



## Kil-kum karışımlarının bazı geoteknik özellikleri

**Ali Fırat ÇABALAR\***

Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep  
[cabalar@gantep.edu.tr](mailto:cabalar@gantep.edu.tr) ORCID:0000-0002-0390-5652, Tel: (342) 360 12 00 (2417)

**Süleyman DEMİR**

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis

**Nurullah AKBULUT**

Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

Geliş: 20.11.2016 , Kabul Tarihi: 03.05.2018

### Öz

Kil zeminlerde oluşabilecek şişme ve büzülme gibi farklı problemler çeşitli özellikteki kum ilaveleriyle bertaraf edilebilir. Bu çalışmada kullanılan bentonit kili farklı büyüklükteki yuvarlatılmış ve köşeli şekle sahip iki kum örneğiyle değişik oranlarda karıştırılmıştır. Örnek numuneler, kuru ağırlığın yüzdesi olarak %0-5-10-15-20 oranlarında eklenen 0.075-0.150 mm, ve 1.0-2.0 mm dane çapı aralıklarındaki kum ilaveleriyle hazırlanmıştır. Hazırlanan kum-kil karışımlarının optimum su muhtevasında sıkıştırılmaları durumunda kıvam limitleri ile şişme ve büzülme özelliklerindeki değişimler gözlenerek, bu değişimler ilave edilen kumların miktarı, şekil ve büyüklükleri açısından değerlendirilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre, karışımlardaki kum oranı arttıkça plastik limit, büzülme ve şişme yüzdesi azalmıştır. Aynı şekil özelliğine sahip daha büyük kum daneleri ile hazırlanan karışımlara ait şişme ve büzülme yüzdesi ile plastik limit değerleri diğer karışımlara kıyasla daha yüksektir. Ayrıca, aynı dane çapındaki kumlarla hazırlanan karışımlardan köşeli kum örnekleri ile hazırlananlar daha yüksek plastik limit ile şişme ve büzülme yüzdesi değerlerine sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Kum; bentonit; sıkıştırma; kıvam limit; şişme; büzülme.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Kil zeminler kimyasal bozulma sonucu oluştuğu için ana kayacın kimyasal yapısını muhafaza etmedikleri gibi, fiziksel ve mineralojik olarak silt, kum ve çakıllardan çok daha farklı özelliklere sahiptirler. Büyük oranda montmorillonit minerali içeren, serpantin, feldspar veya püskürük maddelerin hava ve su ile etkileşimi sonucu oluşan kil örnekleri 'bentonit' olarak adlandırılmaktadır. Bentonit kili sahip olduğu şişme, büzülme ve kıvam limit özelliklerinden dolayı, özellikle zati ağırlığı az olan yapılarda (karayolu, demiryolu, su kanalı vb...) çeşitli hasarlara (oturma, kabarma vb...) neden olmasına rağmen deterjan, kağıt, seramik, sondaj, dolgu, dökümcülük ve zirai ilaç sektörlerinin de arasında bulunduğu birçok alanda çeşitli faydalar sağlamaktadır (İpekoglu vd., 1997; Tosun vd., 2000; Kumar ve Wood, 2009; Yenipazar, 2015). Çöp depolama sahalarındaki atık suların yeraltı suyuna karışmasını önlemek için filtre amaçlı kullanılan bentonit-kum karışımlarının olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir (Esenler, 2015). Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerdeki yol üst yapılarında kapilarite etkisiyle oluşan hasarların bentonit-kum karışımlarıyla engellenebileceği öngörülmüştür (Şevki ve Filiz, 2007). Bentonit-kum karışımlarının Dünya'daki en önemli kullanım alanlarında bir diğeri ise radyoaktif atıkların depolanma sahalarıdır. İçerdikleri radyonüklitlere bağlı olarak değişik sürelerde depolanmaları gereken radyoaktif atıklar tıp, endüstri, nükleer reaktör gibi farklı uygulama alanlarında ortaya çıkan atık maddelerdir. Radyoaktif atıklar yeraltına yapılan düzenli depolama sahalarında tutularak yeryüzüne ulaşması engellenir. Bu tehlikeli atık maddelerin yeraltı suyu ile temas ederek yeryüzüne çıkmaması için bentonit-kum karışımı dolgular inşa edilerek geçirimsiz bir bariyer gibi davranması sağlanır. Birçok ülke, radyoaktif atıkların zararlı etkilerinden kurtulmak için çoklu bariyer kavramı olarak ifade edilen bu depolama sistemini uygulamaktadırlar (Komine ve Ogata, 1994; Marcial vd., 2002; Wei-min vd., 2007; Ye vd., 2010; Shakibae, 2012;

