünyede kil hareketliliği oluşarak kılavuz siderit seviyenin üzerinde yer alan ve endüstriyel hammadde olan kil katmanda Al_2O_3 oranı kılavuz siderit seviyenin altında yer alan ayrılmış kil katmana göre %13.67 oranında azalmıştır.

Ayrışma sonucu kayaç bünyesinde Fe_2O_3 değeri orta ayrılmış kayaçta taze kayaca göre ~2.29 kat, aşırı ayrılmış kayaçta taze kayaca göre ~2.43 kat artmıştır. Benzer şekilde MgO oranı da orta ayrılmış kayaçta taze kayaca göre ~3.47 kat, aşırı ayrılmış kayaçta taze kayaca göre ~4.56 kat artmıştır. Kayacın killeşen kesimlerinde de Fe_2O_3 oranı ~3.89, MgO oranı ise ~1.16 kat artmıştır. Tüm bu değerler inceleme alanında Kretase yaşlı volkanitlerin taze kayaçtan orta ayrılmış kayaca evrilmesi döneminde ortamda post-magmatik işlemler ile yeryüzüne Jüvenil akışkanın ulaşarak ayrışma sürecini değiştirip endüstriyel hammadde gelişimini tetiklediğini göstermektedir.

Taze kayaçtan ayrılmış kayaca evrilme ayrışma indisleri ile de irdelenmiştir. İndis hesaplamaları oksit (%) ve molar değerlerine göre yapılmıştır. Tablo 1 ile verilen 5T, 7OA ve 7A kodlu kayaçların ana elementlerin oksit değerlerine göre

- ayrışma potansiyel indisi WPI (weathering potential index %; [4]),
- ürün indisi PI (product index %; [4]),
- silis – alüminyum oranı Si-Al (silica-alumina ratio; [5]),
- Parker indisi Wp (veya -WIP- Parker index %; [6]),
- Vogt oranı VR (Vogt ratio, [7] ve [8]),
- modifiye ayrışma potansiyeli indisi MWPI (modified weathering potential index %; [9]),
- kimyasal alterasyon indisi CIA (chemical index of alteration %; [10]),
- kimyasal ayrışma indisi CIW (chemical index of weathering %; [11]),
- ateş kaybı LOI (ignition of loss- H_2O -; [12] ve [13]),
- silis – titanyum indisi (Si-Ti index; [14]),
- hareketlilik indisi Imob (mobiles index; [15]) ve

susuz oksit ile molar değerlerine göre de

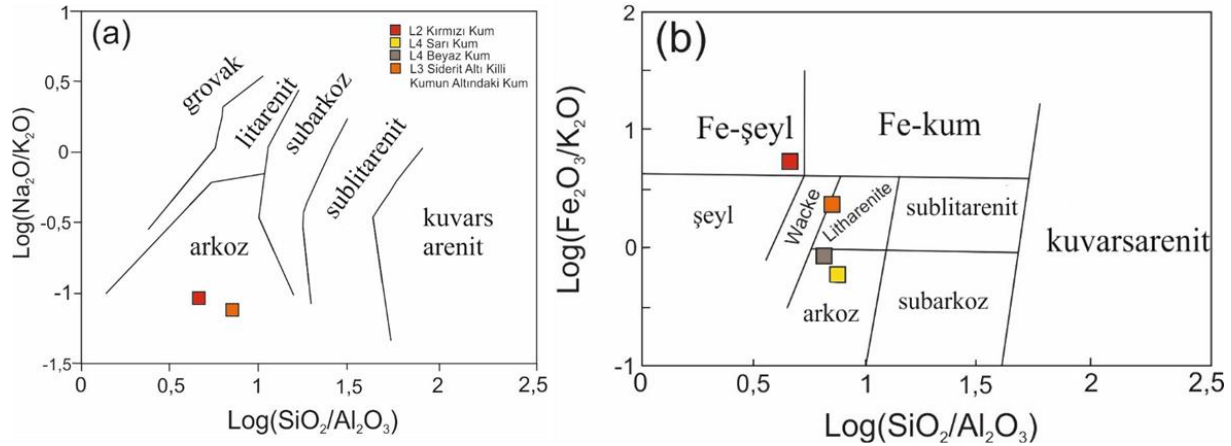
- CIA, PIA, Mgl, CALMAG, MIA[O], MIA[R], LOI, CIA-K, MIA[O]-K, MIA[O]-K ([16]; [17]; [18]; [19]; [20]; [21]; [22]) indisi değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2 ile gösterilen indislere ait değerler çalışma alanındaki kayaç ayrışması sürecinde orta ayrışmış kayaçtan ayrışmış kayaca evrilmede magmatik faaliyetin başlayıp ortama Jüvenil akışkanın geldiğini göstermektedir. Bunun kanıtı 5T-7OA-7A kodlu kayaçların indis değerlerinde görülen 5T den 7OA ya geçişteki artan veya azalan sayısal değerlerin 7OA dan 7A ya geçişte sergilemiş olduğu azalan veya artan sayısal değerleridir (Tablo 2).

Tablo 2. Jeokimyasal Analiz Sonuçları İle Yaygın Kullanılan İndis Hesaplamaları.

İndisler	Oksit değerlerine göre hesaplama (%)			Molar değerlerine göre hesaplama		
	5T	7OA	7A	5T	7OA	7A
WPI	10.78	13.78	11.72	-	-	-
PI	77.02	58.91	60.65	-	-	-
Si-Al	5.35	2.84	3.14	-	-	-
W _p (WIP)	30.74 (53.8)	33.37 (47.3)	28.02 (42.2)	-	-	-
VR	1.96	1.14	1.44	-	-	-
MWPI	12.47	19.81	15.50	-	-	-
CIA	52.91	51.95	60.03	42.9	39	47.7
CIW = CIA-K	62.45	54.83	63.69	49.6	40.7	50.2
LOI	1.58	5.50	3.51	-	-	-
Si-Ti	0.81	0.72	0.74	-	-	-
I _{mob}	5T/7OA		7OA/7A	-	-	-
	0.18		-0.02	-	-	-
PIA	-	-	-	40.3	37.9	47.5
Mgl	-	-	-	87.6	73.1	67.4
CALMAG	-	-	-	55.9	38.6	45.1
MIA _[O]	-	-	-	44.6	40.5	45.9
MIA _[R]	-	-	-	37.6	30.8	34.3
MIA _{[O]-K}	-	-	-	50.6	41.9	47.5
MIA _{[R]-K}	-	-	-	42.7	31.8	35.6
Al-Ti	-	-	-	34	42	40.1

Kumların kökenini belirlemek için kullanılan diyagramlarda, Kretase kayaçlarının ayrışma ürünü olan ve kılavuz katman siderit seviyenin altında yer alan kumlar litik arenit alanına, havzaya İstanbul'un güneyinden gelen kumlar ise arkoz, grovak ve şeyl alanlarına düşerler (Şekil 3).



