



TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: May 2010
Accepted: July 2010
Series : 2A
ISSN : 1308-7231
© 2010 www.newwsa.com

Ali Uçar
Yılmaz Koçak
Atila Dorum
Dumlupınar University
ucar@dumlupinar.edu.tr
Kutahya-Turkey

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE ZETA POTANSİYEL

ÖZET

Günümüzde ekonomiklik, çevre ve yüksek mukavemetli beton elde edilmesi gibi faktörler nedeni ile çimento ile birlikte kullanılan kimyasal ve mineral katkıları çok önemli bir yer almıştır. Bu kimyasal ve mineral katkıların birbirleriyle uyumu ya da uyumsuzluğunun tespit edilmesi için de yüzey etkileşimlerinin (Van der Waals ve elektrostatik) bilinmesi çok önemlidir. Bu etkileşimlerden en önemlisi de elektrostatik etkileşimdir. Bu etkileşimde tane yüzey yükleri etkilidir. Tane yüzey yükleri ise pratikte zeta potansiyel olarak belirlenebilmektedir. Bu nedenle çalışmada zeta potansiyel ile ilgili bilgilerle, çimento ve mineral katkılarıyla yapılan zeta potansiyel araştırmalarına yer verilmiştir. Bu çalışma ile özellikle çimento ve beton sektöründe zeta potansiyelin gündeme taşınması amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Zeta Potansiyel, Çimento, Yüzey Özellikleri, Mineral Katkılar, Kimyasal Katkılar

ZETA POTENTIAL IN CEMENT SECTOR

ABSTRACT

Chemical and mineral additives which are used with cement because of factors such as economy, the environment and to obtain high-strength concrete has been a very important place. The chemical and mineral additives that compliance or noncompliance with each other for determining the surface interactions (Van der Waals and electrostatic) is very important to know. Electrostatic interaction is the most important part of this interaction. Particle surface charge is effective in this interaction. In practice, the particle surface charge can be defined by the zeta potential. In this study, information about the zeta potential and the research made of cement and zeta potential of mineral additives are given. In this study, zeta potential, particularly cement and concrete sector is intended to take part in the agenda.

Keywords: Zeta Potential, Cement, Surface Properties, Mineral Additives, Chemical Additives

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda Türkiye’de çimento ve beton sektöründe standart deneylerin yanında yeni analiz yöntemleri kullanılmaya başlamıştır. Daha önceki çalışmalarda çimento ve beton içerisine çeşitli ikame malzemeleri ya da katkılı çimentoların fiziksel ve bazı kimyasal özellikleri araştırılarak olumlu ya da olumsuz verilere göre yorum yapılmaktaydı. Ancak günümüz teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte bu sonuçların nedenleri üzerinde durulmaktadır. Bu nedenleri sorgulayabilmek için de kimyasal analizler, XRD (mineralojik analiz), FT-IR (yüzey bağları, mineral yapıları), STA (ısı davranışlar), SEM-EDX (Yüzey ve mineral yapıları) ve zeta potansiyel (yüzey yükleri(mV)) gibi analiz yöntemleri uygulanmakta ve elde edilen fizikokimyasal ve yapısal değişikliklerden faydalanarak standart deneyler sonucundaki bulguların nedenleri anlaşılmaktadır.