Marcial vd., 2012; Sun vd., 2013). Bariyer olarak kullanılan bu dolgularda farklı bentonit çeşitleri ve bunların kumlarla karıştırılması ile elde edilen karma malzemeler uzun yıllardır kullanılmasına rağmen, bu karışımlardaki kum danelerine ait büyüklük ve şekil özellikleri detaylı olarak incelenmemiştir (Komine ve Ogata, 1999; Marcial vd., 2002; Cui vd., 2004; Sun vd., 2009; Schanz ve Al-Badran, 2014).

Bu çalışmada, bentonit-kum karışımlarındaki kum örneklerine ait dane çapı ve şekil özellikleri incelenerek bunların elde edilen karma malzemelerin kıvam limiti, şişme ve büzülme davranışlarına etkisi araştırılmaktadır. Yuvarlatılmış ve köşeli olmak üzere iki farklı şekle sahip 0.075-0.150 mm ve 1.0-2.0 mm dane çapı aralıklarındaki kum örnekleri %0-5-10-15-20 oranlarında bentonit kili ile karıştırılmıştır. Optimum su muhtevasına karşılık gelen en fazla kuru birim hacim ağırlık değerlerinde hazırlanan karışımlara ait şişme ve büzülme davranışları ile kıvam limiti değerleri sunulmaktadır.

## Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada yüksek plastisiteli ve şişme özelliği gösteren bentonit kili ile farklı dane büyüklüğü ve şekil özelliklerine sahip kum örnekleri kullanılmıştır.

Kullanılan bentonit 'sodyum-kalsiyum (ara tip)' olarak tanımlanan ve ticari olarak elde edilebilen bir kil çeşididir. Pembemsi bej renginde olan bu bentonit tipi berdelit, hektorit, saponit ve nontronit gibi kil minerallerini içerir. Özgül ağırlığı 2.75 olan bu kile ait optimum su muhtevası, en büyük kuru birim hacim ağırlığı, indeks özellikleri, şişme potansiyeli ve kayma dayanımı değerleri Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan yuvarlatılmış dane şekline sahip kum örnekleri Kahramanmaraş'ın Narlı Bölgesi'nden elde edilen dere kumudur. Dane çapları 0.075-0.150 mm ve 1.0-2.0 mm arasında değişen ölçülerde olacak şekilde elekten geçirilmiştir (Şekil 1).

Kullanılan kumun özgül ağırlığı 2.65 olarak tespit edilmiştir.

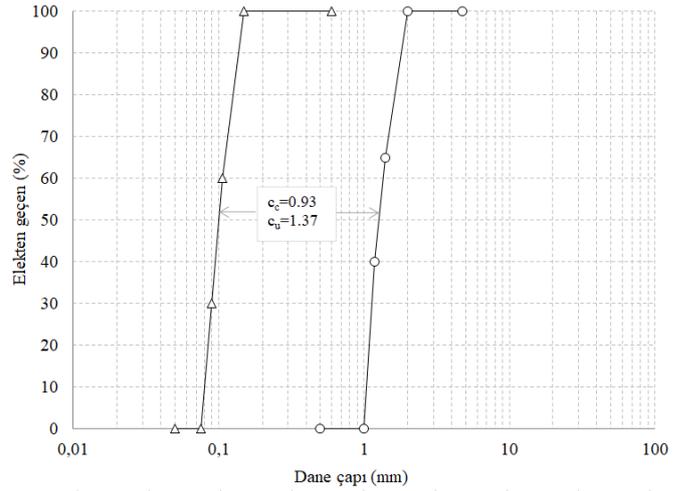
DeneySEL çalışmalarında kullanılan köşeli dane şekline sahip kum örnekleri ticari olarak elde edilen kırmataş kumu örnekleridir. 2.68 özgül ağırlığa sahip olan kum örnekleri 0.075-0.150 mm ve 1.0-2.0 mm arasında değişen dane çapı aralıklarını elde etmek için elenmişlerdir (Şekil 1).

Şekil 2'de kullanılan bentonit kili ile kum danelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü görülmektedir.