Şekil 3. Kumların Kökensel İlişkisi [23]

3. İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında ortam özelliklerinin belirlenmesi için 16 lokasyonda gözlem ve örnekleme yapılmıştır (Tablo 3). Kaya ve zemin örnekler üzerinde fiziksel özellik deneyleri, zemin örneklerinde elek analizi, kıvam limitleri ([24]; [25]), kaya örneklerde ise nokta yük deneyi yapılmıştır [26].

Tablo 3. Örnek Lokasyonları ve Cinsleri

Örnek No	Lokasyon		Örnek Cinsi
	X	Y	
L-1	700916	4558866	Zemin, gözlem noktası
L-2	700925	4558885	Zemin, 3 örnek
L-3	700901	4558883	Zemin, 2 örnek
L-4	701083	4559448	Zemin, 5 örnek
L-5	708183	4556110	Kaya, 2 örnek
L-6	708007	4555935	Kaya, gözlem noktası ve tabaka ölçümü
L-7	712505	4560066	Kaya 3 örnek
L-8	712976	4560548	Zemin, 1 örnek
L-9	708713	4559369	Kaya, 1 örnek
L-10	708810	4559577	Kaya, 1 örnek
L-11	708814	4559798	Kaya, 2 örnek
L-12	708257	4562188	Kaya, 1 örnek (<i>traverten</i>)
L-13	700842	4565033	Kaya, 2 örnek
L-14	695624	4560215	Zemin, 1 örnek
L-15	704674	4551408	Zemin, 3 örnek
L-16	704692	4551546	Zemin, 1 örnek

Örneklemelelerde kayaç örnekler L-5 ve L-7 nolu noktalarda taze, orta ayrıışmış ve ayrıışmış örnekler olarak alınmıştır. L-11 noktası taze ve ayrıışmış kayaçtan, L-13 noktası taze ve orta ayrıışmış kayaçtan, L-12 noktası ise yayılımı çok küçük olan ve jeolojik haritada sınırları çevrilemeyen traverten oluşumundan alınmıştır. Çalışmada yoğunlaşılan, zemin ve kayaç örnekleme yapılan noktalar Şekil 1 ile verilen jeolojik harita üzerinde gösterilmiştir. Kayaç ve zemin örneklerin fiziksel özellik değerlerinin değişim aralıkları Tablo 4 ile verilmiştir.

Tablo 4. Kaya ve Zemin Örneklerin Fiziksel Özellik Değerleri

Birim	γ_s (kN/m ³)			γ_k (kN/m ³)			w (%)			n (%)			e		
	min	ort	maks	min	ort	maks	min	ort	maks	min	ort	maks	min	ort	maks
KK	24.312	25.187	26.151	14.740	17.898	19.822	10.061	14.447	28.744	19.963	26.366	43.391	0.249	0.371	0.767
SK	25.807	26.017	26.327	15.210	19.182	21.815	7.478	11.769	26.938	16.474	23.019	41.967	0.197	0.312	0.723
BK	25.694	26.004	26.327	21.682	22.239	22.819	5.716	6.360	7.077	13.176	14.422	15.787	0.152	0.169	0.187
EK	23.822	24.084	24.517	13.217	13.245	13.284	33.029	33.324	33.820	44.516	45.008	45.814	0.802	0.818	0.846
SAK	24.314	24.708	25.145	13.296	13.329	13.361	33.424	33.873	34.399	45.316	46.041	46.865	0.829	0.853	0.882
KiK	25.145	25.199	25.307	19.965	19.999	20.060	10.119	10.125	10.136	20.601	20.648	20.733	0.259	0.260	0.262
K	25.978	26.093	26.151	19.559	19.618	19.646	12.389	12.407	12.416	24.709	24.821	24.874	0.328	0.330	0.331
VK	22.212	25.295	28.724	18.194	21.704	27.039	0.473	6.181	36.715	1.304	13.688	71.028	1.3%	18.3%	2.452*

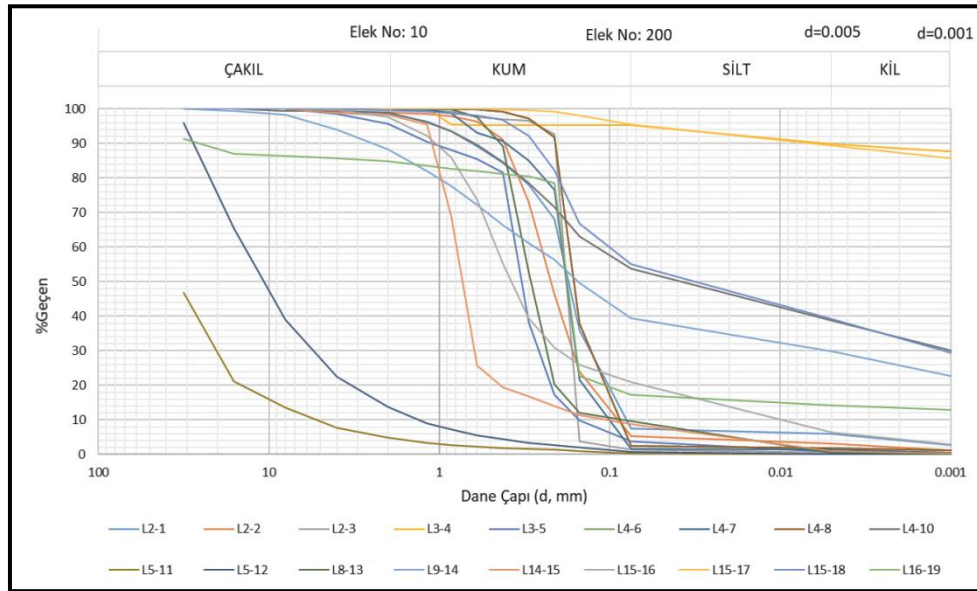
KK: kırmızı kum, SK: sarı kum, BK: beyaz kum, EK: endüstriyel kil, SAK: siderit altı kil, KiK: volkanik kayaç ürünü killi kum, K: volkanik kayaç ürünü kum, VK: volkanik kayaç, γ_s : dane birim hacim ağırlık, γ_k : kuru birim hacim ağırlık, w: su içeriği, n: porozite, e: boşluk oranı, *Volkanik kayaca ait bu değer kayacın ayrıışıp zeminleşmiş (W5) kesimine ait deney sonucudur.

