

## Research Article / Araştırma Makalesi

AN INVESTIGATION OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY CHEMICAL  
TREATMENT SLUDGE APPLICATION ON BRICK MANUFACTURING IN  
TERMS OF PRODUCT QUALITYErdem USLU<sup>\*1</sup>, Edip AVŞAR<sup>2</sup>, İsmail TORÖZ<sup>2</sup><sup>1</sup>Kilsan A.Ş. Ar-Ge Laboratuvarı, Kemerburgaz-İSTANBUL<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak-İSTANBUL

Received/Geliş: 31.08.2009 Revised/Düzeltilme: 13.09.2010 Accepted/Kabul: 05.10.2010

## ABSTRACT

Disposal of the chemical treatment sludge as a component of the stable road or construction materials is one of the research area that lots of studies are being carried out. For this scope, application of the automotive industry chemical sludge to the brick material as an additive is an important research area for both of the product quality and alternative disposal method. Aim of this study is the determining the effect of the sludge additive on the brick quality. For this purpose laboratory scale brick manufacturing was implemented by using original production formula, original formula plus 5% sludge mixture and original formula plus 10% sludge mixture. At the end of the experimental period no negative effect of the sludge addition was determined. Only one necessity is the determination of the original formula plus 10% sludge mixture's behavior on the operation conditions after drying period. But determining the sludge addition step or steps is the subject of another research. Humidity of the mixture is an important factor to provide the proper mixing and homogenous mixture. High humidity contents makes mixing more complex and also additional equipment is required.

**Keywords:** Recovery, treatment sludge, automotive industry, brick manufacturing.

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ KİMYASAL ARITMA ÇAMURLARININ TUĞLA ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ÜRÜN KALİTESİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Kimyasal arıtma çamurlarının yol ve yapı malzemeleri gibi stabil haldeki malzemelerin içinde bir bileşen olarak bertaraf edilmeleri konusunun, literatürde çok sayıda araştırmalarla ortaya konulmaya çalışıldığı görülmektedir. Bu kapsamda, bir otomotiv fabrikasında ortaya çıkan kimyasal arıtma çamurlarının, inşaat malzemesi olarak kullanılan tuğla içinde bir bileşen olarak kullanılarak, atığın bertarafının yanısıra istenilen kalitede ürün elde edilip edilmediğinin araştırılması, günümüzde dikkat çeken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, otomotiv sanayi kimyasal arıtma çamurlarının tuğla üretiminde hammadde bileşeni olarak kullanılması durumunda, ürün kalitesinde olabilecek değişikliklerin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla, kimyasal arıtma çamuru, hammadde bileşeni olarak %5 ve %10 oranlarında katılmak suretiyle laboratuvar ölçekli tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçta, %10 atık çamur katkısı ile hazırlanan deney karışımının kuruma sonrası işletme şartlarında performansının ne şekilde olacağı belirlenmesi gerekliliği dışında herhangi olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Ancak, karışımın hangi safha ya da safhalarda gerçekleştirileceğinin ayrı bir araştırma konusu olduğu, sağlıklı bir karıştırma ve homojen bir karışım elde edilebilmesi için, karışım hammaddesinin rutubet içeriğinin de önem arz ettiği, atık çamurun içerdiği yüksek rutubetin karıştırma işlemini güçleştirdiği, rutubetli olarak karıştırılabilmesi için karışım yüzdesine de bağlı olarak ek teçhizat gerektirdiği bulunmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Geri kazanım, arıtma çamurları, otomotiv endüstrisi, tuğla üretimi.

