



Tarım Bilimleri Dergisi
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Yarı Kurak Şartlarda Trakit/Trakiandezit Ana Materyal Üzerinde Oluşan Toprakların Ayrışma Oranları ve Kil Mineralojisine Bakının Etkisi

Hüseyin ŞENOL^a, Hasan Hüseyin ÖZAYTEKİN^b, Mesut AKGÜL^a, Pelin ALABOZ^a

^aSüleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

^bSelçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar:Hüseyin ŞENOL, E-posta: huseyinsenol@sdu.edu.tr, Tel: +90 (246) 211 86 07

Geliş Tarihi: 24 Ocak 2014, Düzeltmelerin Gelişi: 28 Şubat 2014, Kabul: 02 Mart 2014

ÖZET

Bu çalışmada, kuzey ve güney yönlü bakıya sahip iki farklı topoğrafyada oluşan toprakların element kayıpları (Ca, Mg, K, Na, Si, Al ve Fe) ve kil mineralojisi araştırılmıştır. Element kayıpları titanyum (Ti) gibi hareketsiz elementlerin zenginleşmesi ve kayıplarına dayanan kütle dengesi hesaplamaları ve kimyasal alterasyon indeksi (CIA), kimyasal ayrışma indeksi (CIW), bazlar/R₂O₃ oranı, plajiyoklas alterasyon indeksi (PIA) ve ürün indeksi (Product indice) (P) gibi ayrışma indisleri kullanılarak belirlenmiştir. Tecezzi ortamının yorumlanmasında kullanılan indislere göre çalışma alanı profilleri jeolojik ana materyalin yaşına uyumlu olarak düşük bulunmuştur. Kütle taşınım fonksiyon değerleri ve kütle kayıp/kazançları, güney yamaçta açılan profillerde kuzey yamaç profillerine göre daha fazla kayıp ile birlikte bakının önemli olduğunu göstermiştir. Profillerde yapılan mineralojik analizlerde kuzey yamaç kısmındaki örneklerde K-feldispat ve kuvars miktarının güney yamaç profillerine göre yüksek olması tecezzinin bakı etkisi ile kısa mesafelerde daha ileri düzeyde olabileceğini göstermiştir. Güney yamaçta yoğun smektit ve smektit-illit ara tabakalı kil mineralleri söz konusu iken, kuzey yamaç kesimlerinde bolluk sırasına göre illit, kaolinit ve smektitin varlığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak majör elementlerin profildeki değişimleri ve kil mineralojisindeki değişimler kısa mesafede bakı ve eğimin tecezziye olan etkisinin belirlenmesinde kullanılabilceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ayrışma indeksi; Kütle taşınım fonksiyonu; Kütle kayıp/kazançları; Kil mineralojisi; Çünür tepesi; Andezit/trakiandezit

Effect of Aspect on Weathering Rates and Clay Mineralogy of Soils Developed on Andesite/Trachyandesite Parent Materials under Semi-Arid Conditions

ARTICLE INFO

Research Article

Corresponding Author: Hüseyin ŞENOL, E-mail: huseyinsenol@sdu.edu.tr, Tel: +90 (246) 211 86 07

Received: 24 January 2014, Received in Revised Form: 28 February 2014, Accepted: 02 March 2014

ABSTRACT

In this study a soil sequence was investigated on North and South facing slopes with respect to elemental balances (Ca, Mg, K, Na, Si, Al, and Fe) and the occurrence and abundance of clay minerals. Elemental losses were derived from mass balance calculations that are based on enrichment/depletion factor by taking the immobile element content (titanium, Ti) as reference and using some weathering indices such as Chemical Index of Alteration (CIA), Chemical Index of Weathering (CIW), bases/R₂O₃ ratio, Plagioclase Index of Alteration (PIA), and Product Index (P). According to the indices used for the interpretation of the degree of weathering in parent materialin 4 profiles were found to be low in accordance to the age of the geological parent material. Higher values of the mass balance functions and mass loss/gain budget in profiles situating in southern part of the hill have indicated the importance of standing in the degree of weathering. The intensity and abundance of K-feldspar and quartz was higher in northern hill sites and this indicated that the weathering processes may considerably change in short distances. Smectites and interlayered smectites-illite clay minerals were observed in southern hill whereas the soils of northern hill consisted of illite, kaolinite, and smectites in descending order. It can be concluded that the differences in concentration of major element in a profile and clay mineralogy in short rages may quantify the effect of topolithosequence.

Keywords: Weathering index; Mass transport function; Mass balance; Clay mineralogy; Çünür hill, Andesite/trachyandesite

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

Topraklar; tecezzi, besin ve karbon depolanması dahil olmak üzere, biyokimyasal döngü içinde önemli bir rol oynamaktadır. Toprak içerisinde geçen pedojenik süreçler sırasında bir kısım kayıplar, kazanımlar ve dönüşümler söz konusudur. Belirtilen süreçler içerisinde meydana gelen olayların sayısallaştırıldığı kimyasal alterasyon indeksi (CIA) (Nesbitt & Young 1982), kimyasal ayrışma indeksi (CIW) (Harnois 1988), plajiyoklas alterasyon indeksi (PIA) (Fedo et al 1995) baz/seskioksit indeksi (Birkeland 1999) ve ürün indeksi (Product indice, P) (Reiche 1950) gibi kütle değişim indeksleri ile değerlendirilme yoluna gidilmektedir. Ayrışma indeksleri, kimyasal bileşenlerin durumu veya kil mineral toplulukları bile nispeten dar bir zaman aralığında toprakların tecezzisini ve süreç sırasındaki davranışları ortaya koyduğu belirtilmektedir (Egli et al 2001; 2003; Gunal et al 2011). Profildeki tecezzinin belirlenmesi amacı ile elementlerin tüketilme ve mineral dönüşümü gibi olaylar ile toprak oluşumu ile ilgili farklı oranların kullanıldığı da belirtilmektedir (Föllmi et al 2009a; 2009b; Mavris et al 2011; Dahms 2002; 2004). Topraktaki elementel dağılım, ana materyal veya atmosferik birikimi ile eklenmeler,

toprak profilinden yıkanma veya taşınma şeklinde birçok faktör tarafından belirlenir. Başlangıçta ana materyal doğal halde bulunurken tecezzi olaylarının etki derecesine göre değişmeye başlar. Değişimi etkileyen faktörler ile her bir mineral fazın toprak içerisinde oransal ağırlıkları değişir. Toprak yapan faktörlerin etki derecesi yukarıda belirtilen indeksler yardımı ile sayısal olarak ortaya konmaktadır.

Topraktaki minerallerin yüzeyinde meydana gelen kimyasal ayrışma işlemi dinamik jeokimyasal bir süreçtir. Bu nedenle tecezzi hızı, uzun bir periyot boyunca bitki besin elementi alımı ve toprağın verimliliğinin belirlenmesinde anahtar bir rol oynamaktadır (Duan et al 2002). Topraktan bazik katyonların kaybı; bitkiler tarafından alınım, yıkanma ve toprak minerallerinin tecezzisindeki primer mekanizmaların etkisiyle ortaya çıkan yer değiştirmeler tarafından kontrol edilmektedir (Hodson et al 1998).