Anon [27] tarafından önerilen sınıflandırmada kuru birim hacim ağırlık değerine göre zemin örnekler “çok yüksek, yüksek, düşük, çok düşük kuru birim hacim ağırlık değerli”, kayaç örnekler “yüksek, orta ve düşük kuru birim hacim ağırlık değerli” doğal ortamlardır. Porozite değerlerine göre zemin örnekler “çok düşük, orta ve yüksek poroziteli”, kayaç örnekler “çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük poroziteli” doğal ortamları oluşturmaktadır. Zemin örnekler Anon [27] tarafından önerilen sınıflandırmada; boşluk oranı değerlerine göre “çok düşük, orta ve yüksek boşluk oranlı” doğal ortamlardır. Kayaç örneklerin dayanım değerleri nokta yük direnç deneyleri ile belirlenmiş ve sonuçlar Franklin ve Broch [28] sınıflaması ile değerlendirilmiştir. Deney sonuçları ve Franklin ve Broch sınıflamasına göre değerlendirme Tablo 5 ile verilmiştir.

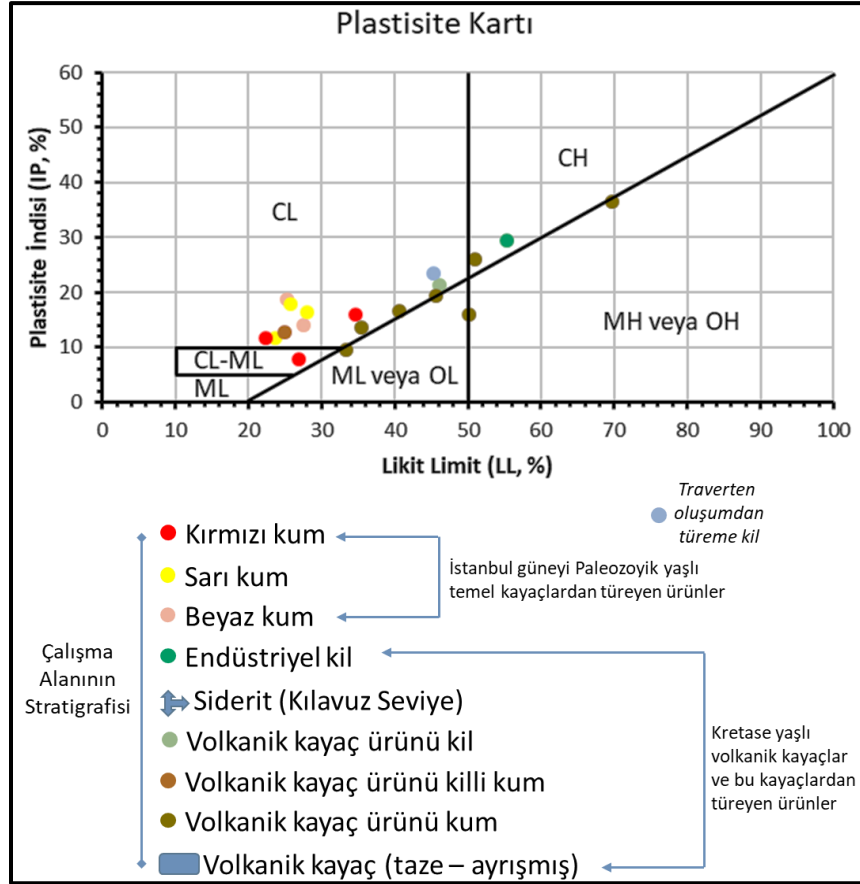
Tablo 5. Kayaç Örneklerin Nokta Yük Değerleri ve Franklin ve Broch 1972 Sınıflandırılması İle Değerlendirilmesi

Lokasyon	Litoloji	I _{s(50)} (MPa)			Franklin ve Broch 1972 Sınıflandırılmasında Tanımı
		min	ort	max	
L-5	Andezit (W1-W5)	1.48	3.62	9.21	Yüksek – Çok yüksek dirençli
L-7	Andezit (W1-W5)	1.22	4.51	13.21	Yüksek – Oldukça yüksek dirençli
L-9	Andezit (W3-W5)	0.37	0.72	1.07	Orta – Yüksek dirençli
L-10	Volkanosedimanter (W1-W5)	1.36	2.72	4.86	Yüksek – Çok yüksek dirençli
L-11	Andezitik bazalt (W1-W5)	2.98	5.72	18.01	Yüksek – Oldukça yüksek dirençli
L-12	Traverten	2.00	3.20	4.78	Yüksek – Çok yüksek dirençli
L-13	Bazalt (W1-W5)	5.18	12.07	25.10	Yüksek – Oldukça yüksek dirençli

Kayaç örnekler Franklin ve Broch [28] sınıflamasına göre orta dirençten oldukça yüksek dirence değişen bir aralıktadır. Zemin örnekler ile aşırı ayrışmış zeminleşmiş kayaç örneğinin granülometrik dağılımı Şekil 4 ile gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Zemin örnekler ile kayaç örneklerin ayrışmış kesimlerinin granülometrik eğrileri.

İnce daneli zemin örnekler ile kaba daneli zemin örneklerin silt – kil boyutlu kesimlerinde kıvam deneyleri de yapılmış ve bunların Plastisite kartındaki yerleri belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Pelitler ile psammitlerin bünyelerindeki pelitlerin Plastisite kartındaki yerleri

İnceleme alanında kayaçtan zemine giden ayrışma sürecinde zeminleşmiş kesimler ile İstanbul'un güneyinden taşınarak gelmiş kumların zemin sınıfları belirlenmiştir. Bu örneklerin inceleme alanında zemin sınıfı dağılımı %26.32 SW, %15.79 CL, %10.53 GW, %10.53 SW-SC, %10.53 SC, %10.53 CH, %5.26 SW-SM, %5.26 SP-SC, %5.26 SM dir.

İnceleme alanında kılavuz seviyeyi siderit katman oluşturur ve bu katmanın hemen üzerinde volkanitlerin sonuç ayrışma ürünü olan endüstriyel kil yer alır. Çalışma alanında önemli bir ekonomik varlığı temsil eden ve dane boyutu 200# elekten daha küçük olan pelitlere ait bu seviyenin Plastisite kartındaki sınıfı CH'dır. Kılavuz seviye siderit katmanın altında ise volkanitlerin değişik derecelerde ayrılmış kesimlerini oluşturan katmanlar blok ve çakıldan kil ve kolloid boyutuna değişen farklı dane boyutlu malzemeyi oluşturmaktadır. Kılavuz katman siderit üzerinde yer alan sonuç ayrışma ürünü endüstriyel kil İstanbul güneyinde yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı temel kayaların ayrışıp taşınma ürünleri olan kumlar tarafından üzerlenmiştir.