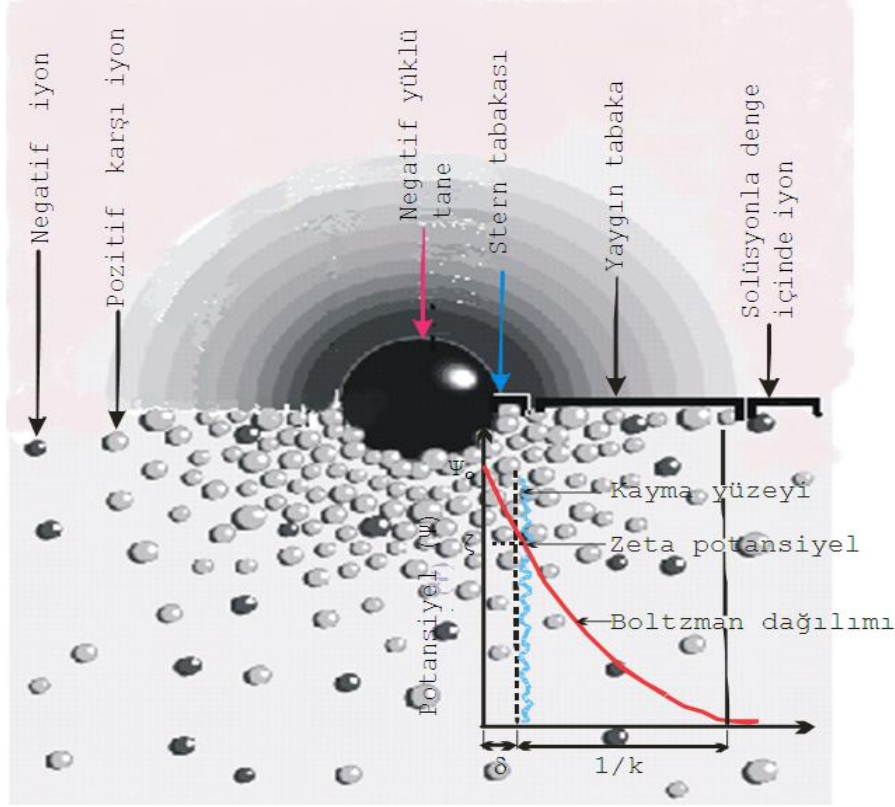
Bu analiz teknikleri içerisinde özellikle ülkemizde pek uygulama alanı bulamayan tekniklerden biri de zeta potansiyeldir. Zeta potansiyel kavramı yaklaşık yüz yıl öncesinde ortaya çıkmıştır. O yıllarda cihaz hassas bir yapıda olduğu için özel siparişe elde edilmekteydi. Ancak günümüzde çimento [1, 2, 3, 4 ve 5], puzolan [6, 7, 8 ve 9], kil ve çeşitli mineraller [10, 11, 12, 13, 14 ve 15], kimyasal katkıları [16, 17, 18, 19 ve 20], doğal fiber [21] gibi birçok alanda kullanım imkânı bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kolloid (1 nm - 10 µm)’den iri boyuttaki tanelere kadar malzemelerin davranışlarını araştırmak ve bir ürünü daha verimli kılabilmek için zeta potansiyel uygulamaları yapılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çimento sektöründe Dünya genelinde çok fazla kullanım alanına sahip olan zeta potansiyel ve uygulamaları ile ilgili bilgiler yoğun olarak araştırılmaktadır. Ancak ülkemizde çok fazla kullanım imkânı bulamamıştır. Bu nedenle çimento ve beton sektöründe yeterince yer alamamış olan zeta potansiyelin önemini vurgulayabilmek ve sektöre zeta potansiyeli tanıtılabilmek için bu araştırma yapılmıştır.

3. ZETA POTANSİYEL (ZETA POTENTIAL)

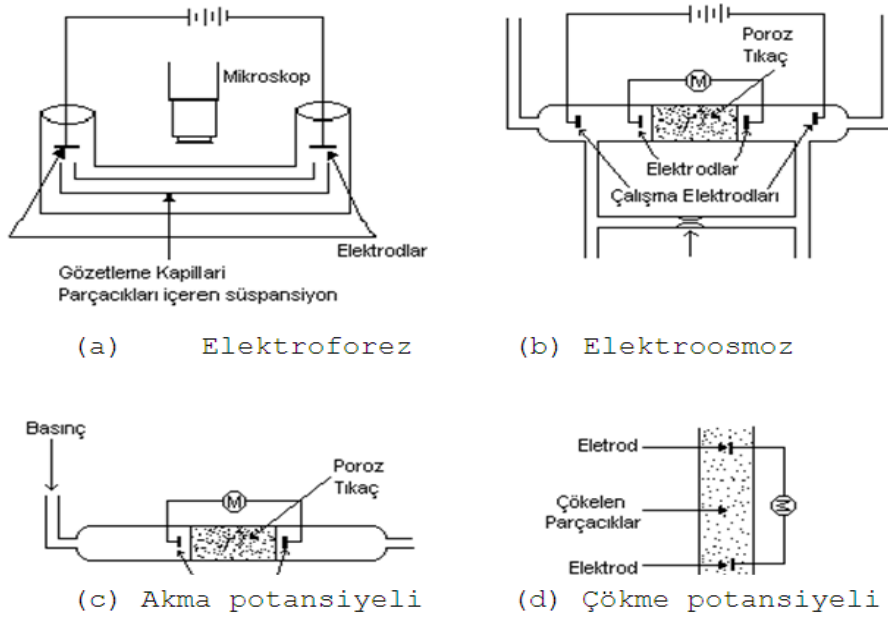
Zeta potansiyel, koagülasyon (taneler arası çekim) ya da dispersiyon (dağılma) mekanizmaları ile ilgili ayrıntılı bilgi vermektedir. Su içerisinde belli bir yük kazanan tane, süspansiyon içerisindeki karşı yükteki iyonları çekmektedir. Buna bağlı olarak yüklü tanenin yüzeyinde güçlü bir bağ yüzeyi ve dışa doğru yayılmış bir yüzey oluşmaktadır. Tane yüzeyi ile bu yüzeye adsorblanmış iyon tabakası, kondansatörün tabakalarına benzediği için bu yapıya “elektriksel çift tabaka” denilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Elektriksel çift tabaka [17]
(Figure 1. Electric double-layer model [17])

