

# SODYUM HEGZAMETAFOFAT MİKTARININ HİDROMETRE DENEY SONUÇLARINA ETKİSİNİN DENEYSSEL VE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

**Ercan ÖZGAN**

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi, Düzce  
[ercanozgan@duzce.edu.tr](mailto:ercanozgan@duzce.edu.tr)

(Geliş/Received: 20.06.2008 ; Kabul/Accepted: 05.12.2008)

## ÖZET

Bu çalışmada, hidrometre deyinde kullanılan sodyum hegzametafosfat ( $\text{NaPO}_3$ ) miktarının zeminin tane çaplarına etkisi deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Hidrometre deneyleri için hazırlanan süspansiyonlara sırasıyla 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 gr  $\text{NaPO}_3$  ilave edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan her bir süspansiyonun özgül ağırlığı, pH değeri ve iletkenliği ölçülmüştür. TS1900–2006’ da belirtildiği gibi 40 gr  $\text{NaPO}_3$  kullanılarak hazırlanmış olan süspansiyondaki zemin tane çapları referans değer olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, süspansiyonda hiç  $\text{NaPO}_3$  kullanılmadığında elde edilen tane çaplarının referans tane çaplarından 4.51 kat, 10 gr için 3.90 kat, 20 gr için 3.46 kat, 30 gr için 2.12 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık 50 gr kullanıldığında ise sadece 260’nci dakikada hidrometre okuması yapılabilmiş ve 60 gr kullanıldığında ise hidrometre okuması yapılamamıştır. Deney sonuçları kullanılarak SPSS programı ile istatistiksel analizler yapılmış ve hidrometre deney parametreleri (geçen süre, ilk hidrometre okuması, sıcaklık, pH, iletkenlik, ayrıştırıcı madde ve sıcaklık düzeltme katsayısı, düzeltilmiş hidrometre değerleri, efektif derinlik, K değeri, tane çapı, süspansiyonun özgül ağırlığı ve  $\text{NaPO}_3$  miktarları) arasındaki korelasyonlar belirlenmiştir. Ayrıca regresyon analizi yapılarak ilk hidrometre okumasına ve  $\text{NaPO}_3$  miktarına bağlı olarak düzeltilmiş hidrometre okuması için tahmin modeli oluşturulmuştur ( $R=0.87$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Hidrometre deneyi, tane çapı, sodyum hegzametafosfat, istatistik.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE QUANTITY OF SODIUM HEXAMETAPHOSPATH TO THE HYDROMETER TEST RESULTS WITH EXPERIMENTAL AND STATISTICAL METHODS

### ABSTRACT

In this study, the effect of quantity of sodium hexametaphosphate ( $\text{NaPO}_3$ ) to the soil grain’ diameters were investigated as experimental and statistically. Hydrometer testing was conducted. 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 gr  $\text{NaPO}_3$  was respectively added into the prepared suspension. The specific gravity, pH and the conductivity were measured for each suspension. As pointed out in the TS 1900-1-2006 (Turkish Standard), the soil’ grain diameter in the solution prepared with 40 gr  $\text{NaPO}_3$  was used as reference. As a result, it was determined that the soil grain diameter in suspension added “0” gr  $\text{NaPO}_3$  greater 4.51 time than the reference grain diameter. When respectively added 10 gr into the suspension, the soil’ grain diameter greater 3.90 time than reference grain diameter, added 20 gr 3.46 time, and added 30 gr 2.12 time. Besides, the hydrometer reading could be done only 260<sup>th</sup> minute when added 50 gr in to the suspension. Moreover, the hydrometer couldn’t be read in the solution prepared with 60 gr  $\text{NaPO}_3$ . The obtained data were analysed statistically by using SPSS programme and determined the correlation coefficients for the hydrometer test parameters (passing time, original hydrometer reading, temperature, pH, conductivity, The correction coefficient value for solving matter and temperature, corrected hydrometer reading, effective deep, value of the K, particle diameter and quantity of the  $\text{NaPO}_3$ ). Also, regression analysis was conducted ( $R=0.87$ ) to predict the corrected hydrometer test reading based on the original hydrometer reading and the quantity of the  $\text{NaPO}_3$ .