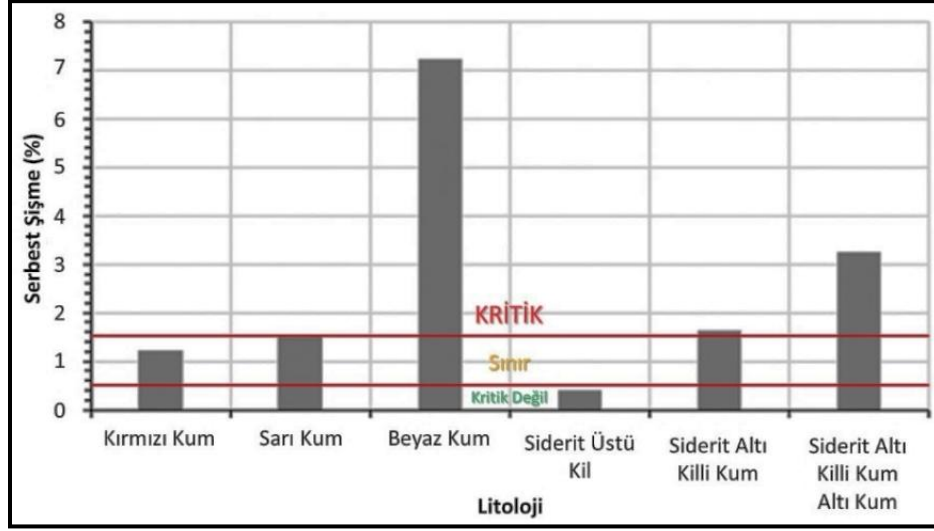
Çalışma alanının psammitlerini oluşturan kesimlerin içerdiği kil boyutlu malzemelerin Plastisite kartındaki genel sınıfı CL dir. Kretase yaşlı volkanitlerin ayrışması ile oluşmuş psammitlerden birer örnekleme noktasında ise bünyelerindeki kil boyutlu malzemenin sınıf değeri CL-ML, ML veya OL ve 2 örnekleme noktasında ise ML veya OH dir. İnceleme alanında Şekil 1 ile verilen harita ölçeğinde sınırları çizilemeyecek kadar küçük olan traverten oluşumu bulunmaktadır. Bu kesimde travertenden türeme ayrılmış malzemenin içerdiği killerin de Plastisite kartındaki sınıfı CL'dir (Şekil 5).

Çalışma alanı stratigrafisi içinde volkanik kayaktan killeşmeye giden süreçte kılavuz katman üzerinde son ayrışma ürünü olan endüstriyel kil ile gerek volkaniklerden gerekse Paleozoyik temel kayaktan türeme psammitlerin içerisinde oluşmuş killerin serbest şişme değerleri Bozkurtoğlu vd [29] tarafından önerilen eşitlik ile araştırılmıştır.

Pelitlerin doğal su içeriği ve likit limit değerlerine dayalı olan bu eşitlik ile hesaplanan serbest şişme (SŞ) değerleri Bozkurtoğlu vd [29] tarafından önerildiği gibi Altmeyer [30] sınıflaması ile değerlendirilmiştir. Ayrışma ürünü malzemede pelitlerin serbest şişme değerleri ve şişme tanımlamaları Tablo 6 ile SŞ değerlerinin karşılaştırılması ise Şekil 6 ile gösterilmiştir.

Tablo 6. Pelitler ile Psammitlerin Bünyelerindeki Pelitlerin Serbest Şişme Değerleri ve Tanımı

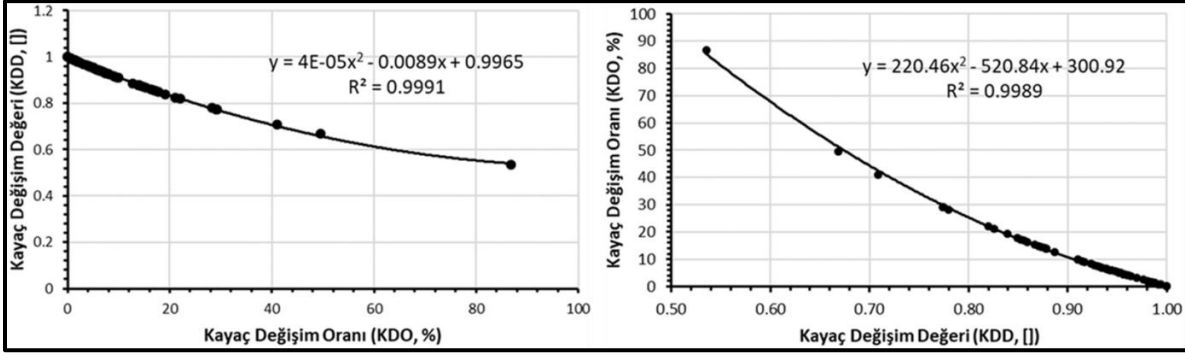
LİTOLOJİ	VERİ		HESAPLAMA (Bozkurtoğlu vd, 2015)		TANIM (Altmeyer, 1955)
	w (%)	LL (%)	N değeri	SŞ (%)	
Sarı Kum (SK)	14.13487	24.73904	20.99832	1.494	Sınır
Beyaz Kum (BK)	6.395131	26.45265	23.86177	7.217	Kritik
Siderit Üstü Kil (EK)	33.38966	55.46205	207.7591	0.404	Kritik Değil
Siderit Altı Killi Kum (KiK)	23.15034	48.61118	124.6243	1.642	Kritik
Killi Kum Altı Kum (K)	10.12637	25.06478	21.51483	3.239	Kritik



Şekil 6. Pelitler ile psammitlerin bünyelerindeki pelitlerin serbest şişme değerlerinin karşılaştırması

Çalışma alanında pelitlerin serbest şişme değerleri %0.40 – %7.22 arasında değişmektedir. Çalışma alanı stratigrafisinde kılavuz katman olan siderit seviyenin üstünde yer alan endüstriyel kilin serbest şişme olasılığı bulunmamaktadır. Serbest şişme açısından çalışma alanındaki psammitlerin bünyelerindeki pelitlerin volkanik kayaktan ayrışma ürünü olarak türeyenleri ile Paleozoyik temel kayaktan türeme psammitlerin taban seviyesindekileri kritik değerleri ise sınır değerdedir (Tablo 6; Şekil 6).

Kretase volkanitlerinin ayrışması Bozkurtoğlu [31] ve Bozkurtoğlu vd [32] tarafından önerilen kayaç değişim değeri (KDD) ve kayaç değişim oranı (KDO) eşitlikleri ile de irdelenmiştir. İnceleme alanındaki bir taş ocağında yol kotunun 15 – 20 m altında ocak tabanından alınmış kayaç örneklerde KDD = 1 ve KDO = %0 olarak hesaplanmıştır. Diğer örneklerde KDD değeri 0.994 – 0.502 arasında değişmekte olup ortalama değer 0.905 tir. Bu kesimlere ait KDO değerleri %0.579 – 86.809 arasında değişir ve ortalama değer %5.011 dir. KDD ve KDO na ait bu değerler çalışma bölgesinde endüstriyel kili oluşturan köken kayaktan jeolojik süreç içerisinde türeyecek ayrışma ürünü kil hammaddenin de bolluğunu göstermektedir. İnceleme alanında taze kayaktan ayrışma sonucu killeşmeye giden evrilme sürecinde kayaç değişim değeri ile kayaç değişim oranı ve kayaç değişim oranı ile kayaç değişim değeri arasında ~%100 korelasyon ile 2. derece polinom ilişki belirlenmiştir (Şekil 7; Eşitlik 1 ve 2).