Yayılmış bu tabaka içerisinde "kayma yüzeyi" diye adlandırılan bir sınır bulunmaktadır. Sıvı içerisine uygulanan elektrik akımına göre yüklü tane ve onun etrafında bulunan iyonların kayma yüzey sınırına kadar olan kısım, tek bir parça olarak hareket etmektedir. Bu kayma yüzeyindeki ölçülebilen potansiyel "zeta potansiyel" olarak isimlendirilmekte ve hem tanenin yüzey yapısından hem de içinde bulunduğu sıvının içeriğinden etkilenmektedir [22, 23, 24, 25, 26 ve 27]. Tanelerin polar sıvılar içerisindeki davranışlarını yüzeylerindeki elektrik yükü değil, zeta potansiyel değerleri belirlemektedir.

Kayma yüzeyini oluşturan suyun da tane ile beraber hareket etmesi nedeniyle yüzeyde ölçülemeyen potansiyel, bu tabakada ölçülen potansiyelden çok az farklıdır. Bu nedenle yüzeyin biraz dışında ölçülen potansiyel olan zeta potansiyel yüzey potansiyeli olarak adlandırılabilir. Zeta potansiyel Elektroforez, Elektrosmoz, Akma Potansiyeli ve Çökme Potansiyeli olarak dört temel teknikle ölçülmektedir (Şekil 2) [23 ve 28].



Şekil 2. Zeta potansiyel ölçümlerinde kullanılan dört ana teknik [23]
(Figure 2. The four main techniques used in the zeta potential
measurements [23])

- **Elektroforez:** Sistemde yüklü parçacıklar sıvı içerisinde asılı halde duruyorsa ve sisteme bir elektrik alanı uygulanırsa, parçacıklar hareketsiz sıvı içerisinde hareket ederler. Buna "elektroforez" denir. Şiddeti bilinen bir elektrik alanı içerisindeki yüklü parçacığın hızının ölçülmesi, parçacığın net elektrik yükü veya yüzey potansiyeli hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır (Şekil 2.a).
- **Elektroosmoz:** Uygulanan elektrik alana göre sıvının, yüklü ve hareketsiz kapileri veya poroz tıkaç formundaki katıdan geçerek hareket etmesine "Elektroosmoz" denir. Sıvı hareket hızının ölçülmesi ile sabit duran yüklü duvarın net elektrik yükü veya elektrik potansiyeli hakkında bilgi elde edilmektedir (Şekil 2.b).
- **Akma potansiyeli (Streaming potential):** Akma potansiyeli, elektrolitin bir kapiler veya poroz tıkaç içerisinde geçiş zorlanmasıyla oluşmaktadır. Kapiler veya tıkaç net bir yük taşımakta ve akışla birlikte potansiyel farkı oluşmaktadır. Bu potansiyel yük (şarj) ters iletkenlik, iyon difüzyonu ve daha az olarak elektroosmoz tarafından mekanik taşınmaya karşı çıkmaktadır. Bir galvanometre aracılığı ile kapilerin veya poroz tıkaçın uçları arasındaki potansiyel farkı ölçülerek yüzeydeki elektrik yükü ve potansiyeli hakkında bilgi edinilir. Bu elektroosmozun tersidir (Şekil 2.c).
- **Çökme potansiyeli (Sedimentation potential):** Yüklü parçacıkların gravite veya santrifüj kuvvetin etkisi altında hareketsiz sıvı içerisinde çökmesi ile oluşan potansiyel farkına "Çökme Potansiyeli" denir. Bu elektroforezin tersidir (Şekil 2.d).

Bu tekniklerden en çok kullanılanı elektroforez yöntemidir ve tanelerin hızının tanımlanmasını sağlamaktadır. Tanelerin hızları mikro elektroforez cihazı ile ölçülebilmektedir [17]. Bunun için mineral taneleri kararlı bir süspansiyon halinde ve mikroskop altında görülebilecek durumda olmalıdır.

Mikroelektroforez cihazı, bir mikroskopun görüş alanına yerleştirilmiş yatay durumdaki ince yassı bir cam hücreden oluşur. Hücrenin her iki ucunda platin (Birisini molibden olabilir) elektrotlar

bulunur. Platin elektrotlar 0,001-0,01 mol/dm³ konsantrasyona kadar uygundur. Aksi halde Cu/CuSO₄ veya Ag/AgCl elektrolitleri kullanılarak gaz oluşumu engellenebilir [22 ve 23].