**Keywords:** Hydrometer test, particle diameter, sodium hexametaphosphate, statistics.

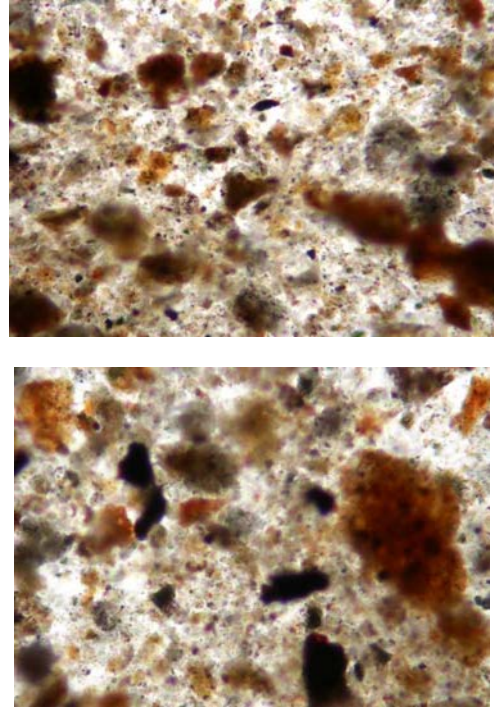
## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zemin mekaniğinde, çapı 0.075 mm.den küçük olan zemin tanelerinin büyüklüklerinin belirlenmesi özellikle granülometri eğrilerinin doğru olarak çizilebilmesi ve zeminlerin sınıflandırılması açısından oldukça önemlidir. Çapı 0.075 mm.den küçük zemin tanelerinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemler hidrometre deneyi ve pipet yöntemleridir [1]. Hidrometre deneylerinde ASTM E 100 2001 [2]'de tanımlanmış olan 151 H ve 152 H tipi hidrometreler kullanılmaktadır. Bu metotlarda zemin tane çapları Stoke yasasına göre hesaplanmaktadır. Hidrometre deneyinde süspansiyon içinde bulunan zemin tanelerinin birbirlerine yapışarak (floklaşma) tek bir tane gibi davranmalarını engellemek için en çok kullanılan madde  $\text{NaPO}_3$ 'tür. Hidrometre deneyi, hazırlanan tek bir süspansiyonda farklı zaman aralıkları için ölçüm yapılabilmesine olanak sağlamaktadır [3, 4]. Tyler ve Wheatcraft [5] ile Frank ve Jones [6] hidrometre deneylerinde süspansiyonun yoğunluğunu tespit etmek için çalışmalar yapmışlardır.  $\text{NaPO}_3$  ve kil arasındaki etkileşimle ilgili olarak birçok çalışma yapılmıştır [7, 8, 9]. Kura ve Ohashi [10]  $\text{NaPO}_3$  anyonları ile kalsiyumun güçlü bir ilişki içinde olduğunu tespit etmişlerdir. Smith v.d. [11]  $\text{NaPO}_3$  anyonlarının alüminyum atomları ile etkileşim halinde olduğunu belirlemişlerdir. Bazı araştırmacılar su içindeki  $\text{NaPO}_3$ 'ün davranışını incelemişlerdir [12, 13, 3]. Manfredini v.d. [14] kil endüstrisinde floklaşmayı engelleyen madde olarak  $\text{NaPO}_3$ 'ün kullanımının oldukça yaygın olduğunu belirtmişlerdir. Brandenburg ve Lagaly [15], Keren [16] ile Cushman ve Low [17]  $\text{NaPO}_3$ 'ün killerde negatif yükü artırarak floklaşmayı engellediğini tespit etmişlerdir. Lagaly [18] yaptığı çalışmada, soda ilavesinin bentonitlerin reolojik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Volzone ve Garrido [19] bazı Arjantin bentonitlerine  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 'ün etkisini araştırmışlardır. Bunchan v.d. [20] sıvı içinde dağılmış haldeki tanelerin büyüklüğünün belirlenmesi için elek analizi ve çöktürme metotlarını kullanarak detaylı çalışmalar yapmışlardır. Bazı araştırmacılar on dokuz farklı zemin için tane dağılımını belirlemek amacıyla ıslak elek analizi, pipet ve ışık-kırınımı tekniklerini kullanmışlardır [21, 5, 22, 23, 24]. Huertas v.d. [25] farklı pH'a sahip solüsyonlarda kaolinin çözülme olayı ile ilgili araştırmalar yapmışlardır Yıldız v.d. [26] sodyum klorür,  $\text{NaPO}_3$  ve pH değerinin Kütahya bentonitlerinin reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Hwang v.d. [27] deneysel veriler için zeminin tane dağılımının tahmin edilebilmesi amacıyla bazı modeller geliştirmişlerdir. Filgueira v.d. [28] süre, zemin süspansiyonunun özgül ağırlığı ve tane dağılımları arasındaki ilişkileri tespit etmişlerdir. Andreola v.d. [29] standart kaolin süspansiyonlarına  $\text{NaPO}_3$  ilavesinin etkisini araştırmışlar ve diğer kaolinlerle elde edilen sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada kullanılan zemin numunesi Düzce'de tuğla üretimi yapan bir fabrikanın stoklarından alınmıştır. Zemin numunesinin 0.075 mm' den küçük olan tane çaplarının belirlenebilmesi için hidrometre deneyleri yapılmıştır. Deneylerde ayrıştırıcı madde olarak  $\text{NaPO}_3$  ve 151 H tipi hidrometre kullanılmıştır. Deneylerde, hazırlanan süspansiyonların pH ve iletkenlik değerleri de ölçülmüştür. Zemin numunesinin mikro yapısının görülebilmesi amacıyla Olympos BX51 model mikroskop kullanılmıştır. Mikroskopla numunenin incelenebilmesi için numune üzerine entellin damlatılarak cam üzerine yayılmış ve lamel ile kapatılmıştır. Mikroskopla elde edilen görüntü 100 kat büyüklük sağlamıştır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Numunenin mikroskopla 100 kat büyütülmüş görüntüleri (The obtained images from the microscope enlarged 100 times for the sample)

Mikroskobik yapıyla birlikte zemin numunesinin kimyasal yapısının belirlenebilmesi amacıyla kimyasal analiz yapılmış olup analiz sonuçları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Zemin numunenin kimyasal yapısı (Chemical composition of sample).

$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	CaO
20.73	51.82	0.74	3.71	3.74
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	$\text{SO}_3$	L.O.I	Toplam
6.50	1.74	1.19	9.4	99.57

## 2.2. Yöntem (Method)

Tane dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan hidrometre deneyi Stoke yasasına göre yapılmaktadır. Zeminin tane çaplarının hesaplanmasında; geçen süre, hidrometre okumasının yapıldığı derinlik, menüsküs düzeltmesi, ayrıştırıcı madde düzeltmesi ve K katsayısı (süspansiyonun ölçüm yapıldığı andaki sıcaklığı ve numunenin özgül ağırlığına bağlı bir katsayı) değerleri kullanılmıştır. Hidrometre deneylerinde zemin tanelerinin özgül ağırlıklarının aynı olduğu kabul edilmekte ve yer çekiminden dolayı süspansiyon içindeki büyük tanecikler küçük olan taneciklere göre daha hızlı çökmektedirler. Çöken tanelerin çapları aşağıda ifade edilen Stoke yasası ile hesaplanabilmektedir.

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

D: Zemin taneciklerinin çapı (mm),

K: Süspansiyon sıcaklığı ve zeminin özgül ağırlığına bağlı bir katsayı.

L: Hidrometre okumasının yapıldığı andaki efektif derinlik (cm),

T: Deneyin başlangıcından itibaren hidrometre okumasının yapıldığı ana kadar geçen süre (dakika).