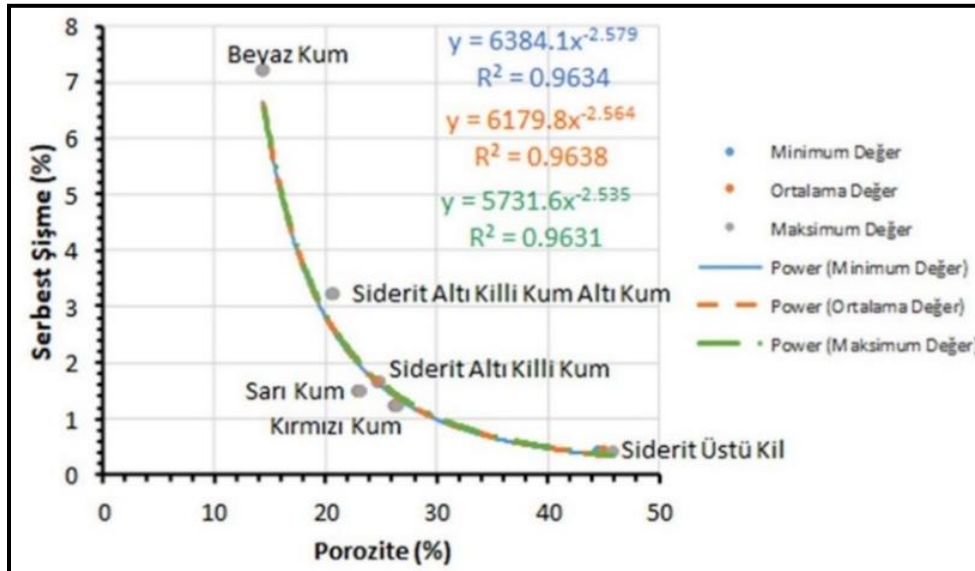
Şekil 7. Kretase volkanitlerinin KDD-KDO ve KDO-KDD ilişkisi

$$KDD = 4 \times 10^{-5}KDO^2 - 0.0089KDO + 0.9965 \quad (1)$$

$$KDO = 220.46KDD^2 - 520.84KDD + 300.92 \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2 ile yapılan hesaplamalarla da KDD değerinin 0.997 – 0.525 arasında değişeceği ve ortalama değer 0.906 olacağı belirlenmiştir. Bu kesimlere ait KDO değerlerinin değişimi %0.540 – %85.285 olarak hesaplanmış ve ortalama değer %6.211 olduğu görülmüştür. Bu değerler arazi geneli için eşitliklerin kullanılabilirliğinin kanıtıdır.

Killerin serbest şişme davranışı ayrışma olayları yanı sıra porozite değerleri ile de yakından ilişkilidir. Tablo 6 ile verilmiş olan birimlere ait deney örneklerinin serbest şişme değerleri ile porozite değerleri arasındaki ilişki Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Pelitler ile psammitlerin bünyelerindeki pelitlerin serbest şişme-porozite değerleri ilişkisi

Şekil 8 ile SŞ-n ilişkisinin ters orantılı olduğu belirlenmiş ve çalışma alanında en düşük porozite değerine sahip olan beyaz kumun içerdiği killerin en yüksek serbest şişme eğilimini sergilediği görülmüştür. Kretase volkanitlerinin üzerinde yer alan daneli çökellerin minimum, ortalama ve maksimum porozite değerleri ile içerdikleri killerin serbest şişme değerleri arasındaki üstel ilişkiler %98 korelasyon ile eşitlik 3, 4 ve 5 ile verildiği gibi belirlenmiştir.

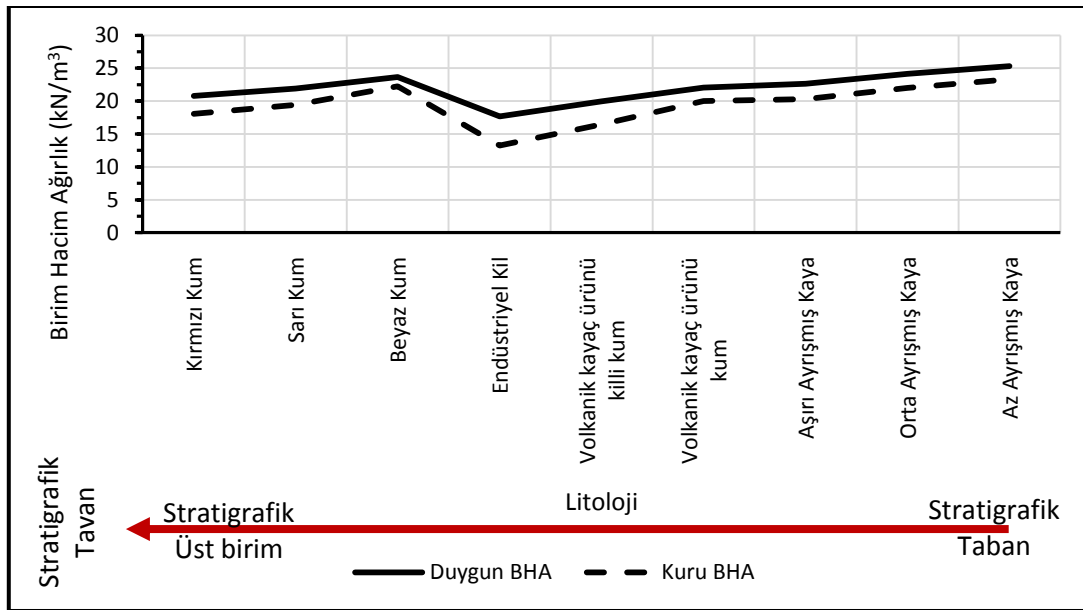
$$S\text{Ş} = 6384.1(n_{min})^{-2.579} \quad (3)$$