DeneySEL çalışmalarında kullanılan dört kum örneği ağırlıkça %5, %10, %15, %20 oranlarında kil örneklerine kuru olarak eklenmiş ve homojen bir karışım elde edinceye kadar karıştırılmıştır. Karışımlara ait optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri standart proktor test yöntemi (ASTM D698) ile belirlenmiştir. Tespit edilen bu değerlere göre ödometre hücresinde hazırlanan karışımlar ASTM D4546'da detayları verilen yonteme göre test edilerek, numune üzerine yerleştirilen 1 kPa düşey gerilme altındaki serbest şişme potansiyeli belirlenmiştir. Elde edilen karışımlara ait likit limit (LL) değerleri düşen koni yöntemiyle bulunmuştur. BS 1377'ye uygun olarak yapılan deneySEL çalışmalarda 80 g ağırlığındaki 30°'lik uç açısı olan koni kullanılmıştır. Plastik limit (PL) değerlerinin Casagrande yöntemi takip edilerek belirlenmesinden sonra, karışımlara ait Plastisite indeks (PI) değerleri tespit edilmiştir. Lineer rötre (büzülme) deneyi ASTM D427'e uygun olarak 140 mm uzunluğundaki ve 13 mm çapındaki ekipman içerisinde yapılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada yapılan tüm deneySEL çalışmalar ve ulaşılan sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Karışımlar üzerinde yapılan bazı standart proktor deneyi sonuçları Şekil 3'de görülmektedir.