Elementlerin tecezzi sırasında profil içerisinde yer değiştirmesi farklı mekanizmalar tarafından kontrol edilmektedir. Profil gelişimi; primer minerallerin çözünmesi, sekonder mineral oluşumu, taşınım, iyon değişimi gibi pedojenik olaylardan farklı miktar ve şekilde etkilenir. Oluşan sekonder mineral veya elementlerin yeniden dağılımında

ise mobilite ve oluşum sırasındaki jeokimyasal değişimler belirleyici etkenlerdir (Middleburg et al 1988). Toprak oluşumu sırasında primer minerallerin tüketilme oranları, sekonder kil ve metal oksitlerin oluşumları toprak yüzeyinin yaşı ile birlikte azaldığı da belirtilmektedir (White et al 2009).

Bu çalışma, Miyosen'den önce aktif faaliyetleri olan alkali potassik/ultrapotassik magmatizmaya ait andezit/trakiandezit ana materyal üzerinde bir dom şeklinde oluşmuş Isparta Çünür tepesinde (i) ayrışma indisleri vasıtası ile kütle transferi, hacim değişiklikleri ve element kayıplarını tahmin etmek; (ii) kuzey ve güney yönlü açılan profiller boyunca oluşan kil mineral tiplerinin katenasal değişimini incelemek amacı ile gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı ve jeolojik konum

Isparta ilinin 11 km kuzeyinde yer alan Çünür tepesi 37° 18' N and 38° 30' N koordinatlarındadır (Uyanık et al 2010). 1020-1090 m arasında rakıma sahip tepede eğim doğrultusunda açılan profiller arası mesafe 15 m, farklı bakı profilleri arası kuş bakışı yaklaşık mesafe 100-150 m arasında değişmektedir; jeolojik olarak volkanik kum, kireçtaşı ve andezit/trakiandezit ve tecezzi ürünlerini bulundurmaktadır (Uyanık et al 2010; Görmüş & Özkul 1995; Yağmurlu et al 1997; Nemeç & Kazancı 1999; Görmüş et al 2001; Francalanci et al 2001).

Badem ağaçlarının dikili olduğu arazide yağışın izin verdiği ölçüye bağlı olarak yabancı otlar

Çizelge 1- Profillerin morfolojik özellikleri

Table 1- Morphological characteristics of profile

Profil	Horizon	Derinlik (cm)	Renk (Kuru)	Renk (Nemli)	¹ Strüktür	² Kök	³ Sınır	⁴ Biyolojik aktivite
K1	O	0-10	10YR3/3	10YR3/4	mo, me, gr	3k	du	h
	A	10-43	10YR5/3	10YR3/2	mo, st, sab	3k	du	m
	C1	43-61	-	-	mas	3i	as	w
	C2	61-88	-	-	mas	2i	-	n
	C3	88	-	-	mas	1	as	n
K2	O	0-17	10YR5/3.5	10YR3/2	mo, me, gr	2i	ds	n
	A	17-42	10YR5/3	10YR3/4	mo, me, sab	2i	ds	n
	AC	42-67	-	-	mo, me, m	1	ds	n
	C1	67-85	-	-	mas	1	-	n
	C2	85-110	-	-	mas	1	as	n
	C3	110	-	-	mas	1	as	n
G1	A	0-35	10YR5/3	10YR3/2	mo, me, gr	4ko	du	m
	AC	35-64	10YR5/3	10YR3/2.5	mo, me, sab	4o	ds	w
	C1	64-80	-	-	mas	2i	ds	n
	C2	80	-	-	mas	2i	ds	n
G2	A	0-42	10YR3/3	10YR3/2	w, me, sab	2oi	ds	m
	C1	42-67	-	-	mas	2i	ds	w
	C2	67	-	-	mas	1	ds	n

¹, strüktür: w, zayıf; mo, orta; st, güçlü; me, orta; m, masif; gr, granüler; sab, yan köşeli blok; ², kök: 1, yok; 2, az; 3, orta; 4, yaygın; i, ince (<2 mm); c, kaba (>5 mm); ³, sınır: ds, düz; du, düze yakın; as, dalgalı; ⁴, biyolojik aktivite: n, yok; w, zayıf; m, orta; h, yüksek

gelişmektedir. Çalışma alanında ortalama yıllık yağış 581 mm iken buharlaşma 1221.9 mm'dir. Ortalama toprak sıcaklığı 12 °C olarak belirlenmiştir (Akgül & Başayığit 2005). Toprak nem ve sıcaklık rejimi "xeric" ve "mesic"tir (Akgül et al 2001).

Çalışma alanına ait profillerin morfolojik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Profillerin tüm horizonlarında renk değerleri kuru iken 10YR3/3-5/3 nemli iken 10YR3/2-3/4 arasında değişmiştir. Güney bakının yüzey horizonlarında daha yoğun kök dağılımı belirlenirken, her iki bakıda da derinliğe bağlı olarak azalma gözlenmiştir.

2.2. Örneklem ve analiz

Çalışmada kuzey ve güney yönlü toplam 4 toprak profili seçilmiş ve horizon esasına göre örneklem yapılmıştır.

2 mm elekten geçirilen hava-kuru toprak ve öğütülmüş (<50 µm) ana materyal örnekleri LiBO/HNO₃ karışımı ile çözülerek toplam element analizine hazırlanmıştır. Süzüklerin majör element konsantrasyonları ICP-MS cihazı (Thermo, ICAP 6300 DUO) ile belirlenerek sonuçlar oksit (%) olarak verilmiştir (Chao & Sanzalone 1992).

Örneklerin mineralojik kompozisyonu birincil mineral için 2 mm'den küçük toprak örnekleri agat havanda 38 µm'den geçecek şekilde öğütülerek 2-40° 2θ aralığında X-Ray (Cu tüplü Shimadzu XRD-6000) difraktogramları çekilmiştir. Kil minerallerini belirlemesi için kil fraksiyonu sırasıyla yıkama, kirecin ortamdan uzaklaştırılması, santrifüjleme, sedimentasyon işlemlerine tabii tutulmuştur. Kil fraksiyonu Mg ve K ile doyurulduktan sonra, K doyurulan kısımda hava-kuru ve +550 °C fırınlanmış; Mg ile doyurulmuş kısımlarda ise hava kuru ve 16 saat 60 °C'de etilen glikol buharında desikatörde bekletildikten sonra 2-15° 2θ aralığında X-ray difraktogramları alınmıştır (Jackson 1979).

2.3. Kütle dengesi

Kütle denge indeksi; toprak oluşum süresi boyunca herhangi bir element için kayıp, kazanım ve/veya dönüşümler sonucu ortaya çıkan miktarlarının

sayılaştırılmasında kullanılan bir yöntemdir (Brimhall & Dietrich 1987). Hesaplama horizon veya ana materyal/anakaya hacim ağırlığı ve kimyasal bileşimleri kullanılır. Zenginleşme ve yıkanma faktörü olarak Ti veya zirkonyum (Zr) gibi hareketsiz elementler kullanılır. Yöntem silisyumca zengin anakaya ve toprakta yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (White 1995; Nieuwenhuysse & van Bremen 1997; Langley-Turnbaugh & Bockheim 1998).