$$S\text{Ş} = 6179.3(n_{ort})^{-2.564} \quad (4)$$

$$S\text{Ş} = 5731.6(n_{mak})^{-2.535} \quad (5)$$

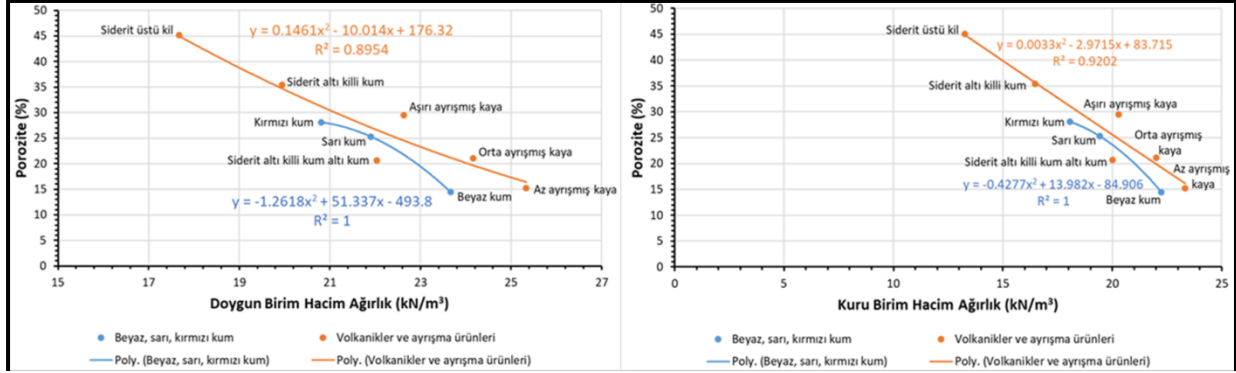
Eşitlik (3), (4) ve (5) ile yapılan hesaplamalar Kretase volkanitlerinin günümüzde en uç ayrışma ürünü olan ve bölgenin de endüstriyel kil hammaddesini oluşturan kil katmanın porozite değerinin ileride %40 ve altında bir değere ulaşması durumunda endüstriyel kilin serbest şişme değerinin sınır değer olan %0.5'e ulaşacağını göstermiştir.

İnceleme alanında gerek volkanik kayaların ayrışma ürünleri gerekse İstanbul güneyindeki Paleozoik temel kayaların ayrışıp taşınarak havzaya gelmiş olan psammitlerin başlangıç ürünlerinden sonuç ürüne evrilmede köken malzemenin kuru birim ile doygun birim hacim ağırlık değerleri düzenli olarak azalmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Köken malzemenen türeyen ayrışma ürünlerinde birim hacim ağırlık değerlerinin ilişkisi.

Litolojik birimlere ait doymun birim hacim ağırlık (γ_d) ile porozite değerleri ve kuru birim hacim ağırlık (γ_k) ile porozite değerleri arasındaki bu ilişki Şekil 10 ile ilgili gösterilmiştir.



Şekil 10. Köken malzemeden türeyen ayrışma ürünlerinde porozite-birim hacim ağırlık değerleri ilişkisi

Kretase yaşlı volkanitlerin ayrışması ile oluşan ve köken kayaktan sonuç ürüne giden süreçte gelişen litolojik birimlere ait doymun ve kuru birim hacim ağırlık ($\gamma_d - \gamma_k$) değerleri ile porozite (n) değerleri arasındaki ilişki %95 ve %96 korelasyon ile 2. derece polinom denklemle açıklanabilir (eşitlik 6 ve 7).

$$n = 0.1461\gamma_d^2 - 10.014\gamma_d + 176.32 \quad (6)$$

$$n = 0.0033\gamma_k^2 - 2.9715\gamma_k + 83.715 \quad (7)$$

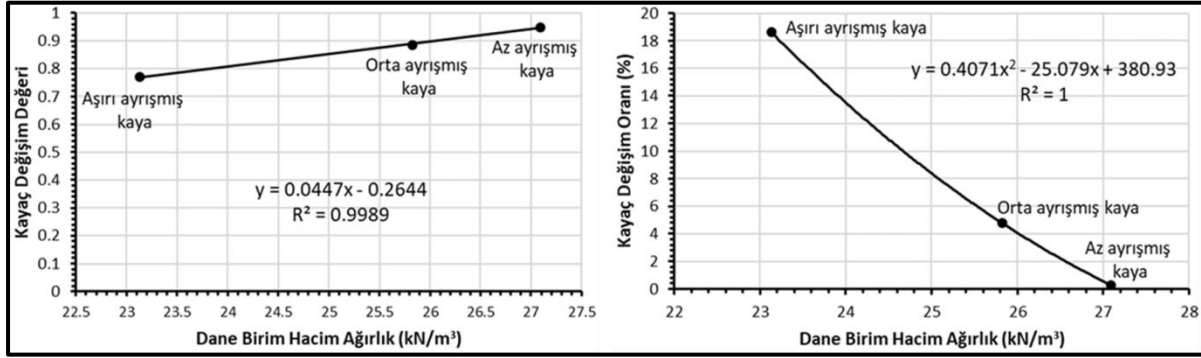
Köken kayacı İstanbulun güneyi olan ve çalışma alanında endüstriyel kil katmanının üzerinde bulunan beyaz, sarı ve kırmızı kum birimlere ait doymun ve kuru birim hacim ağırlık ($\gamma_d - \gamma_k$) değerleri ile porozite (n) değerleri arasındaki ilişki ise %100 korelasyon ile 2. derece polinom denklemdir (eşitlik 8 ve 9).

$$n = -1.2618\gamma_d^2 + 51.337\gamma_d - 493.80 \quad (8)$$

$$n = -0.4277\gamma_k^2 + 13.982\gamma_k - 84.906 \quad (9)$$

Hesaplamalar, Kretase yaşlı volkanikler ve bunlardan türeyen ayrışma ürünlerine ait porozite (n) değerinin belirlenmesi amacıyla eşitlik (6) ile bulunan değerlerin eşitlik (7) ile bulunan değerlere göre gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir. Eşitlik (8) ve eşitlik (9) ile hesaplanan n değerlerinin her ikisi de gerçek değerlere son derece yakın sonuçlardır.

Kretase yaşlı volkanitlerin ayrışması ile oluşan ve köken kayaçtan sonuç ürüne giden süreçte az, orta ve ayrışmış kayacın fiziksel özellik değerlerindeki değişim ile KDD ve KDO değerleri arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Kayacın dane birim hacim ağırlık (γ_s), kayaç değişim (KDD) ve kayaç değişim oranı (KDO) değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 11 ile gösterilmiştir.



Şekil 11. Kayaç değişimi-dane birim hacim ağırlık değerleri ilişkisi

Kretase yaşlı volkanitlerin ayrışması ile oluşan az, orta ve ayrışmış kayacın dane birim hacim ağırlık (γ_s) değerleri ile kayaç değişim değerleri (KDD) arasında ~%100 korelasyon ile doğrusal ve kayaç değişim oranı (KDO) değerleri arasında ise %100 korelasyon ile 2. derece polinom ilişki bulunmaktadır (eşitlik 10 ve 11).