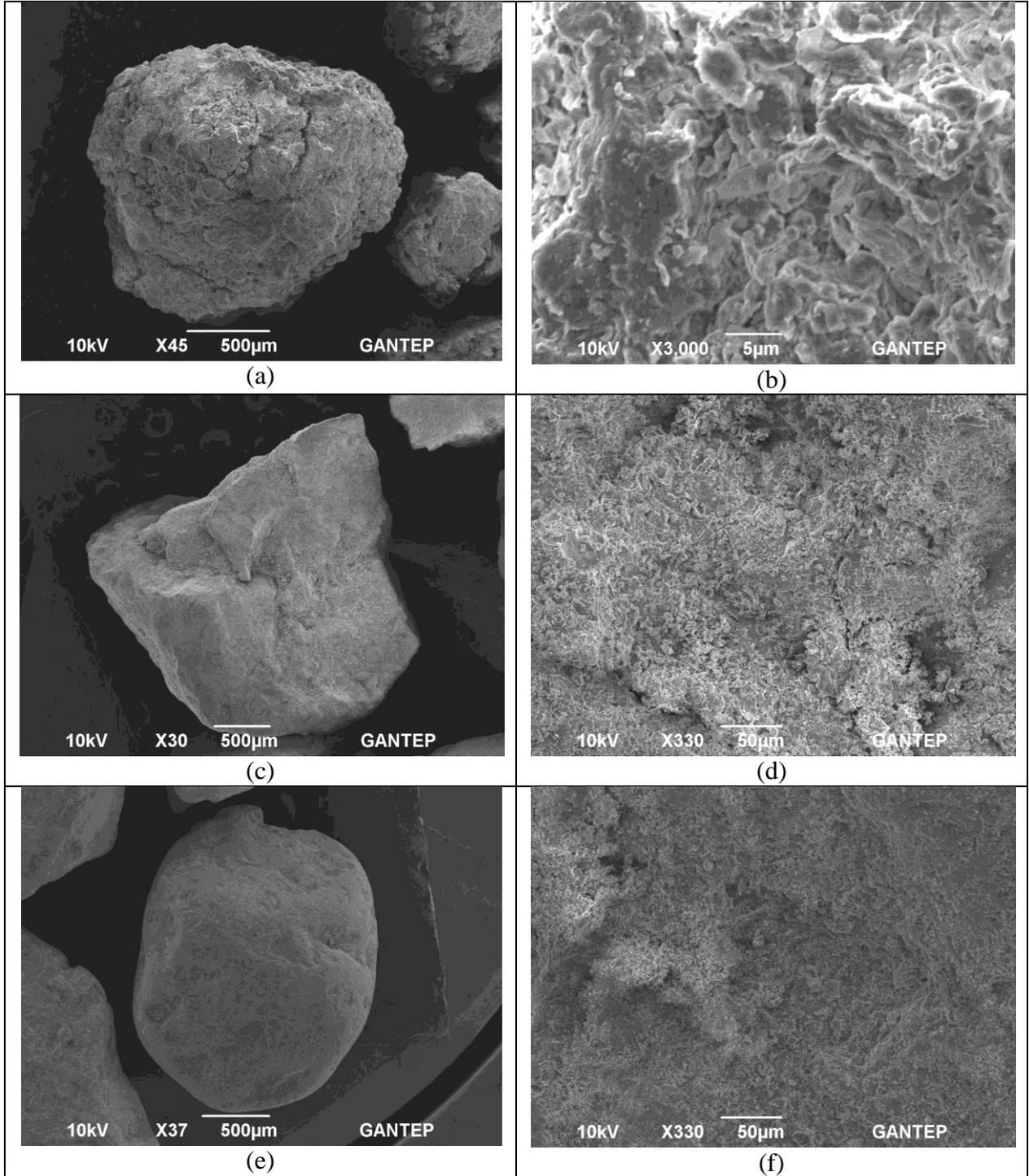


**Şekil 1.** Kullanılan malzemelere ait dane çapı dağılımı.

Yalnızca kil örneklerinin test edildiği deneyler en büyük kuru birim hacim ağırlığının 1.304 gr/cm<sup>3</sup>, ve optimum su muhtevasının %23.51 olduğunu göstermiştir. Elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık değerleri ( $\gamma_{dmaks}$ ), kil örneklerine ilave edilen kum miktarı ve tane şekillerine bağlı olarak değişen oranlarda artarken, optimum su muhtevası değerleri ( $w_{opt}$ ) ise azalmaktadır. İlave edilen kum örneklerine ait dane çapı ve şekil özelliklerinin bu deney sonuçları üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. İnce taneli (0.075-0.15mm) kum örnekleri ile hazırlanan ve test edilen karışımlarda elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlığı değerlerindeki artış (1.304 g/cm<sup>3</sup>'ten 1.503 g/cm<sup>3</sup>'e) iri taneli (1.0-2.0mm) kum örnekleri ile elde edilen artışa (1.304 g/cm<sup>3</sup>'ten 1.438 g/cm<sup>3</sup>'e) göre daha fazla olmuştur. Diğer yandan, iri taneli kum ilavesi, her iki kum (Narlı kumu, Kırmataş kumu) ile hazırlanmış karışımların optimum su muhtevası değerlerinde, göreceli olarak daha küçük oranlarda azalmaya neden olmuştur. Bunun nedeni olarak ince ve iri taneli kum örnekleri arasındaki boşluk oranı (e) değerlerinin farklı olması düşünülmektedir (Youd, 1973; Lade vd., 1998; Shin ve Santamarina, 2013).

Aynı büyüklükteki Narlı kumu ve Kırmataş kumuna ait sonuçlar incelendiğinde, en büyük kuru birim hacim değerleri birbirine çok yakın tespit edilirken, optimum su muhtevası değerleri için kırmataş kumu örneklerinin sistematik

olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni, kullanılan bu iki kohezyonsuz malzemeye ait özgül ağırlık değerlerinin birbirine çok yakın olmasına rağmen su emme kapasitelerinin farklı olması olarak yorumlanmaktadır.

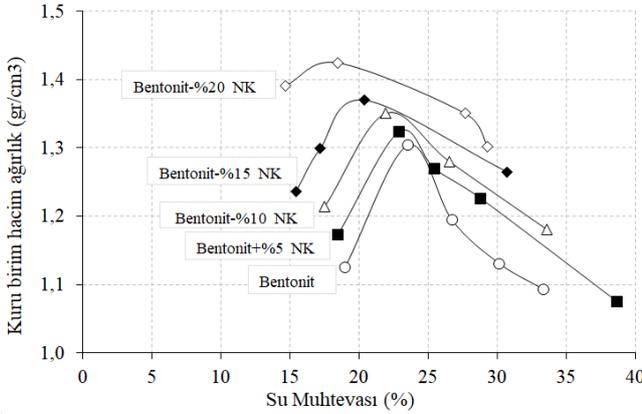


**Şekil 2.** Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiş deney malzemeleri, (a-b) kil, (c-d) Kırmataş kumu, (e-f) Narlı kumu.