Deney örneklerinin hazırlanması; hidrometre deneyleri için tuğla fabrikasından alınan numune 4800 gr olup oldukça ince taneli yapıdadır. Alınan numune etüvde kurutulmuş ancak lastik tokmakla ezme işlemine gerek duyulmadığı için bu işlem yapılmamıştır. Numuneler yarılama metoduyla gruplara ayrılmışlardır. Numune 200 numaralı elekten elendikten sonra her deney serisi için elek altında kalan kısımdan yine yarılama metoduyla 30'ar gr alınarak hidrometre deneyleri yapılmıştır. 0, 10, 20, 30, 40, 50

ve 60 gr NaPO<sub>3</sub> kullanılarak her bir NaPO<sub>3</sub> miktarı için ayrı ayrı olmak üzere 1 lt'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Numuneler cam behere konulmuş ve üzerlerine, hazırlanmış olan bu çözeltilerin her birinden 125 ml ayrıştırıcı ilave edildikten sonra 5 dakika boyunca cam çubukla karıştırılmıştır. Bu şekilde hazırlanan numuneler, yapışık halde olan zemin tanelerinin birbirinden ayrışmasını sağlamak amacıyla 16 saat süre ile desikatörde bekletilmişlerdir. Numune desikatörden çıkartıldıktan sonra tekrar cam çubukla karıştırılarak mekanik mikserin içine boşaltılmış ve mikser 2/3 seviyesine kadar saf su ile doldurulmuştur. Mikser içinde bulunan süspansiyon 1 dakika boyunca karıştırılmıştır.

Karıştırma işleminden sonra süspansiyon 1000 ml'lik cam mezüre boşaltılmış ve cam mezür 1000 ml hizasına kadar saf su ile doldurulmuştur. Cam mezür bir dakika boyunca havada ters-düz yapılarak çalkalanmış ve bu işlemden sonra deney masasının üzerine yerleştirilerek hemen deneye başlanmıştır. Deneyde, her bir hidrometre okuma zamanı için hidrometre okumaları ile birlikte süspansiyonun pH ve iletkenlik değerleri de ölçülerek kaydedilmiştir.

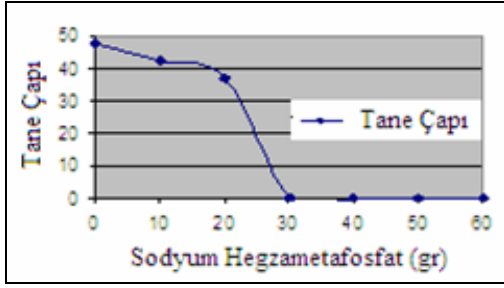
## 3. HİDROMETRE DENEY SONUÇLARI (RESULTS OF HYDROMETER TEST)

Hidrometre deney sonuçları, NaPO<sub>3</sub> miktarı ve geçen süreye bağlı olarak gruplandırılmış ve çizelge halinde gösterilmiştir. Deneylerde 50 gr NaPO<sub>3</sub> kullanıldığında sadece 260'nci dakikada okuma yapılabilmiş, 60 gr kullanıldığında ise hidrometre okuması yapılamamıştır. Bu nedenle deneylerde geçen süreye bağlı olarak hesaplanan tane çapları, pH ve iletkenlik değerleri 0, 10, 20, 30 ve 40 gr NaPO<sub>3</sub> için Çizelge 2'de gösterilmiştir.

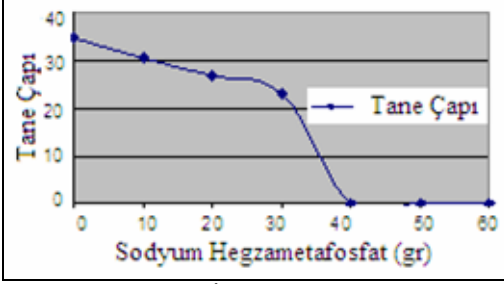
**Çizelge 2.** Geçen süre ve NaPO<sub>3</sub> miktarına göre tane çapları ile pH ve iletkenlik değerleri. (Particle diameters, pH and conductivity values accordance to the passing. times and the quantity of NaPO<sub>3</sub>).

NaPO <sub>3</sub> miktarı (gr)	Sonuçlar	Geçen Süre (Dakika)									
		0	1	2	5	10	15	30	60	120	260
0	pH	6.02	5.98	6.05	6.06	6.05	6.06	6.02	5.98	5.98	5.96
	İletkenlik <sup>(a)</sup>	4.1	4.2	4.3	4.4	4.6	4.6	4.6	4.7	4.8	5.0
	Tane çapı <sup>(b*)</sup>	0	47.66	34.74	22.39	16.56	13.75	9.80	6.98	4.97	3.25
10	pH	6.06	6.06	6.05	6.05	6.04	6.04	6.04	6.04	6.03	6.03
	İletkenlik <sup>(a)</sup>	7.10	7.20	7.22	7.29	7.50	7.64	7.50	7.58	7.78	7.92
	Tane çapı <sup>(b*)</sup>	0	42.37	30.39	19.46	13.90	11.40	8.10	5.81	4.14	2.99
20	pH	5.89	5.90	5.91	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89
	İletkenlik <sup>(a)</sup>	11.55	11.48	11.16	11.70	11.68	11.69	11.66	11.64	11.60	11.64
	Tane çapı <sup>(b*)</sup>	0	37.23	26.80	17.19	12.35	10.17	7.41	5.25	3.81	2.60
30	pH	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.76	5.77	5.77	5.76	5.76
	İletkenlik <sup>(a)</sup>	15.02	15.09	15.04	15.08	15.07	15.17	15.10	14.95	15.17	15.14
	Tane çapı <sup>(b*)</sup>	0	0	23.09	14.62	11.10	9.14	6.47	4.88	3.44	2.38
40	pH	5.80	5.58	5.52	5.50	5.69	5.60	5.69	5.16	6.03	6.40
	İletkenlik <sup>(a)</sup>	17.17	17.20	17.13	17.05	17.04	15.83	17.18	17.38	17.56	17.70
	Tane çapı <sup>(b*)</sup>	0	0	0	0	10.38	8.54	6.29	4.53	3.32	2.38

a. İletkenliğin birimi "µS/cm" olarak alınmıştır. b. Tane çapının birimi (x10<sup>-3</sup>) mm olarak alınmıştır.