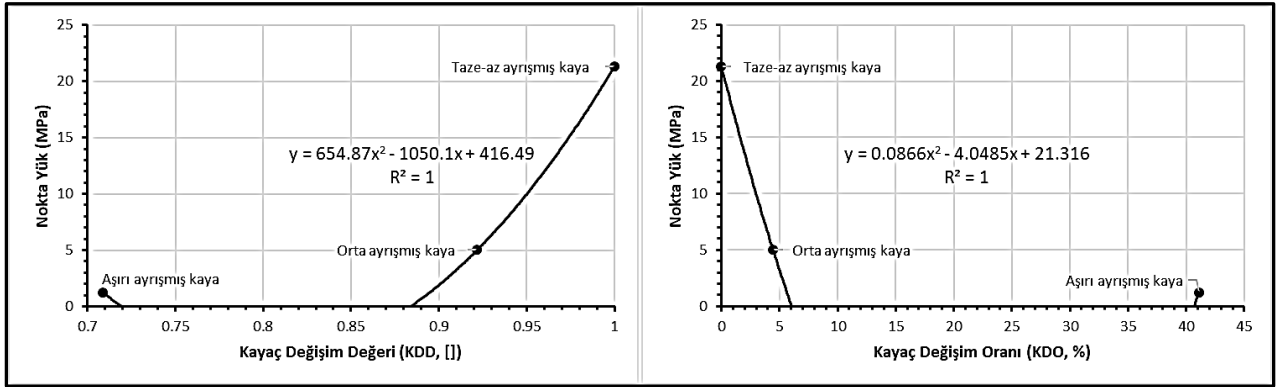
$$KDD = 0.0447\gamma_s - 0.2644 \quad (10)$$

$$KDO = 0.407\gamma_s^2 - 25.079\gamma_s + 380.93 \quad (11)$$

Çalışma alanında taze, az ayrışmış, orta ayrışmış ve aşırı ayrışmış kayaç kesimlerden alınacak örneklere ait dane birim hacim ağırlık değerleri belirlendikten sonra (10) numaralı eşitlik ile bu kayaçlara ait kayaç değişim değerleri (KDD) kolaylıkla hesaplanabilir. KDD değerleri hesaplandıktan sonra (2) nolu eşitlik kullanılarak kayacın kayaç değişim oranı (KDO) değerleri de kolaylıkla hesaplanabilir. KDO değerleri dane birim hacim ağırlık değerlerinden hareketle (11) nolu eşitlik ile de doğrudan hesaplanabilir. Eşitlik (2) ve (11) ile kayaç örneğe ait $P_i(x_i, y_i, z_i)$ noktası için hesaplanacak olan KDO değerleri kayacın ayrışma geçmişinde o nokta ve çevresi için taze kayaçtan evrilmede %değişim aralığının hangi sınırlar arasında kalacağını gösterecektir. Benzer şekilde eşitlik (1) ile hesaplanacak KDD değerlerinde KDO için kullanılacak değerlerin eşitlik (2) ve eşitlik (11) ile bulunan değerlerinin kullanılması ile de kayaç örneğe ait $P_i(x_i, y_i, z_i)$

noktası için taze kayaçtan evrilmeye benzer fiziksel koşullarda KDD değerlerinin değişim aralığının hangi sınırlar arasında kalacağı kolaylıkla belirlenebilecektir.

Kayacın ayrışma sonrası kazanmış olduğu özelliklere bağlı olarak taze - az ayrışmış kesiminden orta ve çok ayrışmış kesimine doğru gelişen süreçte nokta yük direnç (NYD) değerleri ile kayaç değişim değerleri ve kayaç değişim oranı değerleri arasında %100 korelasyon ile polinom ilişki bulunmaktadır (Şekil 12, eşitlik 12 ve 13).



Şekil 12. Köken kayacın ayrışma- nokta yük direnci ilişkisi

$$NYD = 654.87KDD^2 - 1050.1KDD + 416.49 \quad (12)$$

$$NYD = 0.0866KDO^2 - 4.0485KDO + 21.316 \quad (13)$$

Çalışma bölgesi ülkemizin birinci derecede önemli endüstriyel hammadde sahasıdır. Yukarıda verilen eşitlikler ile çalışma bölgesindeki herhangi bir $P_i(x_i, y_i, z_i)$ noktasında stratigrafik istifin istenilen bir seviyesinden alınacak örneğin dane, doymun ve kuru birim hacim ağırlık değerleri ile porozite değerinin belirlenmesinden sonra KDD ve KDO değerleri hesaplanabilir. Ayrışma olaylarının karmaşık doğası nedeniyle önerilmiş olan (1), (2), (10) ve (11) eşitliklerinin kullanılması ile de çalışılan noktaya ait olası KDD ve KDO değerleri hesaplanarak ayrışma gelişiminin alt ve üst sınırları hakkında yorumlar yapılabilir. Ayrıca, eşitlik 6 – 9 ile de o bölgedeki pelitler ile psammitler içindeki pelitlerin serbest şişme davranışı tahmin edilebilir. Kayaç örneklerin KDD ve KDO ya bağlı dayanımı ise eşitlik (12) ve (13) ile belirlenebilir.

4. SONUÇLAR

Çalışma alanı ve çevresi Paleozoyik'ten günümüze değişen yaş aralığında tortul ve magmatik kökenli kayaçları içermekte olup; magmatik serinin tabanını Üst Kretase yaşlı taze – az ayrıışmış volkanik kayaçlar oluşturur. Stratigrafik istifte tabandan tavana doğru gidildikçe taze kayacın üzerinde sırasıyla az – orta ayrıışmış volkanik kayaç, orta – aşırı ayrıışmış volkanik kayaç, aşırı ayrıışmış volkanik kayaç, aşırı ayrıışmış volkanik kayaç ürünü kum, aşırı ayrıışmış volkanik kayaç ürünü killi kum, siderit (kılavuz seviye), aşırı ayrıışmış volkanik kayaç ürünü kil (endüstriyel kil) bulunur. Bu istif Üst Kretase yaşlı taze – az ayrıışmış volkanik kayaçlardan türemiştir ve köken kayacı İstanbul'un güneyindeki Paleozoyik temel kayaçlar olan ve bunlardan türeyen beyaz kum, sarı kum, kırmızı kum ile üzerlenir. Tüm bu seri Kuvaterner yaşlı bitkisel toprak ve güncel çökeller ile örtülmüştür. Üst Kretase yaşlı nötr ve bazik karakterli volkanik kayaçlar volkanizma sonrası süreçlerde kloritleşme, serizitleşme, epidotlaşma, silisleşme, karbonatlaşma ve killeşme türünde alterasyonlara maruz kalmış olan ve endüstriyel öneme sahip kil yataklarının ana kayaçlarıdır.

Magmatik kayaçların kimyası %49-69 SiO₂, % 13-17 Al₂O₃, %4-9 Fe₂O₃, % 1-3 MgO, % 5-12 CaO, % 2-3 Na₂O ve %2-4 K₂O değerlerinde olup taze kayaçta ateş zayıyatı %1.58 dir. Taze kayaçtan orta ayrıışmış kayaca, orta ayrıışmış kayaçtan ayrıışmış kayaca geçişte kayaç kimyasındaki genel beklentiler dışındaki farklılıklar (majör oksit değerlerindeki değişim) kayacın ayrıışması sırasında havzada post-magmatik faaliyetlere bağlı hidrotermal akışkanların varlığına işaret olup magmatik aktivitenin bu gelişimi ayrıışma indisleri hesaplamalarında ve petrografik analizlerde de ortaya çıkmıştır. Kayaç kimyasının altere ve orta altere örneklerdeki yüksek alüminyum içerikleri kayaçta meydana gelen alterasyona bağlı killeşmenin sonucu olup iz element diyagramlarında altere ve orta altere örneklerin Ba ve Sr içeriği taze kayaca oranla daha fazladır. Taze kayaca ait nadir toprak elementler orta ve çok altere örneklere ait değerlerden ise bariz farklılık gösterir.