Kütle denge hesaplamasında standardize edilmiş hacimsel değişim katsayısı (ε) topraklarda belirli bileşenlerin kayıp ve/veya kazanımlarının değerlendirilmesinde kullanılır (Brimhall & Dietrich 1987).

$$\varepsilon_{i,w} = \frac{\Delta z_w}{\Delta z} - 1 \quad (1)$$

Burada; ε_{i,w}, standardize edilmiş hacimsel değişim katsayısı; Δz_w, horizon kalınlığı (m); Δz, profil kalınlığı (m), değer pozitif çıkması kazanımları gösterirken negatif değer ise yıkanmayı ya da kayıpları gösterir.

Açık sistem kütle taşınım fonksiyonu (τ) (Chadwick et al 1990; Egli & Fitze 2000) tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\tau_{j,w} = \left(\frac{\rho_w C_{j,w}}{\rho_p C_{j,p}} (\varepsilon_{j,w+1}) \right) - 1 \quad (2)$$

Bu denklemde; T_{j,w}, açık sistem kütle taşınım fonksiyonu; P_w, ayrılmış horizonun hacim ağırlığı; C_{j,w}, horizondaki element konsantrasyonu; C_{j,p}, ana materyaldeki element konsantrasyonu (kg t⁻¹), P_p, ana materyalin hacimsel ağırlığı (t m⁻³) ifade etmektedir.

Profil içerisindeki elementlerin hareketliliği ise aşağıda verilen denklemle sayısallaştırılabilir.

$$M_{j,flux(z_w)} = \sum_{a=1}^n C_{j,p} \rho_p \left(\frac{1}{\varepsilon_{i,w+1}} \right) \tau_{j,w} \Delta z_w \quad (3)$$

Bu denklemde; M_{j,flux}(z_w), horizondaki element hareketliliğini (g cm⁻²) göstermektedir. M_{j,flux}(z_w), in sayısal değerinin pozitif olması sisteme katılımı, negatif olması sistemden kayıp olduğunu göstermektedir.

Hacimsel değişim hesaplamalarında Ti, toprak ortamında düşük hareket kabiliyeti olması sebebi ile referans element olarak kullanılmıştır (Marshall & Haseman 1942; Brimhall & Dietrich 1987; Harden 1988; Chadwick et al 1990; Brimhall et al 1991a;b; Merritts et al 1992).

Profillerin ayrışma oranlarının sayısallaştırılmasında ise aşağıda verilen indisler kullanılmıştır.

$CIA = (100) [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$
(Nesbitt & Young 1982)

CaO* değeri, silikat minerallerinden kaynaklanan CaO değeri olup karbonat ve apatit düzeltmesi yapılarak kullanılır. CIA indeksinin hesaplanmasında apatit düzeltmesi yapılırken CaO değeri, Na₂O değerinden daha düşük çıkar ise CaO; yüksek çıkması durumunda CaO yerine Na₂O değeri kullanılır (McLennan et al 1993). Nitekim bu çalışmada Na₂O değerleri kullanılmıştır.

$CIW = (100) [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)]$
(Harnois 1988)

$PIA = (100) (Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$
(Fedo et al 1995)

$P = (100) [SiO_2 / (TiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2)]$
(Reiche 1950)

$Baz/R_2O_3 = (MgO + CaO + Na_2O + K_2O) / (TiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3)$
(Birkeland 1999)

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Jeokimyasal özellikler

Çalışılan profiller, aynı ana materyal üzerinde olması nedeniyle, benzer jeokimyasal özelliklere sahip olup profillere ait majör elementlerin konsantrasyonları Çizelge 2’de verilmiştir. SiO₂ içeriği kuzeyde (K1, K2) açılan profillerde % 52.1-55.7, güneyde (G1, G2) ise % 51.1-52.6 arasında değişim göstermiştir. Genel olarak SiO₂ içerikleri derinlikle birlikte artma eğilimi gösterirken Al₂O₃ içerikleri kuzeyde % 15.2-18.5, güneyde % 14.5-18.4 arasında olup belirgin bir eğilim göstermemiştir. Profillerde yer alan ana materyal ile solum horizonları arasında Al değerlerinin belirgin bir farklılık göstermemesi, toprak yapan faktörlerin ana materyali sınırlı derecede etkilediğini ve bu

eğilimin ana materyalin kalıtım etkisiyle olduğunu düşündürmektedir. Nitekim toprak yapan faktörlerin ileri derecede etkin olduğu oksisollerde Al₂O₃ konsantrasyonlarının, çalışmamızda belirlenen miktarlardan, oldukça yüksek olduğu Delvaux et al (1989) tarafından bildirilmiştir. Genel olarak Fe₂O₃ değerleri horizonlarda bir miktar dalgalanma göstermiş olmakla birlikte derinlikle artmış, en yüksek değer K2 profilindeki C2 horizonunda % 6.74 olarak belirlenmiştir. Toplam Fe₂O₃ miktarlarının değişiminde yeterli bir eğilim elde edilememesi hornblendin zayıf ayrışması ile açıklanabilmektedir (Uzun 2013). CaO; K1, K2 ve G1 profillerinde yüzey altı horizonunda ve anakaya üzerindeki son ve/veya son iki horizonunda birikme eğilimi göstermiştir (Çizelge 2).

Bu eğilimin bölgenin yağış rejimi ve toprak organik maddesi ile ilgili olduğu öngörülmektedir. Yüzey altındaki birikim yağışın az olduğu uzun dönemde organik maddenin de çözücü etkisiyle meydana geldiği; alt horizonlardaki birikim ise yağışın bol olduğu dönemdeki su hareketiyle ilgili olduğu düşünülmektedir. MgO konsantrasyonları ise kuzeyde açılan profillerde derinlikle birlikte genel olarak azalırken, güney profillerde tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Yüksek miktarda MgO değerleri mika minerallerinden biyotite işaret etmektedir (Grosman 1972). Nitekim XRD çekimlerinde mika minerallerinin varlığı bu durumu desteklemektedir (Şekil 1).

K₂O ve Na₂O konsantrasyonları sırası ile % 1.17-5.99 ve % 2.41-4.04 aralıklarında değiştiği belirlenmiştir. Her iki bakıda eğilimin üst kısımlarında kalan “1” nolu profillerde hareketli olan Na ve K’ nin konsantrasyonlarının daha düşük olduğu; bu davranış, yüzey akışı nedeniyle alt profilden daha fazla su geçmesine bağlı olarak daha fazla yıkanmayı göstermektedir. Andezitik kayalarda en yaygın mineral olan feldispat ve mika varlığını ortaya koyan bu elementler XRD verilerinde de gözlenen pikler ile uyumluluk göstermektedir.