a. Birinci dakika için.



b. İkinci dakika için

**Şekil 2.** Birinci ve ikinci dakikalar için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapı arasındaki ilişki. (Relationship between quantity of dispersant and particle diameters for 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> minutes)

#### 4. SODYUM HEGZAMETAFOFAT VE TANE ÇAPI ARASINDAKİ İLİŞKİLER (RELATIONSHIPS BETWEEN SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE AND PARTICLE DIAMETER)

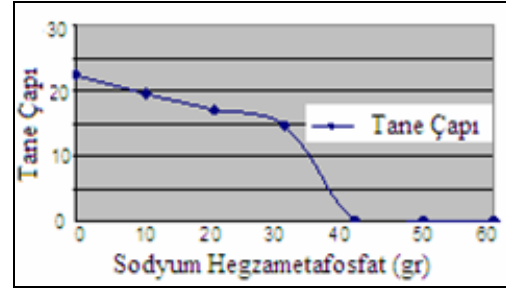
Çalışmada, hidrometre okumaları tüm deneyler için 260<sup>nci</sup> dakikaya kadar yapılmıştır. NaPO<sub>3</sub> miktarı ile tane çapı arasındaki ilişkiyi gözlemleyebilmek için her bir zaman periyodu için (1, 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120 ve 260 dakika) ayrı ayrı grafikler çizilmiştir. Grafiklerde, ayrıştırıcı miktarı "x" ekseninde zeminin tane çapı ise "y" ekseninde gösterilmiştir. Birinci ve ikinci dakika için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapları arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2 a ve b).

Birinci dakika için zeminin tane çapı 0, 10 ve 20 gr ayrıştırıcı için hesaplanabilmektedir. Tane çapının 48x10<sup>-3</sup> mm'den 37x10<sup>-3</sup> mm'ye kadar azaldığı görülmektedir. Hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapını 48x10<sup>-3</sup> mm, 10 gr için 42x10<sup>-3</sup> mm ve 20 gr için ise tane çapının 37x10<sup>-3</sup> mm olduğu belirlenmiştir.

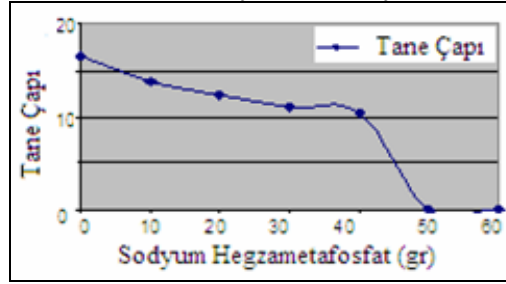
İkinci dakikada ise tane çapının 35x10<sup>-3</sup> mm'den 23x10<sup>-3</sup> mm'ye kadar azaldığı görülmektedir. Deneyde hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının 35x10<sup>-3</sup> mm, 10 gr için 30x10<sup>-3</sup> mm, 20 gr için 27x10<sup>-3</sup> mm ve 30 gr için ise 23x10<sup>-3</sup> mm olduğu belirlenmiştir.

Beşinci ve onuncu dakikalar için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapları arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3 a ve b).

Beşinci dakika için zeminin tane çapı 0, 10, 20 ve 30 gr ayrıştırıcı için hesaplanabilmektedir. Tane çapının 23x10<sup>-3</sup> mm' den 15x10<sup>-3</sup> mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının 23x10<sup>-3</sup> mm,



a. Beşinci dakika için



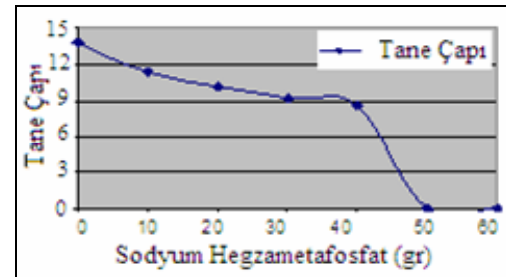
b. Onuncu dakika için.

**Şekil 3.** Beşinci ve onuncu dakikalar için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapı arasındaki ilişki (Relationship between quantity of dispersant and particle diameters for 5<sup>th</sup> - 10<sup>th</sup> minutes)

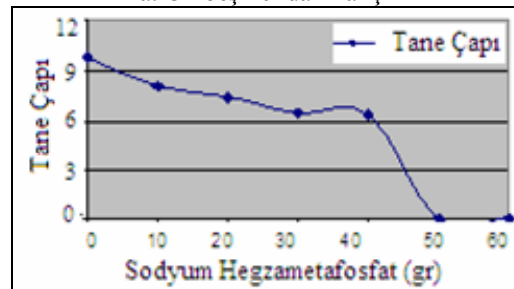
10 gr için 20x10<sup>-3</sup> mm, 20 gr için 17x10<sup>-3</sup> mm ve 30 gr için ise 15x10<sup>-3</sup> mm olduğu belirlenmiştir.

Onuncu dakikada ise tane çapının 17x10<sup>-3</sup> mm'den 10.5x10<sup>-3</sup> mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının 17x10<sup>-3</sup>mm, 10 gr için 14x10<sup>-3</sup> mm, 20 gr için 12.5x10<sup>-3</sup> mm, 30 gr için 11x10<sup>-3</sup> ve 40 gr için ise 10.5x10<sup>-3</sup> mm olduğu belirlenmiştir.

On beşinci ve otuzuncu dakikalar için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapları arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4 a ve b).



a. On beşinci dakika için



b. Otuzuncu dakika için.