Çizelge 1. Deney sonuçları

	Kum oranı (%)	$\rho_{dmax}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	W <sub>opt</sub> (%)	Düşen koni			Casagrande			Şişme potansiyeli (%)	Büzülme limiti (%)	Drenajsız kayma mukavemeti (s <sub>u</sub> ) (kPa)
				LL	PL	PI	LL	PL	PI			
Bentonit - NK(0,075-0,150 mm)	0	1.30	23.51	127.20	40.91	86.29	155.90	41.58	114.32	19.65	26.03	4.27
	5	1.39	19.35	117.60	40.69	76.91	145.90	41.35	104.55	18.10	25.91	3.11
	10	1.41	18.92	112.00	40.56	71.44	140.00	41.21	98.79	17.60	25.76	4.07
	15	1.44	18.83	105.40	40.41	64.99	134.30	41.08	93.22	17.05	25.49	3.64
	20	1.45	17.46	103.50	40.36	63.14	122.50	40.80	81.70	16.48	25.30	2.57
Bentonit - NK(1-2 mm)	5	1.32	22.87	123.20	40.82	82.38	141.30	41.24	100.06	18.75	25.62	2.84
	10	1.35	21.93	115.30	40.64	74.66	135.20	41.10	94.10	18.25	25.36	2.62
	15	1.37	20.37	108.60	40.48	68.12	130.50	40.99	89.51	17.25	25.19	2.55
	20	1.42	18.42	105.60	40.41	65.19	122.60	40.81	81.79	16.65	24.94	3.24
Bentonit - KK(0,075-0,150 mm)	5	1.33	22.11	114.90	40.63	74.27	146.20	41.36	104.84	18.40	25.48	4.29
	10	1.39	21.55	107.80	40.46	67.34	142.80	41.28	101.52	18.05	24.96	3.24
	15	1.46	20.39	104.30	40.38	63.92	137.10	41.14	95.96	17.20	24.57	3.00
	20	1.50	18.07	101.70	40.32	61.38	125.80	40.88	84.92	16.60	24.41	4.11
Bentonit - KK(1-2 mm)	5	1.33	23.63	109.90	40.51	69.39	150.20	41.45	108.75	19.15	25.53	2.75
	10	1.34	23.00	103.70	40.37	63.33	141.00	41.24	99.76	18.75	24.81	3.05
	15	1.42	20.76	99.70	40.27	59.43	135.36	41.10	94.26	17.35	24.32	3.15
	20	1.44	19.64	97.30	40.22	57.08	125.00	40.86	84.14	16.75	24.08	3.30

NK: Narlı kum; KK: Kırmataş kum;  $\rho_{dmax}$ : Maksimum kuru birim hacim ağırlık; W<sub>opt</sub>: Optimum su muhtevası; LL: Likit limit; PL: Plastik limit; PI: Plastisite indeksi

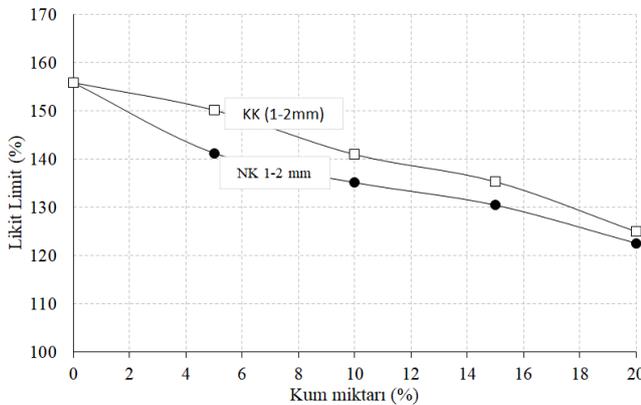


Şekil 3. Bentonit-Narlı kumu (1-2mm) karışımlarına ait sıkıştırma grafiği.

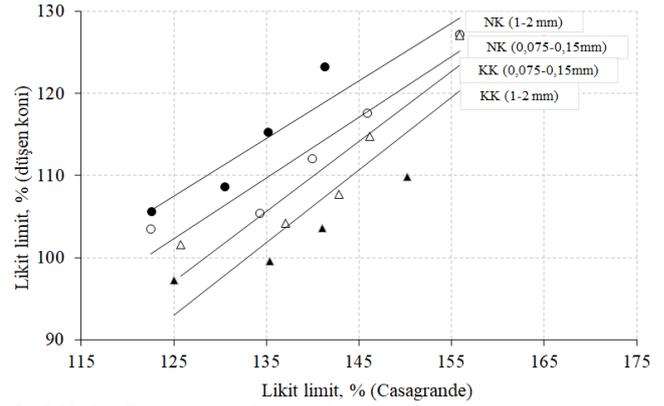
Kil örneklerine iki farklı dane çapına sahip köşeli ve yuvarlatılmış kohezyonsuz malzeme katılarak, toplam 34 adet likit limit deneyi yapılmıştır. Hem Casagrande ve hem de düşen koni teknikleri kullanılarak elde edilen likit limit sonuçlarıyla, bunlara bağlı olarak Casagrande yöntemiyle elde edilen plastik limit değerleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması ile ilgili standartlara uygun olarak 425 µm'lik