Hareketsiz bir element olması nedeni ile kimyasal değişimin belirlenmesinde kullanılan

Çizelge 2- Profillerdeki bazı majör oksitlerin dağılımı*Table 2-Total element analysis of soil profiles*

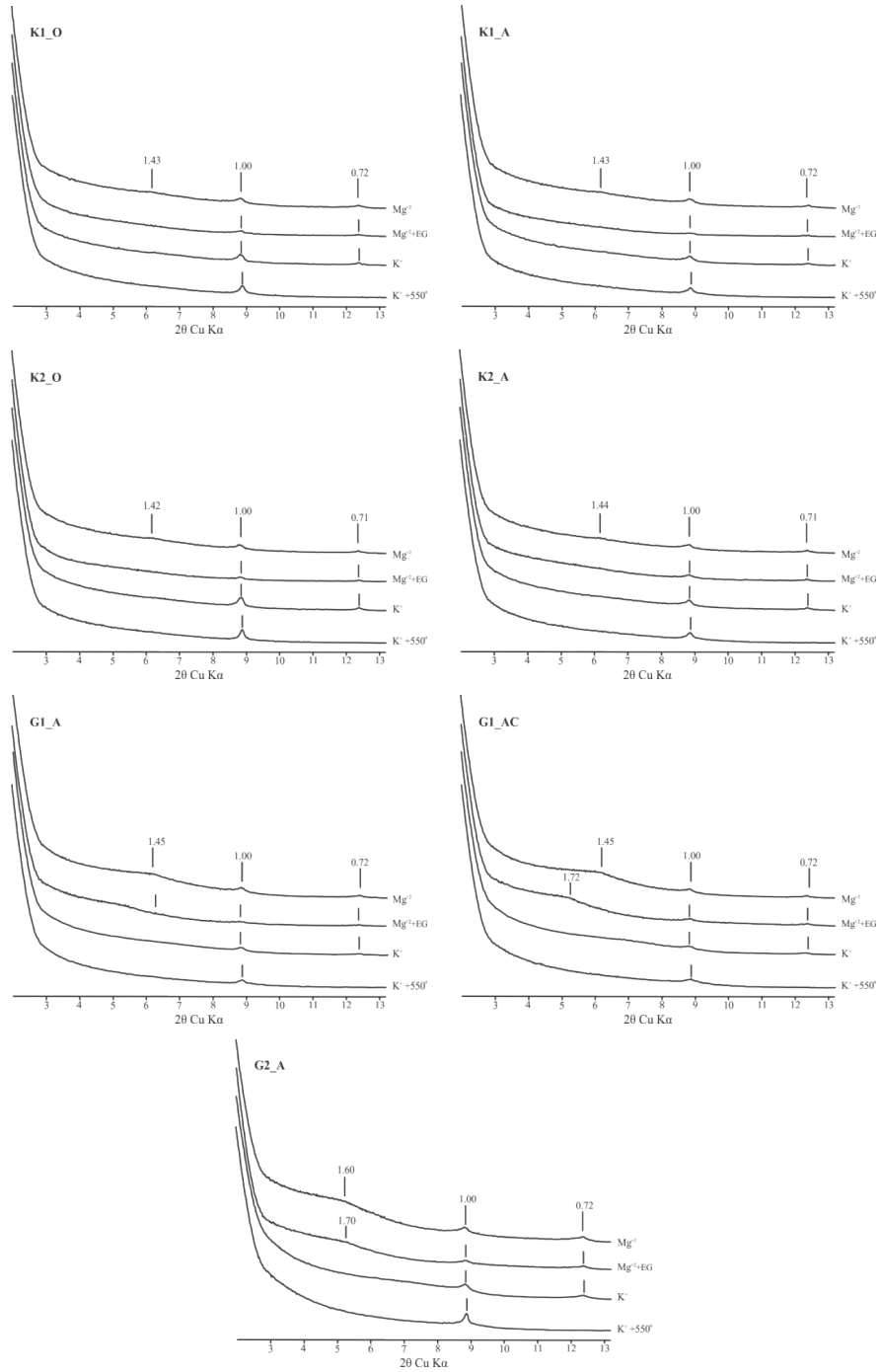
Profil	Horizon	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>TiO₂</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>MnO</i>	<i>LOI</i>	<i>Toplam</i>
		%											
K1	O	52.1	16.6	4.56	3.32	4.88	3.67	4.05	0.21	0.33	0.08	10.94	100.8
	A	52.1	17.1	4.53	2.19	6.81	2.87	5.81	0.28	0.39	0.10	8.27	100.5
	C1	55.3	15.2	6.15	2.12	5.77	3.47	5.86	0.28	0.43	0.09	5.25	99.9
	C2	55.7	15.4	4.35	3.58	5.31	3.04	5.34	0.21	0.31	0.09	6.28	99.6
	C3	55.3	17.1	6.56	1.07	6.94	3.31	1.39	0.30	0.40	0.09	7.20	99.6
Ortalama		54.1	16.3	5.23	2.46	5.94	3.27	4.49	0.26	0.37	0.09	7.59	100.1
K2	O	52.2	15.3	4.57	3.06	5.16	3.50	4.30	0.20	0.33	0.08	10.47	99.2
	A	53.1	16.4	5.04	3.13	5.56	3.60	4.16	0.23	0.37	0.08	8.74	100.5
	AC	54.0	15.7	5.75	4.17	5.14	2.41	4.95	0.18	0.27	0.09	6.48	99.1
	C1	53.2	16.6	6.11	3.57	5.35	2.53	5.20	0.20	0.29	0.09	6.27	99.4
	C2	53.0	16.4	6.74	1.51	6.82	3.59	3.66	0.26	0.36	0.08	6.71	99.1
	C3	53.6	18.5	6.39	1.26	6.96	3.37	1.17	0.29	0.36	0.08	7.58	99.5
Ortalama		53.2	16.5	5.77	2.78	5.83	3.17	3.91	0.23	0.33	0.08	7.71	99.5
G1	A	52.0	16.1	5.20	2.79	5.36	4.04	3.51	0.23	0.37	0.10	9.80	99.6
	AC	52.6	14.5	4.76	2.67	7.28	2.91	3.42	0.21	0.40	0.10	11.19	100.0
	C1	52.4	17.1	5.32	3.97	6.70	3.63	3.47	0.26	0.36	0.09	6.43	99.7
	C2	52.3	15.3	4.92	3.18	7.01	2.77	3.24	0.21	0.39	0.09	11.52	100.9
	Ortalama		52.3	15.7	5.05	3.15	6.59	3.34	3.41	0.23	0.38	0.09	9.74
G2	A	51.1	18.4	5.98	2.24	5.25	3.98	3.33	0.27	0.30	0.07	9.01	100.0
	C1	51.6	18.1	5.59	3.03	5.02	3.73	5.99	0.26	0.35	0.07	6.39	100.1
	C2	52.4	17.6	6.49	4.25	7.03	3.31	1.49	0.29	0.41	0.07	7.21	100.7
Ortalama		51.7	18.1	6.02	3.18	5.77	3.67	3.60	0.27	0.36	0.07	7.54	100.3

TiO₂ % 0.18-0.30 arasında belirlenmiş, horizonlar arası düzenli bir değişim trendi gözlenmemiştir. Genel anlamda profillerde ayrışmayı destekleyecek şekilde ana materyale yakın değerler elde edilmesi, toprak oluşumunda tecezzinin yavaş seyrettiğini, katılım, kayıp, profil içi taşınım ve değişimlerinin çok az olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca tecezzi olaylarının ortaya konmasında önemli bir veri kaynağı olan TiO₂'nin % olarak çok düşük değerlerde kalması solumlar arası bir farkın söz konusu olmaması sıcaklığın yüksek olduğu

dönemde (mesic) yağışın yetersiz olmasına (xeric) bağlı olarak pedojenik gelişimin zayıflığını ortaya koyan başka bir veridir.