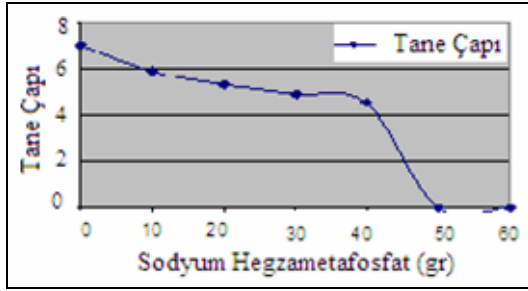
**Şekil 4.** On beşinci ve otuzuncu dak. için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapı arasındaki ilişki. (Relationship between quantity of dispersant and particle diameters for 15<sup>th</sup> - 30<sup>th</sup> minutes)



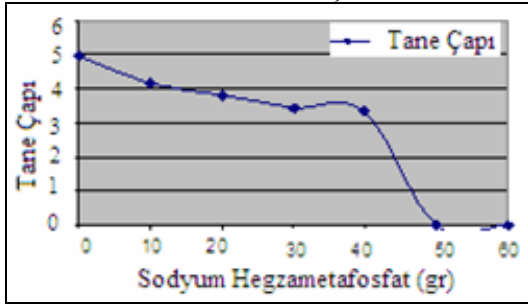
On beşinci dakika için tane çapının  $14 \times 10^{-3}$  mm'den  $8.5 \times 10^{-3}$  mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının  $14 \times 10^{-3}$  mm, 10 gr için  $11.5 \times 10^{-3}$  mm, 20 gr için  $10 \times 10^{-3}$  mm, 30 gr için  $9 \times 10^{-3}$  mm ve 40 gr için ise  $8.5 \times 10^{-3}$  mm olduğu belirlenmiştir.

Otuzuncu dakikada ise tane çapının  $10 \times 10^{-3}$  mm'den  $6.3 \times 10^{-3}$  mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının  $10 \times 10^{-3}$  mm, 10 gr için  $8 \times 10^{-3}$  mm, 20 gr için  $7.5 \times 10^{-3}$  mm, 30 gr için  $6.5 \times 10^{-3}$  ve 40 gr için ise  $6.3 \times 10^{-3}$  mm olduğu belirlenmiştir.

Altmışncı ve yüz yirincinci dakikalar için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapları arasındaki ilişki gösterilmiştir (Şekil 5 a ve b).



a. 60. Dakika için



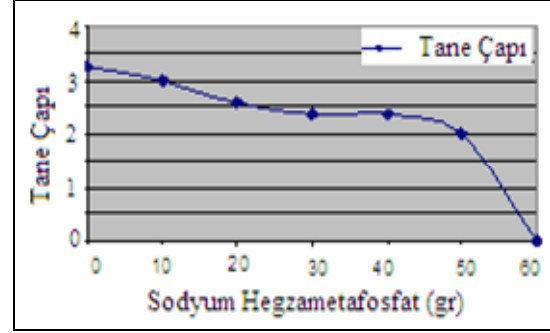
b. 120. Dakika için

**Şekil 5.** Altmışncı ve yüz yirincinci dakikalar için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapı arasındaki ilişki. (Relationship between quantity of dispersant and particle diameters for 60<sup>th</sup>-120<sup>th</sup> minutes)

Altmışncı dakika için tane çapının  $7 \times 10^{-3}$  mm' den  $4.6 \times 10^{-3}$  mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının  $7 \times 10^{-3}$  mm, 10 gr için  $5.8 \times 10^{-3}$  mm, 20 gr için  $5.3 \times 10^{-3}$  mm, 30 gr için  $4.9 \times 10^{-3}$  mm ve 40 gr için ise  $4.6 \times 10^{-3}$  mm olduğu belirlenmiştir.

Yüz yirincinci dakikada tane çapının  $5 \times 10^{-3}$  mm'den  $3.3 \times 10^{-3}$  mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının  $5 \times 10^{-3}$  mm, 10 gr için  $4.2 \times 10^{-3}$  mm, 20 gr için  $3.8 \times 10^{-3}$  mm, 30 gr için  $3.4 \times 10^{-3}$  mm ve 40 gr için ise  $3.3 \times 10^{-3}$  mm olduğu belirlenmiştir.

İki yüz altmışncı dakika için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapları arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir (Şekil 6).



**Şekil 6.** İki yüz altmışncı dakika için ayrıştırıcı miktarı ile tane çapı arasındaki ilişki (Relationship between quantity of dispersant and particle diameters for 260<sup>th</sup> minutes)

İki yüz altmışncı dakika için tane çapının  $3.25 \times 10^{-3}$  mm'den  $2 \times 10^{-3}$  mm'ye kadar azaldığı, hiç ayrıştırıcı kullanılmadığında tane çapının  $3.25 \times 10^{-3}$  mm, 10 gr için  $2.99 \times 10^{-3}$  mm, 20 gr için  $2.6 \times 10^{-3}$  mm, 30 gr için  $2.38 \times 10^{-3}$  mm, 40 gr için  $2.38 \times 10^{-3}$  mm ve 50 gr için ise  $2.0 \times 10^{-3}$  mm olduğu belirlenmiştir.