Çalışma bölgesinde fiziksel özellik deney sonuçlarından hareketle serbest şişme yüzdesi, kayaç değişim değeri ile kayaç değişim oranı değerlerini güvenilir şekilde hesaplamaya yönelik bağıntılar elde edilmiş, nokta yük direnç değerlerini verecek bağıntılar önerilmiştir.

Çalışma bölgesinde kayaçtan zemine giden ayrıışma sürecinde zeminleşmiş kesimlerin sınıf dağılımının %26.32 SW, %15.79 CL, %10.53 GW, %10.53 SW-SC, %10.53 SC, %10.53 CH,

%5.26 SW-SM, %5.26 SP-SC, %5.26 SM, endüstriyel kilin CH, diğer killerin ise CL sınıfı olduğu belirlenmiştir.

Kretase volkanitlerinin günümüzde en uç ayrışma ürünü olan ve bölgenin de endüstriyel kil hammaddesini oluşturan kilin serbest şişme açısından sorunsuz olduğu fakat bu kil katmanın porozite değerinin ileride %40 ve altında bir değere ulaşması durumunda serbest şişme değerinin sınır değer olan %0.5'e ulaşacağı anlaşılmıştır. KDD ve KDO değerleri bölgenin jeolojik süreç içerisinde Kretase volkanitlerinden oluşacak en uç ayrışma ürünü malzemeyi üretmeye yetecek köken kayaç potansiyelinin bolluğunu da göstermiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 38345 nolu BAP projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar, İTÜ Rektörlüğü'ne ve arazi çalışmalarında yardımına başvurulmuş Jeoloji Mühendisi İbrahim İncekara'ya, editör Erol Türkeş'e ve hakemler Aykut Güçtekin ile Gürsel Yanık'a makaleye yaptıkları değerli katkıları için teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- [1] Özgül, N. (2011). İstanbul İl Alanının Jeolojisi. İBB, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- [2] Özdamar, Ş., Ece, Ö.I., Kayacı, K., Küçüker, A.S. (2007). Mineralogical and technological properties of underclays in Şile Region, İstanbul, Turkey. *Industrial Ceramics*, 27/3, 1-11.
- [3] Çoban, F., Ece, Ö.I., Yavuz, O., Özdamar, Ş. (2002). Petrogenesis of volcanic rocks, and clay mineralogy and genesis of underclays, Şile Region, İstanbul, Turkey. *Neues Jahrbuch für mineralogie-Abhandlungen*. 178/1, 1-25.
- [4] Reiche, P. (1943). Graphic presentation of chemical weathering. *Journal of Sedimentary Petrology*, 13, 2, 58-68.
- [5] Ruxton, B.P. (1968). Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology*, 76, 518-527.
- [6] Parker, A. (1970). An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine*, 103, 501-504.
- [7] Vogt, T. (1927). Sulitjelmefeltets geologiog petrografi. *Norges Geologiske Undersøkelse*, 121, 1-560.

- [8] Roaldset, E. (1972). Mineralogy and geochemistry of Quaternary Clays in Numedal Area, Southern Norway. *Narsk. Geol. Tidsskr*, 52, 335-369.
- [9] Vogel, D.E. (1975). Precambrian weathering in acid metavolcanic rocks for the Superior Province, Villebond Township, South- central Quebec. *Canadian Journal of Earth Science*, 12, 2080-2085.
- [10] Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Lutites. *Nature*, 299, 715-717.
- [11] Harnois, L. (1988). The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55, 319-355.
- [12] Sueoka, T., Lee, I.K., Hiramatsu, M. & Imamura, S. (1985). Geomechanical properties and engineering classification for decomposed granite soils in Kaduna district, Nigeria. In: *Proceedings of the First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Brasil*, 1, 175-186.
- [13] Jayawardena, U. De S. (1993). Use of H_2O for classification of residual soils. In: *Geotechnical Engineering of Hard Soils-2/Soft Rocks*. Anagnostopoulos et al. (eds.), Balkema, Rotterdam, 169-171.
- [14] Jayawardena, U. De S. & Izawa, E. (1994). Application of present indices of chemical weathering for Precambrian metamorphic rocks in Sri Lanka. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, 49, 55-61.
- [15] Irfan, T.Y. (1996). Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 29, 5-35.
- [16] Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., (1995). Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921-924.
- [17] Harnois, L. (1988). The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55, 319-355.
- [18] Maynard, J.B. (1992). Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols. *The Journal of Geology* 100, 279-289.
- [19] Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Lutites. *Nature*, 299, 715-717.
- [20] Nesbitt, H.W., Young, G.M. (1989). Formation and diagenesis of weathering profiles.

Journal of Geology 97, 129-147.

[21] Nesbitt, H.W., Wilson, R.E. (1992). Recent chemical weathering of basalts. American Journal of Science 292, 740-777.

[22] Nordt, L.C., Driese, S.D. (2010). New weathering index improves paleorainfall estimates from Vertisols. Geology 38, 407-410.

[23] Herron M.M., (1988): Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary petrology. 58(5): p.820-829.

[24] TS 699, (1987). Tabii yapı taşları – muayene ve deney metotları. ICS 91.100.01;91.100.15. Türk Standartları Enstitüsü, 76 syf., Ankara.

[25] TS 1900, (1987). İnşaat Mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[26] ASTM D 5731-95, (1995). Standard test method for determination of the point load strength index of rock, Annual book of ASTM standards, 04.08.

[27] ANON, (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I – rock and soil materials. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 19, 364–371.

[28] Franklin, J.A. and Broch, E. (1972). The point load strength test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 9, 669-97.

[29] Bozkurtoğlu, E., Şans G., Eyüboğlu R. (2015). Kohezyonlu Zeminlerin Şişme Potansiyeli İçin Bir Yaklaşım: Avcılar-Esenyurt Örneği. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Jeolojisi Dergisi, 21(6), 270-275.

[30] Altmeyer, WT. (1955). Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Testing and Materials, 81(2), 17-19.

[31] Bozkurtoğlu, E., Çanakkale-Tuzla Yöresi Volkanik Kayaçlarında Süreksizliklerin Ayrışma- Alterasyon Olaylarına Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 121-123, 2003.

[32] Bozkurtoğlu, E., Vardar M., Suner F., Zambak C. (2006). A new numerical approach to weathering and alteration in rock using a pilot area in the Tuzla geothermal area, Turkey. Engineering Geology 87, 33-47.