10 µm'nin altına öğütülmüş mineral tanelerinden belirli bir miktar alınarak belirli bir miktar suyun içerisine aktarılıp, pH'sı ayarlanır. Bu sırada çözünme olmaması gerekir. Eğer çözünme varsa denge oluncaya kadar bekletilir, cam hücreye doldurulup hücre aletteki yerine konur ve elektrotlar da bu hücredeki yerlerine hava kabarcığı kalmayacak şekilde takılır. Hücre aydınlatılarak mikroskopta görüş alanı saptanır. Bu sırada hücre içerisinde tane çökmesinin olup olmadığı kontrol edilir, çökme ancak iri tane olması durumunda söz konusudur, elektrotlardan potansiyel ancak solüsyonun sabit olması durumunda verilebilir. Eğer solüsyon dengede değilse bir süre beklenerek dengeye gelmesi sağlanır. Elektrotlar aracılığı ile sisteme belirli bir potansiyel uygulandığında hücredeki kolloidal taneler, yüzeylerindeki net elektrik yükünün tersi işareti taşıyan elektrot yönünde hareket ederler. Hareketin hızı, mikroskobun okülerinde bulunan retikül çizgilerinden, tanenin kat ettiği yol ve alete bağlı kronometre ile bu yolu kat ediş zamanı ölçülerek bulunur [22 ve 23].

Sisteme potansiyel uygulandığında, yüklü tanecikler hareket ederken genellikle belli bir yüzey yüküne sahip olan cam tüp hücreye bağlı olarak (elektroosmoz nedeniyle), sıvı da hareket eder. Tüp civarındaki sıvı akışı hücre tamamen kapalı olduğundan ters yönde bir akış ile dengelenir. Böylece sıvı akımıyla birlikte taneler de hareket eder. Ters yöndeki akış hızı tüpün merkezinde maksimumdur ve tüpün içinde parabolik bir değişim gösterir. Bu parabol üzerinde öyle bir yer vardır ki her iki yöne doğru olan sıvı akışı birbirini dengeleyerek elektroosmozun etkisini yok ederek akış hızını sıfır yapar. İşte bu noktaya "Stationary level" ya da "Hareketsiz seviye" denir. Hücrenin yapısına göre bu seviye değişmektedir. Silindirik bir hücre için bu seviye hücre duvarından itibaren hücre iç çapının %14,6'sı kadar mesafede iken, dikdörtgen kesitli bir hücre için genişliğin %20,4'ü kadar mesafededir. Bu durumda tüp içerisinde gözlenen taneciğin ölçülen hızının elektroosmozdan etkilenmemesi için tüm ölçümlerin bu seviyede yapılması gereklidir. Bu seviyeye, cihazda bulunan mikro metrik vida yardımıyla ayarlama yapılır. Bu şekilde yaklaşık 10 ölçüm yapılır ve bu ölçümlerden uç değerler atılarak, bulunan ortalama zamandan tanelerin hızlarından ve uygulanan potansiyelle bağlı olarak cihazın mikroişlemcisi yardımıyla direkt cihazdan zeta potansiyel okunur [22 ve 23].

Ölçülen elektroforetik hareketlilikten yararlanarak, mineralin zeta potansiyelinin hesaplanmasında, eşitlik 1, 2 ve 3'teki Helmholtz-Smoluchawski eşitliğinden yararlanılmaktadır.

$$U = \frac{v}{E} = \frac{D\zeta}{4\pi\eta} \quad (1)$$

$$v = \frac{x}{t} \quad (2)$$

$$E = \frac{V}{L} \quad (3)$$

Burada;

U: Tanenin hareketliliği (µsn⁻¹.cm.volt⁻¹),

v: Tanenin hareket hızı (µsn⁻¹),

E: Uygulanan elektrik alan (cm.volt⁻¹),

D: Suyun dielektrik katsayısı,

ζ: Zeta potansiyel (mili volt),

η : Sıvının viskozitesi,
 x : Tanenin kat ettiği yol (μ),
 t : Tanenin x yolunu kat ediş zamanı (sn),
 V : Elektrotlara uygulanan gerilim (Volt),
 L : Elektrotlar arası uzaklık (cm) ifade edilmektedir.

Yukarıdaki denklemde sabit katsayılar yerine konup gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$25 \text{ }^\circ\text{C derecede } \zeta = 12.83 \times U \quad (4)$$

$$20 \text{ }^\circ\text{C derecede } \zeta = 14.10 \times U \quad (5)$$

eşitlik 4 ve 5 şeklinde belirlenmektedir [22, 23, 24, 25, 26 ve 27].