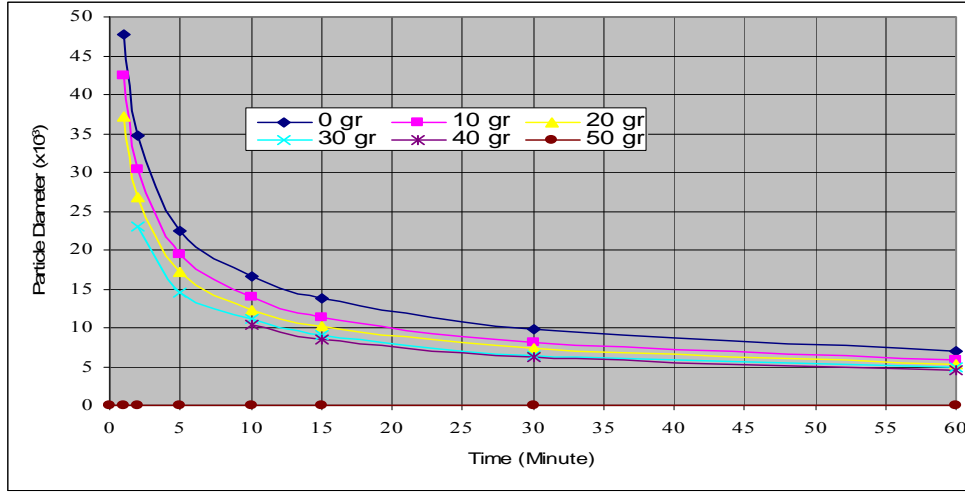
Referans ayrıştırıcı miktarı (40 gr) ve diğer ayrıştırıcı miktarlarının (0, 10, 20, 30, 40 ve 50 gr) zeminin tane çapına etkileri altmışncı dakikaya kadar aynı grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Şekil 7).

En büyük tane çapı  $48 \times 10^{-3}$  mm olup hiç ayrıştırıcı kullanılmadığı durumda (0 gr ayrıştırıcı için) elde edilmiştir. Birinci dakika için tane çapları 0, 10 ve 20 gr ayrıştırıcı kullanıldığında hesaplanabilmiştir. 30 gr ayrıştırıcı kullanıldığında ise 1. dakikada okuma yapılamazken ilk okuma 2. dakikada yapılabilmektedir. TS 1900-1-2006'ya [30] göre deneylerde 40 gr ayrıştırıcı (referans ayrıştırıcı miktarı) kullanıldığında ilk hidrometre okuması ancak 10.dakikada yapılabilmektedir. 50 gr ayrıştırıcı kullanıldığında ise ilk okuma ancak 260. dakikada yapılabilmektedir. Şekil 7'den her bir ayrıştırıcı miktarı için zamana göre hesaplanmış olan tane çapları ile ilgili grafiklerin benzer olduğu görülmektedir.

## 5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER (STATISTICAL ANALYSES)

Hidrometre deney parametreleri (geçen süre, ilk hidrometre okuması, sıcaklık, pH, iletkenlik, ayrıştırıcı madde ve sıcaklık düzeltme katsayısı, düzeltilmiş hidrometre değerleri, efektif derinlik, K değeri, tane çapı, süspansiyonun özgül ağırlığı ve  $\text{NaPO}_3$  miktarları) arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizi yapılmış ve analiz sonuçları çizelge halinde gösterilmiştir (Çizelge 3).

Hidrometre deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak "düzeltilmiş hidrometre okumasının (y)"  $\text{NaPO}_3$  miktarı ( $x_1$ ) ve düzeltilmemiş hidrometre okumasına ( $x_2$ ) bağlı olarak tahmin edilebilmesi amacıyla çoklu lineer regresyon analizi yapılmıştır.



Şekil 7. Ayrıştırıcı miktarına göre tane çapları ve geçen süreler arasındaki ilişkiler (Relationship between particle diameters-passing times according to quantity of dispersant)

Tahmin edilen düzeltilmiş hidrometre değerleri ile deneylerle belirlenen düzeltilmiş hidrometre değerleri arasında fark olup olmadığı test edilerek gösterilmiştir (Çizelge 4.a, b ve c).

Çoklu lineer regresyon analizi ile elde edilen tahmin denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$y=0,837- 0,135x_1+0,403x_2 \text{ denklemde;}$$

y: Düzeltilmiş hidrometre okuması,  
 $x_1$ : NaPO<sub>3</sub> miktarı (gr),  
 $x_2$ : Düzeltilmemiş hidrometre okuması

Çoklu lineer regresyonla tahmin edilen hidrometre değerleri ile düzeltilmiş hidrometre değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.87 olarak bulunmuştur.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULT AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, hidrometre deneylerinde NaPO<sub>3</sub> miktarının zeminin tane çapı büyüklüğünü doğrudan etkilediği görülmüştür. NaPO<sub>3</sub>' in tane dağılımına etkisini gösterebilmek için TS 1900 1–2006 [30]' da belirtildiği gibi 40 gr NaPO<sub>3</sub> kullanılarak yapılan hidrometre deney sonuçları referans olarak kullanılır.

Çizelge 3. Hidrometre deney parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları (Correlation coefficients for hydrometer test parameters)

Hidrometre Deney Parametreleri	Geçen süre	Düzeltilmemiş hidrometre okuması	Ölçülen sıcaklık	pH	İletkenlik	Ayrıştırıcı madde ve sıcaklık düzeltme katsayısı	Düzeltilmiş hidrometre okuması	Efektif derinlik	K değeri	Tane çapı	Süspansiyonun özgül ağırlığı	NaPO <sub>3</sub> miktarı
Geçen süre	1.0	.17	.46	-.02	.02	.006	.11	.15	.165	-.28	.00	.000
Düzeltilmemiş hidrometre okuması	.17	1.0	-.15	.76*	-.69*	.016	.79*	.74*	.28	.46	-.64	-.74*
Ölçülen sıcaklık	.46	-.15	1.0	-.19	.43	-.44	.03	-.07	-.28	-.39	.46	.25
pH	-.026	.76*	-.19	1.0	-.80*	-.14	.82*	.89*	-.11	.51	-.77*	-.98*
İletkenlik	.019	-.69	.43	-.80	1.0	-.47	-.46	-.56	-.34	-.55	.96*	.75*
Ayrıştırıcı madde ve sıcaklık düzeltme katsayısı	.006	.016	-.44	-.14	-.47	1.0	-.45	-.38	.74*	.15	-.44	.20
Düzeltilmiş hidrometre okuması	.11	.79	.03	.82	-.46	-.45	1.0	.90*	-.33	.38	-.42	-.82*
Efektif derinlik	.15	.74	-.07	.89	-.56	-.38	.90	1.0	-.26	.36	-.58	-.93*
K değeri	.16	.28	-.28	-.11	-.34	.74	-.33	-.26	1.0	.11	-.33	.15
Tane çapı	-.28	.46	-.39	.51	-.55	.15	.38	.36	.11	1.0	-.52	-.48
Süspansiyonun özgül ağırlığı	.00	-.64	.46	-.77	.96	-.44	-.42	-.58	-.33	-.52	1.0	.75*
NaPO <sub>3</sub> miktarı	.00	-.74	.25	-.98	.75	.20	-.82	-.93	.15	-.48	.75	1.0