3.2. Ayrışma indisleri

Toprakların tecezzi derecesinin tanımlanmasında çok sayıda farklı indeks kullanılmaktadır (Nesbit & Young 1982; Harnois 1988). İndekslerin temel prensibi, bazik katyonlar ile Al, Si gibi katyonlar arasındaki değişim oranlarının sayısallaştırılarak



Şekil 1- Profillerin yüzey horizonlarının X ışını difraktogramları

Figure 1- X-ray diffractograms of clay fractions of surface horizons in the profiles

Çizelge 3- Profillere ait bazı ayırışma oranları

Table 3- Weathering index of soil profiles

Profil	Horizon	CIA	CIW	PIA	P	Baz/R ₂ O ₃
K1	O	50.3	57.9	37.0	81.7	1.26
	A	52.1	64.4	32.9	81.3	1.05
	C1	46.1	57.1	26.8	82.8	1.19
	C2	49.3	60.6	30.7	83.7	1.35
	C3	58.0	61.1	52.7	81.3	0.70
K2	O	48.6	57.0	33.7	82.8	1.30
	A	50.1	58.1	36.3	82.0	1.22
	AC	54.1	66.4	35.6	82.4	1.22
	C1	54.3	66.6	35.8	81.4	1.11
	C2	50.9	58.1	38.6	81.1	0.94
	C3	59.9	62.5	55.8	79.9	0.68
G1	A	48.5	54.8	37.0	81.8	1.23
	AC	52.2	60.2	38.8	83.4	1.13
	C1	52.1	58.8	40.6	81.1	1.24
	C2	54.7	62.6	42.1	82.7	1.11
G2	A	52.4	58.4	42.2	79.4	0.99
	C1	49.2	59.7	31.5	79.9	1.20
	C2	58.5	61.8	53.2	80.1	1.05

ortaya konmasıdır. Bu çalışmada kullanılan indekslere ait değerler Çizelge 3’de verilmiştir.

Kimyasal ayırışma ile bazik katyonların minerallerden uzaklaşmasına dayanan CIA indisi, topraktaki primer ve sekonder minerallerin oranını yansıtmaktadır. İleri derecede tecezzi ile birlikte bu oran artarak 100’e kadar ulaşabilmektedir. Hidrolitik ayırışma sonrası feldispatların killere ayırışma derecesini yansıtan bu indis, ayırışmanın yoğun olduğu ve ortamda bol miktarda bulunan kaolinit gibi kalıntı killerde % 100’e kadar ulaşırken; ayırışmanın başlangıç aşamasında olduğu üst kabukta ise % 50’ye kadar inebilmektedir (Fedo et al 1995). Çalışma alanına ait profil CIA değerlerinde kuzey ve güney arasında Nesbitt ve Young (1982)’nin önerdiği sınıflamaya göre bir fark gözlenmemekle birlikte % 46.1-59.9 arasında belirlenmiştir. CIA değerleri % olarak çok az ayırışmış (50-60), az ayırışmış (70-80), ileri derecede ayırışmış (80-90) ve aşırı derecede ayırışmış (90-100) olarak sınıflandırıldığında (Nesbit & Young 1982)

çalışma alanındaki profillerin tüm horizonlarının “çok az ayırışmış” olduğu ve bu sınıf içerisinde dalgalanma gösterdiği belirlenmiştir. Miyosen yaşlı andezit/trakiandezit üzerinde oluşmuş profillerde ana materyalin jeolojik yaşına (Plateovet et al 2008) uyumlu olarak düşük değerler tespit edilmiştir.

CIW değerleri ise tecezziye uğramamış kayalarda % 50, artan tecezzi derecesine bağlı olarak bu indis % 100’e doğru yaklaşmaktadır. CIA’ya ait sınıflama CIW içinde geçerli olduğundan profillerin aynı şekilde “çok az ayırışmış” olduğu belirlenmiştir.

PIA, plajiyoklasların alterasyon derecesinin ortaya konmasında kullanılan bir indekstir. Jeolojik yaş ile uyumluluk sunan bu indeks, çalışmamızda çok küçük değerler vermiştir. Bu durum kil mineralojisine de yansımış, XRD piklerinde görülen kaolinitin kötü kristalli olduğunu ve dolayısıyla feldispatlardaki alterasyonun ve kaolinleşmenin düşüklüğünü desteklemiştir (Millot 1970).

Benzer durum ürün indeksi (P) içinde geçerlidir. Tecezzi ile birlikte bu oran azalır, fakat çalışma alanına ait örneklerde P indisi % 79-82 arasında belirlenmiştir. Bu şekilde yüksek değerler genç volkanik kayalar üzerinde görülebileceği bildirilmiştir (Sayyed & Hundekari 2006).

Baz/R₂O₃ oranı topraklarda 0-10 arasında değişmektedir. K2 profili haricinde diğer profillerde derinlikle birlikte indis değerindeki azalma, tecezzinin diğer profillere göre belirgin olmasa da bu profilde ileri düzeyde olduğunu göstermektedir.

3.3. Kütle Dengesi

Çalışma alanı profillerine ait bazı elementleri içeren horizonların kütle taşınım fonksiyon değerleri ve kütle kayıp/kazançları Çizelge 4’de verilmiştir.

M_{jflux} nin negatif değerleri sistemden kayıp, pozitif değerleri ise sisteme katılımı göstermektedir. Üst yamaç pozisyonundaki K1 ve G1 profillerinde genel anlamda (K1; Al ve Mg, G1; Na) kayıp söz konusu iken diğer profillerde element sayısı bazında kazanım artmıştır. Bu durum alt yamaç profillerinin üstten gelen silika ve diğer katyonları içeren sular nedeniyle gerçekleşen bir zenginleşmeyi göstermektedir. Dom formasyonunun gereği her iki cephede ana kayanın mineralojik yapısının (Ca/Na-feldispat ve ferromagnezyumlu mineraller) benzer olduğu temel varsayımı ile kuzey ve güney cephenin farklı horizonlarındaki ayrışma, taşınma ve yıkanma olaylarının derecesindeki farklılıkların nedeninin; bakıya ve eğime bağlı olarak ısınma, yağış gibi iklim parametrelerinin değişmesiyle ilgili olduğu

Çizelge 4- Profillerde bazı elementler için horizonların kütle taşınım fonksiyon değerleri (τ) ve kütle kayıp kazançları ($g\ cm^{-2}$)

Table 4- Mass transport function values (τ) and mass losses/gains ($g\ cm^{-2}$) for some elements of soil profiles