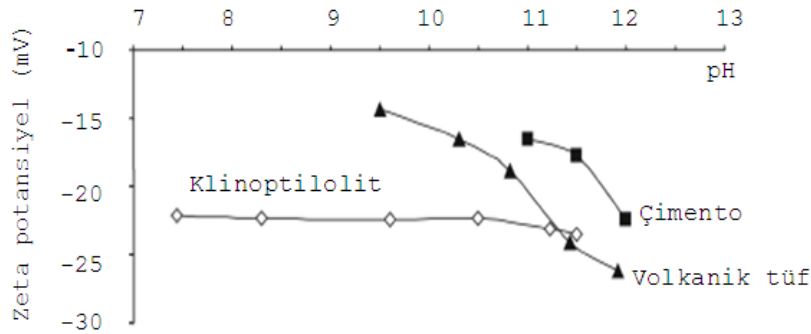
4. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE ZETA POTANSİYEL UYGULAMALARI (ZETA POTENTIAL APPLICATIONS IN CEMENT SECTOR)

Üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı puzolanik malzemelerin çimento ile uyumlarının tanımlanabilmesi açısından en önemli faktörlerden biri, malzemelerin yüzey yüklerinin bilinmesidir. Puzolanların büyük bir bölümünü oluşturan mineraller polar sulu ortam ile temasa geçtiklerinde yüzeylerinde yükler oluşmaktadır. Bu yükler mineral yüzeylerindeki iyon dağılımını etkilemektedir. Aynı yüklü iyonlar itilirken, farklı yüklü iyonlar yüzeye doğru çekilmektedir. Böylece biri mineral yüzeyinde diğeri de sulu fazda olmak üzere iki tabaka şeklinde elektriksel çift tabaka oluşmaktadır. Bu tabakada yani mineral yüzeyinde bulunan iyonlar, mineral ile birlikte hareket etmekte ve aynı zamanda hidrate olmaktadır. Bu tabakada ölçülen potansiyele zeta potansiyel denilmektedir. Zeta potansiyel her ne kadar yüzey potansiyeline eşit olmasa da, yüzey potansiyeli hakkında çok önemli değerler vermekte ve çimento biliminde kullanılmaktadır [2, 3, 4, 18, 19, 29 ve 30]. Zeta potansiyel değerleri mineral içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Buna göre, çimentonun yüzey yükü genellikle negatif [27, 20 ve 31], ancak yapısına göre pozitif [3, 4 ve 20] de olabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda çimento harçlarının dayanımlarında, taneciklerin koagülasyon veya flokülasyon özellikleri için zeta potansiyelin ± 25 mV aralığında olması gerektiği belirtilmiştir [17 ve 32]. Bu durum dikkate alındığında çimento harcında, katkı malzemesi olarak kullanılacak puzolanların çimento ile birlikte zeta potansiyelinin belirlenmesi, taneciklerin uyumluluğu açısından önemlidir. Çimento ve puzolanlarla ilgili literatürde birçok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalarla taneler arasındaki etkileşimler araştırılmış ve minerallerin zeta potansiyelce birbiri ile uyumlu olup olmadığı yorumlanmıştır.

Çimento ile ilgili olan çalışmalarda, Hodne (2000) vd. zeta potansiyelin zamana bağlı olarak mutlak değerce azaldığını ve sıfıra yaklaştığını ayrıca sudaki kalsiyum iyonuna bağlı olarak zeta potansiyelin pozitif doğru yaklaştığını tespit etmişlerdir [1]. Yoshioka (2002) vd. yapmış oldukları çalışmada DLVO teorisine göre çimentonun stabil dispersiyonu için zeta potansiyelinin mutlak değer olarak -25 mV'dan daha düşük değerde olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca çimentoda bulunan C_3S ve C_2S 'in negatif, C_4A ve C_4AF 'nin ise pozitif olduğunu ve zamana bağlı olarak değiştiğini tespit etmiştir [20]. Viallis (2001) kalsiyumun, çimento için potansiyel belirleyen iyon olduğunu belirtmiştir. Düşük kalsiyum konsantrasyonlarında SiO_2 gruplarının pH 10,5-11 arasında kısmen iyonize olduğunu ve eğer özellikle adsorbe olmuş karşıt iyonlar yoksa negatif zeta potansiyel olduğunu belirtmiştir. Yüksek kalsiyum konsantrasyonlarında ise kalsiyum adsorbsiyonunun negatif şarjı kısmen karşıladığını ve pozitive doğru yönelttiğini ifade etmiştir. Ayrıca OH iyonlarının difüzyon tabakasının sıkışmasından kaynaklandığını belirtmiştir [33]. Zhang (2001) vd. yapmış oldukları çalışmada çimento su ile karıştırıldığında Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} gibi iyonların pozitif yüzey yüküne,