**Çizelge 4.** Çoklu lineer regresyon ve varyans analizi sonuçları (Multi Linear Regression Analysis and Analysis of Variance)

## a. Modelin Özeti (Abstract of the model)

R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Tahminin Standart hatası	Değişken değerler				
				R <sup>2</sup> Değişimi	F Değişimi	sd1	sd2	F Değişiminin önemi
.87	.76	.75	.2542	.76	105.312	2	67	.000

a. Bağımsız değişkenler: NaPO<sub>3</sub> miktarı gr. ( $x_1$ ), Düzeltilmemiş hidrometre okuması ( $x_2$ ), b. Bağımlı değişken: Düzeltilmiş hidrometre okuması ( $y$ ).

## b. Varyans Analizi (Analysis of variance)

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önemlilik
Regresyon	13.614	2	6.807	105.312	.000
Artan	4.331	67	.0466		
Toplam	17.944	69			

## c. Katsayılar (Coefficients)

	Standartlaştırılmamış katsayılar	Standart hata	Standartlaştırılmış katsayılar	t	Önemlilik.
	B		Beta		
Sabit sayı	.837	.144		5.817	.000
NaPO <sub>3</sub> miktarı (gr)	-.135	.023	-.533	-5.978	.000
Düzeltilmemiş hidrometre okuması	.403	.090	.400	4.482	.000

mıştır. Deneysel sonuçlarda hiç NaPO<sub>3</sub> kullanılmadığında tanelerin referans değerden 4.51 kat, 10 gr için 3.90 kat, 20 gr için 3.46 kat ve 30 gr için 2.12 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. 50 gr için sadece 260. dakikada hidrometre okuması yapılabilmemiş 60 gr için ise okuma yapılamamıştır. NaPO<sub>3</sub> miktarının artması süspansiyonun özgül ağırlığını arttırdığı için 50 gr ve yukarısında ayrıştırıcı kullanıldığında hidrometre süspansiyon içine batmadığı için okuma yapılamamıştır. Diğer taraftan 40 gr NaPO<sub>3</sub> kullanıldığında 1, 2, 5 ve 10'ncü dakikalarda okuma yapılamazken 15, 30, 60, 120 ve 260'ncü dakikalarda okumalar yapılabilmıştır.

Bu durumda 40 gr ayrıştırıcı için deney yaklaşık %44 okuma kaybı ile tamamlanmıştır. 30 gr NaPO<sub>3</sub> kulla-

nıldığında ise sadece 1'nci dakikada okuma yapılamamış diğer tüm zaman değerleri için okuma yapılabilmıştır.

Bu durumda 30 gr NaPO<sub>3</sub> için hidrometre okumaları %11 okuma kaybı ile tamamlanmıştır. 0, 10 ve 20 gr NaPO<sub>3</sub> kullanıldığında ise tüm zaman aralıkları için okuma yapılabilmıştır.

Bu durumda, eğer hidrometre okumaları en az okuma kaybı ile yapılmak isteniyorsa NaPO<sub>3</sub> miktarı 30 gr olarak seçilebilir. Böylece 2, 5, 10'ncü dakikalar için hesaplanan tane çapları doğrudan kullanılabilir. 15, 30, 60, 120 ve 260'ncü dakikalar için tane çapları çizelgede (Çizelge 5) önerilen katsayılar ile çarpılarak referans değere (40 gr NaPO<sub>3</sub> kullanıldığında elde

**Çizelge 5.** Tane çaplarını referans değere dönüştürebilmek için önerilen katsayılar (Proposed correction coefficients for particle diameters to turning reference values)

Geçen süre (dakika)	NaPO <sub>3</sub> miktarı (gr)				
	0 gr	10 gr	20 gr	30 gr	40 gr (Referans)
1	1.0	1.0	1.0	Okuma yapılamıyor	Okuma yapılamıyor
2	1.0	1.0	1.0	1.0	Okuma yapılamıyor
5	1.0	1.0	1.0	1.0	Okuma yapılamıyor
10	0.63	0.75	0.84	0.94	Okuma yapılamıyor
15	0.62	0.75	0.84	0.93	1.00
30	0.64	0.78	0.85	0.97	1.00
60	0.65	0.78	0.86	0.93	1.00
120	0.67	0.80	0.87	0.97	1.00
260	0.73	0.80	0.92	1.00	1.00
Kayıp okuma oranı (%)	0.00	0.00	0.00	11.11	44.44

edilecek değer) dönüştürülebilirler. Hidrometre okumaları eksiksiz yapılmak isteniyorsa  $\text{NaPO}_3$  miktarı 0, 10 ve 20 gr olarak seçilebilir. Böyle bir durumda 1, 2, 5 ve 10'ncü dakikalar için hesaplanacak tane çapları doğrudan kullanılabilir. 15, 30, 60, 120 ve 260'ncü dakikalar için ise hesaplanan tane çapları yine çizelgede verilen katsayılarla çarpılarak referans değere dönüştürülebilirler.