elekten geçen kil örneği ile karıştırılan kohezyonsuz malzeme ilavesinin kilin kıvam limitlerini azalttığı tespit edilmiştir. Karışımların likit limit ve plastisite indeks değerlerinin yüksek olması karışımların yüksek şişme potansiyeline sahip olduğuna işaret etmektedir. Literatürde yüksek şişme potansiyeline sahip killerin likit limit değerlerinin %40 dan, plastisite indeks değerlerinin ise %15'ten büyük olduğu belirtilmektedir (Holtz ve Gibbs, 1956; Das, 1995). Bu çalışmada kullanılan bentonit kiline ait likit limit ve plastisite indeks değerleri bu rakamların oldukça üstünde tespit edilmiştir (Çizelge 1). Düşen koni test ekipmanı ile yapılan deney sonuçlarına göre, bentonit kiline ait likit limit yüzdesi 127.2 olarak tespit edilmiştir. 0.075-0.15mm arasındaki Narlı kumu ile elde edilen karışımlarda gözlemlenen likit limit değerindeki azalma oranı, 1.0-2.0 mm aralığındaki Narlı kumu ile elde edilen karışımlarda gözlemlenen likit limit değerlerine göre çok daha fazla olmuştur. Bu sonuç, karışımların hazırlanmasında kullanılan

kohezyonsuz malzemeye ait tane büyüklüklerinin likit limit değerleri üzerinde etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Bunun nedeni olarak, daha iri tanelerin deneyin yapıldığı kalıbın dibine doğru çok daha fazla çökmesi, ve yukarıda kalan ince taneli (kil) zemin tanelerinin yüksek su emme kapasitesi olduğu düşünülmektedir. Kohezyonsuz malzemelere ait şekil özelliklerinin ise likit limit değerleri üzerinde çok etkili olmadığı anlaşılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan örnekler için plastik limit değerleri Casagrande tarafından önerilen  $PI=0.73(LL-20)$  yaklaşımı ışığında elde edilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, Casagrande ile tespit edilen likit limit değerlerinin düşen koni yöntemine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Aynı örnekler için elde edilen plastik limit ve plastisite indisi sonuçları arasında da benzer ilişkiler vardır. Her iki yaklaşımla elde edilen LL ve PI değerleri arasındaki bu fark test edilen tüm örneklerde Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ne göre belirlenen zemin tiplerine yansımamaktadır. Test edilen tüm kum-kil karışımları için bulunan likit limit değerlerinin tamamı 50'den büyük olduğu için zemin tiplerinin ikinci sembolü "H" (yüksek plastisite) olmuştur. Yazarlar, 50 civarındaki likit limite sahip olan zemin örnekleri için farklı yaklaşımların sınıflandırma üzerinde çok daha etkili olacağını düşünmektedirler. Deneysel çalışmalarda ulaşılan bu sonuçlar kıyaslamalı olarak Şekil 4-5'de sunulmaktadır.



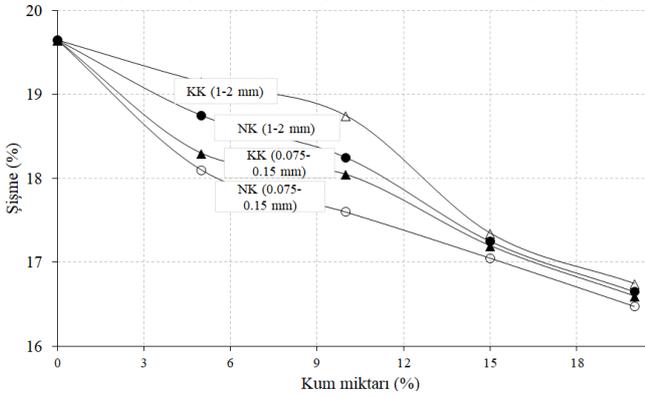
**Şekil 4.** Kum miktarının likit limit değerlerine etkisi.