SiO_4^{4-} , AlO_3^{3-} gibi iyonların ise negatif yüzey yüküne neden olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda PÇ ile yapmış oldukları çalışmada zeta potansiyelinin -7 mV ile -12 mV arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [3]. Yang, (1998) vd. yapmış oldukları çalışmada çimentonun zeta potansiyelini -12 mV ile -15 mV arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca 30 mV'un altındaki çimento süspansiyonlarının dengede olduğunu ifade etmişlerdir [17]. Nachbaur (1998) vd. yapmış oldukları çalışmada çimentonun koagülasyonunun Ca^{2+} içeriğine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Kuvvetli koagülasyonun 1-100 mmol/l arasında olduğunu ifade etmişlerdir. Yine düşük kalsiyum konsantrasyonunda zeta potansiyelinin negatif olduğu ve süspansiyonun çok iyi dağıtılmış olduğunu belirtmişlerdir [4]. Koçak vd. yapmış oldukları çalışmada Portland çimentosunun zeta potansiyelini pH 11 civarında -30 mV, pH 12 civarında -17 mV civarında olduğunu belirlemişlerdir [6].

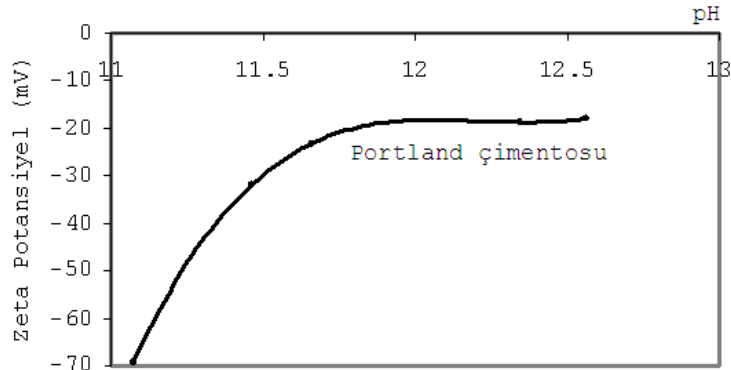
Mineral katkılarla çimento uyumunu belirlemek için yapılan araştırmada Yılmaz ve diğerleri [8] Portland çimentosu, volkanik tüf ve klinoptilolitinin çeşitli pH aralıklarındaki zeta potansiyellerini belirlemişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Çimento, volkanik tüf ve klinoptilolitinin zeta potansiyelleri [8]

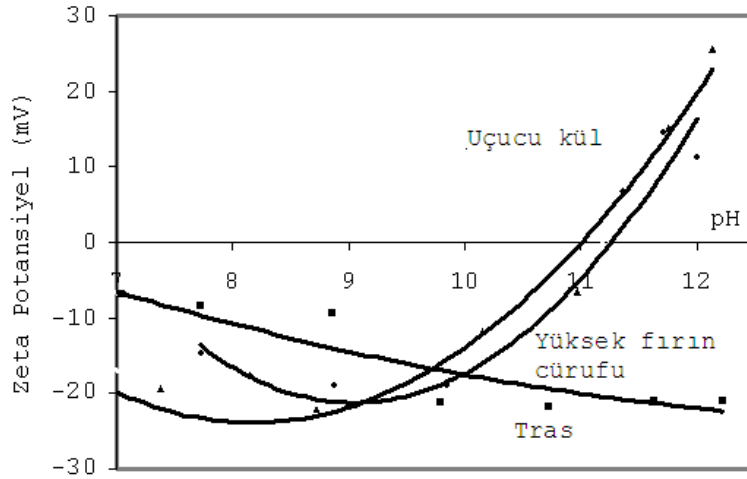
(Figure 3. Zeta potentials of cement, volcanic tuff and clinoptilolite [8])

Buna göre çimentonun zeta potansiyeli pH 11 civarlarında -15 mV, pH 12 civarlarında ise -22 mV aralıklarında ölçülmüştür. Zeolitin ise pH 8-11,5 aralığında yaklaşık -23 mV civarında olduğu belirlenmiştir. Volkanik tüfün zeta potansiyeli ise pH 9,5 civarında -14 mV, pH 12 civarında -27 mV aralığında ölçülmüştür. Dorum vd. [7] Portland çimentosu (Şekil 4), tras, yüksek fırın cürufu ve uçucu külün (Şekil 5) çeşitli pH aralıklarındaki zeta potansiyellerini belirlemişlerdir.