İstatistiksel analizler sonucunda, hidrometre test parametreleri ile zeminin tane çapı arasındaki korelasyon katsayılarının -0.55 ile +0.51 arasında değiştiği belirlenmiştir. Tane çapının, geçen zamanla (-0.28), ölçülen sıcaklıkla (-0.39), iletkenlikle (-0.55), süspansiyonun özgül ağırlığı ile (-0.52) ve  $\text{NaPO}_3$  miktarı ile (-0.48) negatif ilişkisi olduğu ve bu parametrelerdeki artışın tane çapının azalmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Diğer taraftan tane çapının, düzeltilmemiş hidrometre okuması ile (0.46), pH ile (0.51), ayrıştırıcı madde ve sıcaklık için düzeltme katsayısı ile (0.15), düzeltilmiş hidrometre okuması ile (0.38), efektif derinlikle (0.36) ve K değeri ile (0.11) pozitif ilişkisi olduğu, bu parametrelerdeki artışın tane çapını arttırdığı belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gee, G.W., and Bauder, J.W., "Particle-size analysis". In: A. Klute et al., Editors, **Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods** (second ed.), ASA, Inc., Madison, WI:383-411. 1986.
- ASTM E100-95 **Standard Specification for ASTM Hydrometers**, 2001.
- Day, P.R., "Particle fractionation and particle-size analysis". In: C.A. Black et al., Editors, **Methods of Soil Analysis**, Part 1:545-567. 1965.
- ASTM, **American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils**. D422-63 (1972). 1985 Annual Book of ASTM Standards 04.08:117-127, 1985.
- Tyler, S.W., and Wheatcraft, S.W., "Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations", **Soil Sci. Soc. Am. J.** Cilt:56, 362-369, 1992.
- Frank, E., and Jones, C., "A new reference method for testing hydrometers", **Measurement**, Cilt 16, No 4, 231-237, 1995.
- Van, O.H., "Peptization of clay suspensions", **In An Introduction to Clay Colloid Chemistry**, Interscience, New York:112-113, 1963.
- Kronberg, B., Kuortti, J. ve Stenius P., "Competitive and cooperative adsorption of polymers and surfactants on kaolinite surface", **Colloids and Surfaces**, Cilt 18, 411-425, 1986.
- Choi, J.K., Wen W.W. ve Smith R.W., "Technical note: the effect of a long chain phosphate on the adsorption of collectors on kaolinite", **Minerals Engineering**, Cilt 6, 1191-1197, 1993.
- Kura, G., ve Ohashi, S., "Complex formation of cyclic phosphate anions with bivalent cations", **J. Inorg. Nucl. Chem.** Cilt 36, 1605-1609, 1974.
- Martel, A.E., and Smith, R. M., "In Critical Stability Constants: Inorganic Complexes" **Plenum Press**, New York, USA, Cilt 4, 70, 1976.
- Corbridge, D. E.C., "Condensed phosphates. In Studies in Inorganic Chemistry 2", **Phosphorus**, Elsevier:134-135, 1980.
- Thilo, E., "The structural chemistry of condensed inorganic phosphate", **Angew. Chem. Int. Ed**, Cilt 4, No 12, 1061-1071, 1965.
- Manfredini, T., Pellacani, G.C., Pozzi, P., ve Corradi, A.B., "Monomeric and oligomeric phosphates as deflocculants of concentrated aqueous clay suspensions", **Appl. Clay Sci.**, Cilt 5, 193-201, 1990.
- Brandenburg, U., Lagaly, G., "Rheological properties of sodium montmorillonite dispersions", **Appl. Clay Sci.**, Cilt 3, 263-279, 1988.
- Keren, R., "Effect of clay charge density and adsorbed ions on the rheology of montmorillonite suspensions", **Soil Sci. Am. J.**, Cilt 53, 25-29, 1989.
- Cushman, J.H., Low, P.F., "Rheological behaviour of Na-montmorillonite suspensions at low electrolyte concentration", **Clays Clay Miner.**, Cilt 38, 57-62, 1990.
- Lagaly, G., "Principles of flow of kaolin and bentonite dispersions", **Appl. Clay Sci.**, Cilt 4, 105-123, 1989.
- Volzone, C., Garrido, L.B., "The effect of some physico-chemical and mineralogical properties on the  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  activation of Argentine bentonites", **Appl. Clay Sci.**, Cilt 6, 143-154, 1991.
- Buchan, G.D., Grewal, K.S., Robson, A.B., "Improved models of particle size distribution: an illustration of model comparison techniques", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Cilt 57, 901-908, 1993.
- Turcotte, D.L., "Fractals and fragmentation", **J. Geophys. Res.**, Cilt 91, 1921-1926, 1986.
- Wu, Q., Borkovec, M., ve Sticher, H., "On particle size distributions in soils", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Cilt 57, 883-890, 1993.
- Young, I.M., Crawford, J.W., Anderson, A., ve McBratney, A., "Comment on number-size distributions", **Soil Structure Fractals**, Cilt 61, 1799-1800, 1997.
- Bittelli, M., Campbell, G.S., Flury, M., "Characterization of particle-size distribution in soil with a fragmentation model", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Cilt 63, 782-788, 1999.
- Huertas, F.J., Chou, L., Wollast, R., "Mechanism of kaolinite dissolution at room temperature and pressure", Part II: kinetic study, **Geochim. Cosmochim. Acta** Cilt63, No 19-20, 3261-3275, 1999.



26. Yildiz, N., SARIKAYA, Y., ve CALIMLI, A., “The effect of the electrolyte concentration and pH on the rheological properties of the original and the Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-activated Kütahya bentonite”, **Applied Clay Science**, Cilt 14, No 5-6, 319-327, 1999.
27. Hwang, I.S., Kwang P.L., Dong S.L., ve Susan E. Powers., “Models for estimating soil particle-size distributions”, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Cilt 66, 1143–1150, 2002.
28. Filgueira et al., “Time–mass scaling in soil texture analysis”, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Cilt 67, 1703–1706, 2003.
29. Andreola, F., Castellini E., Manfredini T., ve Romagnoli M., “The role of sodium hexametaphosphate in the dissolution process of kaolinite and kaolin”, **Journal of the European Ceramic Society**, Cilt 24, No 7, 2113-2124, 2004.
30. **TS 1900-1-2**, İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini, Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini, 2006.