**Şekil 5.** Casagrande ve düşen koni ekipmanlarıyla tespit edilen likit limit değerleri.

Zeminlerin şişme yüzdesinin en başarılı şekilde belirlendiği yöntem olan direkt ölçümle yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 1'de sunulmaktadır. Numunelerin şişme yüzdesi test edilen karışımlarındaki kohezyonsuz malzemelerin özelliklerine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Temiz kil örneklerine ait şişme potansiyeli %19.65 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 1'de, 0.075 ile 0.15 mm arasındaki Narlı kumu örneklerinin bentonit kiline eklenmesi sonucu şişme yüzdesinin sistematik olarak azaldığı, ve %20 kum ilavesinde %16.48 olarak tespit edildiği görülmektedir. Aynı kohezyonsuz malzemenin 1.0 ile 2.0 mm aralığındaki örnekleri kullanılarak elde edilen karışımlarda ise şişme yüzdesindeki azalmanın daha sınırlı seviyede olduğu görülmüştür. Benzer sonuçlar kırmataş kumu ile hazırlanan örneklerde de tespit edilmiştir. İki kohezyonsuz malzeme (Narlı kumu, kırmataş kumu) ile elde edilen karışımlarda ise, aynı büyüklükteki kum örneklerinden köşeli (kırmataş kumu) malzeme ile hazırlanan karışımlarda elde edilen şişme yüzdesinin yuvarlatılmış (Narlı kumu) şekle sahip malzeme kullanılarak elde edilenlere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ulaşılan bu sonuçlardan, daha küçük dane çapı ve daha yuvarlatılmış şekle sahip kohezyonsuz malzeme örnekleri ile hazırlanan karışımların şişme potansiyelini azaltmakta daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Bunun nedeni olarak, kil örneklerinin büyük taneli köşeli şekle sahip kohezyonsuz malzemeler arasında daha rahat bir şekilde şişebilmesi değerlendirilmektedir.

Tespit edilen büzülme yüzdeleri benzer bir davranışın büzülme özellikleri için de geçerli olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Kum miktarının şişme yüzdesine etkisi.

## Sonuçlar

Bentonit-kum karışımları çeşitli mühendislik uygulamalarında (seramik, sondaj, dolgu, çöp depolama sahaları, nükleer reaktör...) geçirimsiz bariyer tabakası olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar bu tür karışımlarda kullanılan kohezyonsuz malzemelerin bentonit kili içerisindeki miktarının en etkili olacak oranda belirlenmesine yönelik olmuştur. Bu çalışmada ise, söz konusu kohezyonsuz malzemelerin dane boyu dağılımı ve şekil özelliklerinin de bu karışımların bazı mühendislik özellikleri üzerinde oldukça etkili olduğu gösterilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, ince taneli (0.075-0.15mm) kohezyonsuz malzeme ile hazırlanan karışımlarda elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlığı değerlerindeki artış iri taneli (1.0-2.0mm) kohezyonsuz malzeme örnekleri ile elde edilen artışa göre daha fazla olmuştur. Kohezyonsuz malzemelere ait şekilsel özellikler likit limit değerleri üzerinde çok etkili olmazken, dane çapı dağılımlarının oldukça etkili olduğunu tespit edilmiştir. Daha küçük dane çapı dağılımına ve yuvarlatılmış şekle sahip kohezyonsuz malzeme örnekleri ile hazırlanan karışımların şişme ve büzülme potansiyelini azaltmakta daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

## Kaynaklar

- Cui, H., Sun, D., Matsuoka, H., Yongfu, X., (2004). Swelling characteristics of sand-bentonite mixtures under one-dimensional stress. *Doboku Gakkai Ronbunshu*, 275-285.
- Das, B.M. (1995). *Principles of Foundation Engineering*. PWS Publishing Company, An International Thomson Publishing Inc. Boston, U.S.A, 828 p.
- Esenler, A., (2005). Toprak dolgu yapıların projelendirilmesinde geoteknik çalışmalar, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- Holtz, W.G., Gibbs, H.J. (1956). *Engineering Properties of Expansive Clays*. ASCE Transaction, 121, 213-240.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., (1997). Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Komine, H., Ogata, N., (1994). Experimental study on swelling characteristics of compacted bentonite. *Canadian Geotechnical Journal*, 31(4), 478-490.
- Komine, H., Ogata, N., (1999). Experimental study on swelling characteristics of sand-bentonite mixture for nuclear waste disposal. *Soils and Foundations*, 39(2), 83-97.
- Kumar, G. V., Wood, D. M., (1999). Fall cone and compression tests on clay-gravel mixtures. *Geotechnique*, 49(6), 727-739.
- Lade, P.V., Liggio Jr., C.D., Yamamuro, J.A. (1998). Effects of nonplastic fines on minimum and maximum void ratios of sand *Geotechnical Testing Journal, ASTM*, 21 (4), 336-347.
- Marcial, D., Delage, P., Cui, Y. J., (2002). On the high stress compression of bentonites. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(4), 812-820.
- Pusch, R. (1979). Highly Compacted Sodium Bentonite for Isolating Rock-Deposited Radioactive Waste Products. *Nuclear Technology*, 45(2), 153-157.
- Schanz, T., Al-Badran, Y., (2014). Swelling pressure characteristics of compacted Chinese Gaomiaozhi bentonite GMZ01. *Soils and Foundations*, 54(4), 748-759.
- Shakibae, S., (2012). Bentonit-zeolit Ve Bentonit-kum Karışımlarını Kullanarak, Otoyolların Drenaj Şiltelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Shin, H., Santamarina, J.C. (2013). The role of particle angularity on the mechanical behavior of granular mixtures. *J. Geotechnical and*