Şekil 4. Portland çimentosunun zeta potansiyeli [7]

(Figure 4. Zeta potential of Portland cement [7])



Şekil 5. Trass, yüksek fırın cürufu ve uçucu külün zeta potansiyelleri [7]
(Figure 5. Zeta potentials of trass, blast furnace slag and fly ash [7])

Buna göre portland çimentosunun ve trassın tüm pH aralıklarında negatif değerliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Portland çimentosunun pH 11 civarında -70 mV, pH 12 civarında -20 mV civarında, trassın ise pH 9 civarında -12 mV, pH 12 civarında ise -20 mV civarında olduğu belirlenmiştir. Yüksek fırın cürufunun zeta potansiyeli pH 9 civarında -20 mV'dan pH 12 civarında +13 mV civarında, uçucu külün ise pH 9 civarında -20 mV'dan pH 12 civarında +16 mV civarında olduğu tespit edilmiştir. Alkan vd. perlitin doğal pH da negatif yüzey yüküne sahip olduğunu diğer pH'larda da (1,5-10) negatif yüzey yükünün arttığını belirtmişlerdir [5]. Yang vd. süper akışkanlaştırıcı ve su azaltıcı katkıların, zeta potansiyeli negatif yüzey yükü olarak arttırdığını tespit etmiş ve bu sonuçların literatürle de benzeştiğini belirlemişlerdir [17].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Çimento sektöründe özellikle enerji tasarrufunu ve CO₂ emisyonunu azaltmak için mineral katkıları vazgeçilmez bir unsur olarak yerini almaktadır. Aynı zamanda beton sektöründe de dayanım ve dayanıklılığı yüksek olan kaliteli betonlar üretilmek istenmektedir. Bunları sağlayabilmek için de çimento ve betonda kullanılan kimyasal ve mineral katkılarıyla çimento taneleri arasında uyumun ya da uyumsuzluğun belirlenmesi olumlu sonuçlara neden olacaktır. Mineral katkıların çimento ile uyumlarının belirlenmesinde yüzey yüklerinin bilinmesi önemlidir. Bu da zeta potansiyel ile belirlenmektedir. Taneler arasındaki uyum ya da uyumsuzluğun belirlenmesiyle üretim sonrası sorunların başlangıç aşamasında çözülmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda zeta potansiyel yardımıyla kimyasal katkıları kullanılarak da uyumsuz olan yüzey yükünün istenilen hale getirilmesi de mümkün olabilmektedir. Bu da istenilen özellikte ve kalitede bir üretim sağlanmasına katkı sağlayacaktır. Ancak zeta potansiyel tek başına yeterli bir analiz yöntemi değildir. Malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik yapısı da önemlidir. Zeta potansiyelden elde edilen bilgiler ışığında standart çimento ve beton deneyleri ile diğer analiz tekniklerinin de yapılarak zeta potansiyel bulgularının desteklenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hodne, H. and Saasen, A., (2000). The effect of the cement zeta potential and slurry conductivity on the consistency of oilwell cement slurries. *Cement and Concrete Research*. Volume:30, pp:1767-1772.
2. Terrisse, H.V. Nonat, A., and Petit J.C., (2001). Zeta-potential study of calcium silicate hydrates interacting with alkaline cations. *Journal of Colloid Interface Science*. Volume:244, Number:1, pp:58-65.
3. Zhang, T., Shang, S., Yin, F., Alishah, A., Salmiah, A., and Ooi, T.L., (2001). Adsorptive behavior of surfactants on surface of portland cement. *Cement and Concrete Research*. Volume:31, Number:7, pp:1009-1015.
4. Nachbaur, L., Nkinamubanzi, P.C., Nonat, A., and Mutin, J.C., (1998). Electrokinetic properties which control the coagulation of silicate cement suspensions during early age hydration. *Journal of Colloid Interface Science*. Volume:202, Number:2, pp:261-268.
5. Castellote, M., Llorente, I., and Andrade, C., (2006). Influence of the composition of the binder and the carbonation on the zeta potential values of hardened cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. Volume:36, pp:1915-1921.
6. Koçak, Y., Dorum, A., Yılmaz, B. ve Uçar, A., (2010). Trasin çimento yüzey özelliğine, hidrasyona ve basınç dayanımına etkisi. *e-Journal of New World Sciences Academy*. Volume:5, Number:1, pp:1-14.
7. Dorum A., Yılmaz, B., Koçak, Y. ve Uçar, A., (2010). Puzolan Yüzey Özelliklerinin Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *e-Journal of New World Sciences Academy*. Volume:5, Number:2, pp:448-462.
8. Yılmaz, B., Ertün, T., Uçar, A., Öteyaka, B. ve Önce, G., (2009). A study on the effect of zeolites (clinoptilolite) on volcanic tuff blended cement paste and mortars. *Magazine of Concrete Research*. Volume:61, Number:2, pp:133-142.
9. Elakneswaran, Y., Nawa, T., and Kurumisawa, K., (2009). Zeta potential study of paste blends with slag. *Cement & Concrete Composites*. Volume:31, pp:72-76.
10. Chassagne, C., Mietta, F., and Winterwerp, J.C., (2009). Electrokinetic study of kaolinite suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*. Volume:336, pp:352-359.
11. Tekin, G., (2004). Perlit ve sepiyolit'in amonyumheptamolibat ile modifikasyonu ve elektrokinetik özellikleri. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*. 6 (2): ss:35-49.
12. Gence, N., Özbay, N. ve Yerel, S., (2006). Magnezit ve dolomit minerallerinin elektrokinetik potansiyeli ile pH arasındaki istatistiksel ilişki. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*. 18(3), ss:397-401.
13. Kim, J-Y. and Sansalone, J.J., (2008). Zeta potential of clay-size particles in urban rainfall-runoff during hydrologic transport. *Journal of Hydrology*. Volume:356, pp:163- 173.
14. Akın, Y. ve Çelik, M.S., (1995). Montmorillonit Tipi killerin elektrokinetik davranışı. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*. ss:135-142.
15. Alkan, M., Karadaş, M., Doğan, M. ve Demirbaş, O., (2005). Zeta potentials of perlite samples in various electrolyte and surfactant media. *Colloids and Surfaces. A: Physicochem. Eng. Aspects*. Volume:259, pp:155-166.