Pedon	Horizon	Si		Al		Ca		Mg		Na		K		Fe	
		(τ)	M _{jflux}	(τ)	M _{jflux}	(τ)	M _{jflux}	(τ)	M _{jflux}	(τ)	M _{jflux}	(τ)	M _{jflux}	(τ)	M _{jflux}
K1	O	0.22	11.23	0.41	5.90	0.09	0.50	1.03	2.04	0.37	1.19	-0.11	-0.60	-0.04	-0.24
	A	-0.08	-18.45	0.09	5.72	-0.99	-22.87	0.00	0.03	-0.20	-2.75	-0.04	-0.88	-0.28	-7.00
	C1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Toplam	-	-7.22		11.61	-	-22.37	-	2.07	-	-1.55	-	-1.48	-	-7.24
K2	O	-0.01	-1.25	-0.07	-2.11	-0.03	-0.30	-0.14	-0.87	0.39	1.72	-0.17	-1.52	-0.25	-2.63
	A	-0.12	-18.94	-0.12	-6.30	-0.08	-1.31	-0.22	-2.47	0.26	2.03	-0.29	-4.66	-0.27	-5.06
	AC	0.12	34.53	0.05	4.10	0.06	1.77	0.29	5.59	0.05	0.70	0.05	1.47	0.04	1.30
	C1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam	-	14.33	-	-4.32	-	0.16	-	2.26	-	4.44	-	-4.71	-	-6.40	
G1	A	-0.12	-29.15	-0.07	-4.67	-0.32	-10.45	-0.23	-3.29	0.29	3.68	-0.04	-0.62	-0.07	-1.47
	AC	0.01	1.68	-0.05	-2.46	0.04	1.08	-0.16	-1.77	0.06	0.54	0.06	0.69	-0.03	-0.47
	Cr	-0.20	-255.47	-0.10	-39.21	-0.23	-40.54	0.00	0.01	0.05	3.51	-0.14	-11.42	-0.13	-16.34
	R	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam	-	-282.95	-	-46.35	-	-49.92	-	-5.05	-	7.73	-	-11.35	-	-18.28	
G2	A	-0.04	-11.41	-0.02	-1.86	0.01	0.25	-0.29	-4.56	0.03	0.62	-0.46	-14.61	0.03	1.01
	C1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Toplam	-	-11.41	-	-1.86	-	0.25	-	-4.56	-	0.62	-	-14.61	-	1.01

düşünülmektedir. Nitekim Çizelge 4' te verilen az tecezziye uğramış topraklarda indikatör olarak kabul edilebilecek K' nın kayıp ve kazançları bu öngörüğü desteklemektedir. Eğime bağlı olarak K2 profilinde bir kısım yüzey taşınımların neticesinde kazanımlar, K1 de ise kayıplar ortaya çıkmıştır. Fe'deki negatif değerler de bu durumu açıklamaktadır. Ayrıca K ve Fe'de saptanan negatif değerler mikaların çözünmesi ve biyotitin smektite dönüşmesi ile açıklanabilmektedir. Ayrıca XRD sonuçları da bu durumu destekler niteliktedir. Potasyum, diğer elementlere kıyasla yüksek çözünürlüğü nedeniyle ayırışmaya oldukça duyarlıdır. Özellikle güney yamaçta tecezzinin nispi olarak fazla olması nedeniyle kayıplar (güney yamaç Mjflux -11.4 ile -14.6; kuzey yamaç, Mjflux -1.48 ile -4.71) artmıştır. Bitki örtüsünün yoğun olmaması ve yetersiz yağış nedeniyle vejetasyonun ve yüzey horizonlarının biyolojik döngüsünün zayıf olması nedeni ile pozitif kütle taşınım değerleri gözlenmemiştir.

K1 profilinde Al değerleri hariç kütle taşınım fonksiyon değerleri negatif olarak belirlenmiş; K2 profilinin O horizonunda hareketsiz olan Na hariç (yüzey akışları ile bu profile taşınma nedeniyle) tüm elementler alt horizonlara doğru taşınma eğilimindedir.

G1 profilinde Fe ve Al ilk üç horizona (A, AC, Cr); Si, Ca ve K, A ve AC horizonlarında; Mg, A ve AC horizonlarında negatif kütle taşınım fonksiyon değerleri vermiştir. G2 profilinde ise Si, Al, Mg ve K, A horizonunda negatif kütle taşınım fonksiyon değerleri gösterirken diğer elementlerin fonksiyon değerleri profilin tüm horizonlarında pozitif olarak belirlenmiştir.

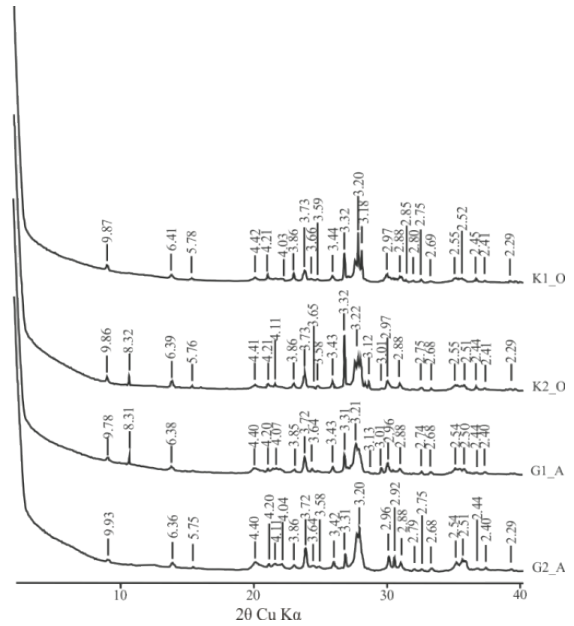
Genel olarak kütle taşınım fonksiyonları güney yamaç bölgesinde sıcaklığın ve yağışın etkisi ile tecezzi oranlarının artmasına paralel olarak daha yüksek negatif değerler elde edilmiştir. Rech et al (2001), güney yamaç pozisyonunda tecezzi oranlarının teorik olarak arttığını belirtmektedir. Dengiz et al (2006), Farklı yöney, fizyografik ünite ve jeolojik birimler üzerinde oluşmuş toprakların oluşumları ile ilgili yaptığı çalışmada, güney kesimde bulunan toprakların kuzey kesimine göre

profil gelişimi bakımından daha ileri seviyede olduğunu belirtmiştir.

Kütle taşınım fonksiyonlarını belirlemeye yönelik Alpin (soğuk iklim) alanlarında yapılan çalışmalar diğer iklim bölgelerinde (Akdeniz, tropikal iklim) yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında toprak oluşumunun fazla olduğu tespit edilse de bazen tam tersi bir durumun ortaya çıktığı, bunun da kütle taşınım fonksiyonlarını negatif yönde etkilediği belirtilmektedir (Dahms et al 2012, Egli et al 2014).

3.4. Mineralojik özellikler

Çalışma alanı profillerinin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla kil fraksiyonu ve yüzey topraklarda çekilen X-ray difraktogramları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Profillerde değişik miktar ve kristalizasyon derecelerinde farklı fillo silikatların varlığından bahsetmek mümkün olmuştur. Kil miktarının düşüklüğüne paralel olarak zayıf sinyaller alınmıştır.



Şekil 2- İncelenen profillerde primer minerallere ait X ışını kırınimleri

Figure 2- X-ray diffractograms of soil primer minerals in representative profiles

Güney yamaçta açılan profillerin Mg ile doyurulan örneklerinde 1.45-1.60 nm aralığında gözlemlenen pikler, Mg+EG (Etilen Glikol) uygulamasında 1.70-1.72 nm'de gözlenmiştir (Şekil 1). Mg uygulamasında pik yüksekliğinin az olması iyi kristallenmemiş smektit, smektit-illit ara tabakalı killerin varlığını göstermektedir. Tüm uygulamalarda 1.00 nm deki pikler illite aittir. Mg, Mg+EG ve K ile doyurulan örneklerde 0.71-0.72 nm aralığında görülen pikler 550 °C' de ısıtılınca kaybolmuştur. Bu durum belirtilen piklerin kaolinite ait olduğunu göstermektedir. Güney yamaçta açılan profillerde killerin oransal miktarlarına göre büyükten küçüğe sırası: smektit, smektit-illit ara tabakalı, illit ve kalonit şeklinde bulunmuştur.