- Geoenvironmental Eng, ASCE*, 139, 353-355.
- Sun, D., Cui, H., Sun, W., (2009). Swelling of compacted sand–bentonite mixtures. *Applied Clay Science*, 43(3), 485-492.
- Sun, D., Zhang, J., Zhang, J., Zhang, L., (2013). Swelling characteristics of GMZ bentonite and its mixtures with sand. *Applied Clay Science*, 83, 224-230.
- Şevki, E., Filiz, M.,(2007). Beyaz Bentonit Malzemesinde Alternatif Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Consolid Sistemi ile Geleneksel Zemin Stabilizasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- Tosun H., M. Türköz, Zorluer, İ., Arslan, A., (2000). Sıkışma Kontrolü İle Şişme Potansiyelinin Önlenmesi ve Harran Killerinde (V.kısım) Yapılan Uygulamalar, 3.GAP Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, Bildiriler kitabı, s.425-432.
- Wei-min, Y. E., Schanz, T., Li-xin, Q. I. A. N., Wang, J., Arifin, Y., (2007). Characteristics of swelling pressure of densely compacted Gaomiaozhi bentonite GMZ01. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 26(2), 3861-3865.
- Yenipazar, Y., (2015). Büyüklüklü (silivri) Bentonitin Döküm Ve Sondaj Sanayi Yönünden Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ye, W.-M., Chen, Y.-G., Chen, B., Wang, Q., Wang, J., (2010). Advances on the knowledge of the buffer/backfill properties of heavily-compacted GMZ bentonite. *Engineering Geology*, 116(1), 12–20, 2010.
- Ye, W. M., Wan, M., Chen, B., Chen, Y. G., Cui, Y. J., Wang, J., (2013). Temperature effects on the swelling pressure and saturated hydraulic conductivity of the compacted GMZ01 bentonite. *Environmental Earth Sciences*, 68(1), 281-288.
- Youd, T.L. (1973). Factors controlling maximum and minimum densities of sands, Evaluation of relative density and its role in geotechnical projects involving cohesionless soils, ASTM STP523, West Conshohocken, PA, USA, 98-112.

## Some geotechnical properties of clay-sand mixtures

### Extended abstract

*This paper presents an intensive series of experimental work on the various mixtures of bentonite and sand grains. Two types of sand with rounded (Narlı sand) and angular shape (Crushed stone sand) were mixed with high plasticity bentonite at the ratios of %0, %5, %10, %15, %20 by dry weight. The grains diameters of both sands use during the experimental studies were between 0.075 and 0.150 mm, and 1.0 and 2.0 mm. Thus, the effect of both shape and size properties of the sand additions mixed with bentonite was examined. Optimum water content and maximum dry density values of the prepared mixtures were determined, and then the other tests were also carried out on the compacted clay-sand mixtures. The Atterberg limits, linear shrinkage, free swelling index, and undrained shear strength ( $s_u$ ) of the compacted mixtures were determined. Liquid limits of the mixtures were estimated by using both Casagrande and Fall cone testing methods, then obtained results were compared. The  $s_u$  values were found as the result of fall cone testing equipment.*

*The testing results have indicated that whilst optimum water content, liquid limit, plastic limit, linear shrinkage, and free swelling index decreased, the maximum dry density was found to be increased with addition of any type of sand. Regarding the mixtures prepared with the same shaped sand grains, the smaller size of sand grains have a greater maximum dry density, shrinkage limit value, and a less optimum water content, and percent of swelling values than the sand grains with larger diameters. Regarding the effect of shape of sand grains at the same grain size, the specimens with the rounded shape sand grains have larger values of the maximum dry density and shrinkage limit, and a lower optimum water content and the free swelling values than the specimens with rounded sand grains. Further, the mixtures with same shape and size of grains at the same contents, liquid limit values by Casagrande methods were found to be greater than those obtained by Fall cone tests.*

**Keywords:** Sand; bentonite; compaction; Atterberg limits; swelling; shrinkage.