16. Yerel, S., Özbay, N., Gence, N., (2005). Sulu ortamda kromit ve serpantin mikroeletroforetik davranışı üzerine pH'ın etkisi. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 17(2), ss:435-441.
17. Yang, M., Neubauer, C.M., and Jennings, H.M., (1998). Interparticle potential and sedimentation behavior of cement suspensions: effects of admixtures. Advanced Cement Based Materials. Volume:8, Number:1, pp: 17-27.
18. Plank, J. and Hirsch, C., (2007). Impact of zeta potential of early ncrete Research. Volume:37, Number:4, pp:537-542.
19. Kong, H.J., Bike, S.G., and Li, V.C., (2006). Electrosteric stabilization of concentrated cement suspensions imparted by a strong anionic polyelectrolyte and a non-ionic polymer. Cement and Concrete Research. Volume:36, Number:5, pp:842-850.
20. Yoshioka, K., Tazawa, E., and Kawai, K., Enohata, T., (2002). Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. Cement and Concrete Research. Volume:32, Number:10, pp:1507-1513.
21. Bellmann, C., Caspari, A., Albrecht, V., Loan Doan, T.T., Mader, E., Luxbacher, T., and Kohl, R., (2005). Electrokinetic properties of natural fibres. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. Volume:267, pp:19-23.
22. Uçar, A., (1995). Fluorit flatasyonuna yüzey özelliklerinin etkisi. Doktora Tezi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. Ss:11-22.
23. Uçar, A., (2004). Kolloid ve yüzey kimyası. Ders Notu. Kütahya. ss:138-155.
24. Shaw, D.J., (1970). Introduction to colloid and surface chemistry. Buttenvorths. pp: 231.
25. Fuerstnau, M.C., Miller, J.D., and Kuhn, M.C., (1984). Chemistry of flotation, society of mining engineers. AIME. New York. pp:177.
26. Fuerstnau, D.N., Chander, S., (1985). Thermodynamics of flotation, advances in mineral processing. Arbiter Symposium. New Orleans, Louisiana. pp:121-136.
27. Mackenzie, J.M.W., (1971). Zeta potential studies on mineral processing measurement techniques and applications. Min. Sci. Engrs. pp:25-43.
28. Delgado, A.V., González-Caballero, F., Hunter, R.J., Koopal, L.K., and Lyklema, J., (2007). Measurement and interpretation of electrokinetic phenomena. Journal of Colloid and Interface Science. Volume:309, pp:194-224.
29. Nägele, E. and Schneider, U., (1989). "From cement to hardened paste-an elektrokinetic study. Cement and Concrete Research. Volume:19, Number:6, pp:978-986.
30. Labbez, C., Nonat, A., Pochard, I., and Jönsson, B., (2007). Experimental and theoretical evidence of overcharging of calcium silicate hydrate. Journal of Colloid Interface Science. Volume:309, Number:2, pp:303-307.
31. Yılmaz, B., Ertün, T., Uçar, A., Öteyaka, B., and Önce, G., (2009). A study on the effect of zeolites (clinoptilolite) on volcanic tuff blended cement paste and mortars. Magazine of Concrete Research. Volume: 61, Number:2, pp:133-142.
32. Termkhajornkit, P., and Nawa, T., (2004). The fluidity of fly ash-cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer. Cement and Concrete Research. Volume:34, Number:6, pp:1017-1024.

33. Viallis-Terrisse, H., Nonat, A., and Petit, J.C., (2001). Zeta-Potential study of calcium silicate hydrates interacting with alkaline cations. *Journal of Colloid and Interface Science*. Volume:244, Number:1.1, pp:58-65.