Çünür tepesinin kuzey yamacında açılan profillerde ise Mg ile doyurulan örneklerde 1.43-1.4 nm aralığındaki küçük pikler, Mg+EG uygulamasında kaybolmuştur. Dolayısı ile söz konusu killer zayıf kristalli smektitin varlığını göstermektedir. Kuzey yamaçta açılan profillerde oransal bolluklarına göre killerin dağılım sırası: illit, kaolinit ve smektit şeklinde olmuştur. Kuzey yamaçlardaki profilde smektitin oransal olarak daha az bulunması güney yamaçlarda toprak yapan faktörlerin ya da tecezzinin daha etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 1).

Kil mineralleri, hidrotermal ayrışma ve parçalanma olayları sonucu değişim ve/veya ayrışma ürünleri olarak oluşabilmektedir (Dizdar 1979). Başat olan kil minerali toprağın özellikleri üzerine etkindir. Volkanik materyaller üzerinde oluşan topraklarda genel olarak feldispatların hızlı ayrışması sonucu allofan ve halloysit mineralleri ve az miktarda kaolinite dönüştüğü belirtilmektedir (Murray et al 1977). Çalışmada allofan ve imogolit gibi amorf killere ve halloysite rastlanmamıştır. Aynı şekilde Poulenard et al (2003) Andosol porfilinde smektit ve klorit gibi mineralleri belirlerken allofan ve halloysiti tespit etmediğini bildirmiştir. Potasyum andezit/trakiandezit türü kayalarda yaygın olarak bulunan bir elementtir. İllitin profil içerisinde tek düze oluşu K-feldispatlardan ayrışarak oluştuğunu desteklemektedir (Millot 1970). Çalışma alanı profillerinde 2:1 tipi kil oluşumu önemli düzeydedir.

Amfibollerin ayrışması sonucu açığa çıkan bazik kationların pH'yı yükseltmesi ve düşük yağış ile Si, Mg ve Ca yeterince yıkanamaması sonucu smektit oluşmuştur (Uzun 2013).

Toprakta bulunan primer mineralleri belirlemek için öğütme dışında (tanecik çapı <50 µm) herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış toprak örneklerinde çekilen X ışını difraktogramları, kuzey yamaçta % 34.85-55.90 K-feldispat, % 18.96-28.16 kuvars, % 11.18-11.84 mika grubu mineraller (biyotit), % 6.51-8.71 kalsit ve dolomit, % 6.00 amfibol (Hornblend) ve az oranda opal, jarosit ve hematit gibi minerallerin bulunduğunu göstermiştir. Güney yamaçta ise % 44.62-45.13 K-Feldispat, % 10.79-13.92 kuvars, % 13.79-14.52 mika grubu mineraller (biyotit), % 11.06-19.70 kalsit ve dolomit ile az oranda amfibol (hornblend) ve opal, jarosit ve hematit gibi mineraller tespit edilmiştir. Kuzey yamaçlardaki daha yüksek olan K-feldispat ve kuvars miktarı bu bakıda toprak yapan faktörlerin etkinliğinin daha düşük olduğuna işaret etmektedir.

4. Sonuçlar

Tecezzi ortamının yorumlanmasında kullanılan indislere göre, çalışma alanı profilleri jeolojik ana materyalin yaşına uyumlu olarak, düşük bulunmuş olup, güney yamaçlarda daha fazla olmakla beraber genelde tecezzinin ileri derecede olmadığı tespit edilmiştir. Kütle taşınım fonksiyon değerleri ve kütle kayıp/kazançlarına göre; güney yamaçta açılan profillerde kuzey yamaç profillerine göre kayıp ve taşınmaların daha fazla olduğu ve bakı ile profilin eğimli arazideki konumunun bu süreçlerde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Profillerde yapılan X-ray çekimlerinde kuzey yamaç kısmındaki toz örneklerde K-feldispat ve kuvars miktarının; güney yamaç profillerine göre yüksek ve tecezzinin bakı etkisi ile daha ileri düzeyde olduğu görülmüştür. Kil tiplerini belirlemeye yönelik çalışmada güney yamaçta yoğun smektit ve smektit-illit ara tabakalı kil mineralleri söz konusu iken, kuzey yamaç kesimlerinde bolluk sırasına göre illit, kaolinit ve smektitin varlığı tespit edilmiştir.

CIA, CIW, PIA, P, baz/R₂O₃, kütle taşınım fonksiyonu ve kütle kayıp/kazançları vasıtasıyla bakiya ve eğime bağlı tecezzi derecesindeki değişimler başarılı bir şekilde sayısallaştırılabileceği ve kil mineralojisinin de kısa mesafelerde tecezzi derecesinin belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Akgül M & Başayığıt L (2005). Süleyman Demirel Üniversitesi Çiftlik Arazisinin Detaylı Toprak Etüdü ve Haritalanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **9**(3): 54-63
- Akgül M, Başayığıt L, Uçar Y & Müjdecı M (2001). Atabey Ovası Toprakları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, Yayın No: 15, Araştırma Serisi Yayın No: 1, Isparta
- Birkeland P W (1999). *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press, New York
- Brimhall G H & Dietrich W E (1987). Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **51**: 567-587
- Brimhall G H, Chadwick O A, Lewis C J, Compston W, Williams I S, Danti K J, Dietrich W E, Power M E, Hendricks D & Bratt J (1991a). Deformational mass transport and invasive processes in soil evolution. *Science* **255**: 695-702
- Brimhall G H, Lewis C J, Ford C, Bratt J, Taylor G & Warin O (1991b). Quantitative geochemical approach to pedogenesis: importance of parent material reduction, volumetric expansion, and eolian influx in laterization. *Geoderma* **51**: 51-91
- Chadwick O A, Brimhall G H & Hendricks D M (1990). From a black to a gray box-a mass balance interpretation of pedogenesis. *Geomorphology* **3**: 369-390
- Chao T T, & Sanzolone R F (1992). Decomposition techniques. *Journal of Geochemical Exploration* **106**: 44-65
- Dahms D E (2002). Glacial stratigraphy of Stough Creek Basin, Wind River Range, Wyoming. *Geomorphology* **42**: 59-83
- Dahms D E (2004). Relative and numeric age data for Pleistocene glacial deposits and diamictons in and near Sinks Canyon, Wind River Range, Wyoming, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* **36**: 59-77
- Dahms D, Favilli F, Krebs R & Egli M (2012). Soil weathering and accumulation rates of oxalate-extractable phases from Alpine chronosequences of up to 1 Ma in age. *Geomorphology* **151-152**: 99-113
- Delvaux B, Herbillon A J & Vieloye L (1989). Characterization of a weathering sequence of soils derived from volcanic ash in Cameroon-taxonomic, mineralogical and agronomic implications. *Geoderma* **45**: 375-388
- Dengiz O, Kibar M, Yüksel M, Kadioğlu Y K, Karaca S & Durak A (2006). Farklı Yöney, Fizyografik Ünite ve Jeolojik Birimler üzerinde oluşmuş Toprakların Oluşumları, *Tarım Bilimleri Dergisi* **12**: 349-356
- Dizdar M Y (1979). *Kil mineralleri* (Çeviri). Holeman, J.N. (Editör), Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, pp:1-55
- Duan L, Hao J, Xie S, Zhou Z & Ye X (2002). Determining weathering rates of soils in China. *Geoderma* **110**: 205-225
- Egli M & Fitze P (2000). Formulation of pedologic mass balance based on immobile elements: a revision. *Soil Science* **165**: 437-443
- Egli M, Fitze P & Mirabella A (2001). Weathering and evolution of soils formed on granitic, glacial deposits: results from chronosequences of Swiss alpine environments. *Catena* **45**: 19-47
- Egli M, Mirabella A & Fitze P (2003). Formation rates of smectites derived from two Holocene chronosequences in the Swiss Alps. *Geoderma* **117**: 81-98
- Egli M, Dahms D & Norton K (2014) Soil formation rates on silicate parent material in alpine environments: Different approaches-different results? *Geoderma* **213**: 320-333
- 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
- Föllmi K B, Arn K, Hosein R, Adatte T & Steinmann, P (2009a). Biogeochemical weathering in sedimentary chronosequences of the Rhône and Oberaar Glaciers (Swiss Alps): rates and mechanisms of biotite weathering. *Geoderma* **151**: 270-281

- Föllmi K B, Hosein R, Arn K & Steinmann P (2009b). Weathering and the mobility of phosphorus in the catchments and fore fields of the Rhône and Oberaar glaciers, central Switzerland: implications for the global phosphorus cycle on glacial-interglacial timescales. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73**: 2252–2282
- Francalanci L, Civetta L, Innocenti F & Manetti P (2001). Neogene alkaline volcanism of the Afyon-Isparta area, Turkey: Petrogenesis and geodynamic implications. *Mineralogy and Petrology* **70**: 285-312
- Görmüş M & Özkul M (1995). Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) arasındaki bölgenin stratigrafisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **1**: 43-64
- Görmüş M, Caran S, Çoban H & Yılmaz K (2001). Bedre-Barla (Egirdir Gölü batısı) arasında kıyı kenar çizgisi. *1. Eğirdir Sempozyumu*, 31 Ağustos-1 Eylül, Isparta, pp. 387-402
- Grossman, D G (1972). Machinable glass-ceramics based on tetrasilicic mica. *Journal of the American Ceramic Society*, **55**: 446-449
- Gunal H, Ersahin S, Uz B Y, Budak M & Acır N (2011). Soil Particle Size Distribution and Solid Fractal Dimension as Influenced by Pretreatments, *Tarım Bilimleri Dergisi* **17**: 217-229
- Harden J W (1988). Genetic interpretations of elemental and chemical differences in a soil chronosequence, California. *Geoderma* **43**: 179-193
- Harnois L (1988). The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology* **55**(3-4): 319-322
- Hodson ME, Langan SJ, Kennedy FM & Bain DC (1998). Variation in soil surface area in a chronosequence of soils from Glen Feshie, Scotland and its implications for mineral weathering rate calculations. *Geoderma* **85**: 1-18
- Jackson M L (1979). Soil Chemical Analysis. Advanced Course. Department of Soil Science, University of Wisconsin, Madison
- Langley-Turnbaugh S J & Bockheim J G (1998). Mass balance of soil evolution on late Quaternary marine terraces in coastal Oregon. *Geoderma* **84**: 265–288
- Marshall C E & Haseman J F (1942). The quantitative evaluation of soil formation and development by heavy mineral studies: a Grundy silt loam profile. *Soil Science Society of America Proceeding* **7**: 448–453
- Mavris C, Plötze M, Mirabella A, Giaccai D, Valboa G & Egli M (2011). Clay mineral evolution along a soil chronosequence in an Alpine proglacial area. *Geoderma* **165**: 106-117
- McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K & Hanson G N (1993). Geochemical approach to sedimentation, provenance, and tectonics. *Geological Society of America (Special Paper)* **284**: 21-40
- Merritts D J, Chadwick O A, Hendricks D M, Brimhall G H & Lewis C J (1992). The mass balance of soil evolution on late Quaternary marine terraces, northern California. *Geological Society of America Bulletin* **104**: 1456-1470
- Middleburg J J, Van der Weijden C H & Woittiez J R W (1988). Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during the weathering of granite rocks. *Chemical Geology* **68**: 253–273
- Millot G (1970). *Geology of Clays*. Springer-Verlag, New York
- Murray H H, Harver C & Smith J M (1977). Mineralogy and geology of the Maungaparerua halloysite deposit in New Zealand. *Clays and Clay Minerals* **25**(1): 1-5
- Nemec W & Kazancı N (1999). Quaternary colluvium in west-central Anatolia: Sedimentary facies and palaeoclimatic significance. *Sedimentology* **46**: 139-170
- Nesbitt H W & Young G M (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* **299**(5885): 715-717
- Nieuwenhuysen A & van Breemen N (1997). Quantitative aspects of weathering and neof ormation in selected Costa Rican volcanic soils. *Soil Science Society of America Journal* **61**: 1450–1458
- Platevoet B, Scaillet S, Guillou H, Blamart D, Nomade S, Massault M, Poisson A, Elitok Ö, Özgür, N, Yagmurlu F & Yılmaz K (2008). Pleistocene eruptive chronology of the Gölcük Volcano, Isparta Angle, Turkey. *Quaternaire* **19**(2): 147-156
- Poulenard J, Podwojewski P & Herbillon, A. J. 2003. Characteristics of non Allophanic Andisols with Hydric Properties from the Ecuadorian Paramos. *Geoderma* **117**: 267-281
- Rech, J A, Reeves R W & Hendricks D 2001. The influence of slope aspect on soil weathering processes in the Springerville volcanic field, Arizona. *Catena* **43**: 49– 62

- Reiche R (1950). Survey of Weathering Processes and Products. University of New Mexico Publication, New Mexico
- Sayyed, M R G & Hundekari, S M (2006). Preliminary comparison of ancient bole beds and modern soils developed upon the Deccan volcanic basalts around Pune (India): Potential for paleoenvironmental reconstruction. *Quaternary International* **156**: 189-199
- Uyanik N A, Akkurt I & Uyanik O (2010). A ground radiometric study of uranium, thorium, and potassium in Isparta, Turkey. *Annals of Geophysics* **53**: 5-6
- Uzun C (2013). Farklı yaşlardaki volkanik materyal üzerinde oluşan toprakların ayrışma oranlarının belirlenmesi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi (Basılmamış)
- White A F (1995). Chemical weathering rates of silicate minerals in soils. In: A F White, Brantley (Eds.), *Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*, Mineralogical Society of America Special Publication, vol. 31. Mineralogical Society of America, Washington D.C., pp. 407-461
- White A F, Schulz M S, Stonestrome D A, Vivit D V, Fitzpatrick J, Bullen T D, Maher K & Blum A E (2009). Chemical weathering of a marine terrace chronosequence, Santa Cruz, California. Part II: solute profiles, gradients and the comparisons of contemporary and long-term weathering rates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73**: 2769-2803
- Yagmurlu F, Savaşçın Y & Ergun M (1997). Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of the Isparta Angle, SW Turkey. *Journal of Geology* **105**(6): 717-728