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: erdemu@kilsan.com, tel: (212) 206 52 06

## 1. GİRİŞ

Günümüzde çevresel açıdan artan farkındalık, sivil toplum kuruluşlarının artan sosyal tepkileri, otoritenin aldığı çevrenin korunmasına yönelik önlemler ve artan üretim maliyetleri sebebiyle oluşan ekonomi bazlı üretim kavramı, üreticileri her geçen gün çevresel yatırımlarını arttırmak ve üretimlerini daha çevreci hale getirme hedefine yönlendirmektedir. Bu yönlendirmenin, sadece çevre kirliliğinin önlenmesine yönelik önlemler olarak kalmadığı, bunun yanında atıkların değerlendirilmesi ile çeşitli kazanımlar elde etmeye yönelik araştırma geliştirme çalışmalarını da kapsadığı görülmektedir. Bu kapsamda, endüstriyel arıtma çamurlarının bertarafında depolama yerine alternatif diğer yöntemlerin kullanılması konusunda yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Bir sektörün atığının diğer bir sektörde hammadde ya da hammadde eki olarak kullanılması ülkemizde de uygulamaya girmiş, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği koordinatörlüğünde uygulanan alternatif bir yöntemdir. Böylelikle atıklar ikincil hammadde olarak kullanılmak suretiyle atık miktarı ve bertaraf maliyetleri azaltılmaktadır. Bu durum, hem atık üreten hem de bu atığı prosesinde kullananlar için karşılıklı yarar sağlamak ve literatürde win-win strategy olarak geçen karşılıklı kazanımlı bir strateji oluşturmaktadır. Tuğla üretiminde arıtma çamurlarının hammadde eki olarak kullanılması üzerine dünya çapında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların hepsinde varılan ortak sonuç; arıtma çamurlarının belli oranda hammaddeye karıştırılması sonucunda elde edilen ürünün kalite yönünden ve çevresel yönden herhangi bir tehlike teşkil etmediğidir. Weng et.al., 2003 tarafından yapılan çalışmada çamur ya da çamur külünün tuğla ya da seramik yapımında ek hammadde olarak kullanılmasıyla beklenen yararlar; ısı matris sayesinde çamur bünyesinde olabilecek ağır metallerin tuğla yapısı içinde hapsedilmesi, çamur yapısındaki organik maddenin okside olması, ısı işlem sırasında çamur bünyesindeki patojenlerin giderilmesi olarak özetlenerek ve çamurun hammadde katkısı olarak kullanılması yoluyla tuğla üretiminde en iyi şartların %10 çamur %24 nem içeren hammaddenin 880-960 °C'de pişirilmesiyle elde edildiği rapor edilmektedir [1]. Feenstra et.al., 1997 tarafından yapılan çalışmada içme suyu arıtma çamurunun tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılması araştırılmıştır. Deneme üretiminde sudaki demirin tuğlanın kuruma özellikleri üzerinde pozitif etkisi olduğu görülmüştür. Kuruma sırasındaki kırılmaların ve büzülmenin normal üretime göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Ürün incelendiğinde daha iyi bir kırmızı renk elde edildiği belirtilmektedir. Deneme üretiminde bir negatif nokta olarak sıkışma dayanımının normale oranla hafif miktarda düştüğü ancak bu durumun proseste modifikasyonlarla giderilebileceği rapor edilmektedir. Ekonomik yönden bakıldığında içmesuyu arıtma çamurunun tuğla üretiminde kullanımı sırasındaki susuzlaştırma da dahil maliyet, arıtma maliyetinden 2 kat düşüktür. Deneme üretimi sonucundaki pozitif kazanımlar ışığında uygulamaya geçildiği belirtilerek Hollanda Çevre ve İskan Bakanlığının içmesuyu arıtma çamurunun atık olarak değil bir hammadde olarak değerlendirilip kullanılabilmesi konusunda bir deklarasyon yayınladığı rapor edilmektedir [2].

Bu çalışma ile otomotiv sektörü arıtma çamurlarının tuğla üretiminde hammadde eki olarak kullanılması durumunda ürün kalitesi üzerine olabilecek potansiyel etkilerin ve kullanım sınırlarının belirlenmesi amacıyla laboratuvar ölçekli çalışmalar yürütülmüştür.

## 2. MATERYAL VE METOD

Çalışmanın ilk safhasında otomotiv tesisinin atıksu kaynakları ve atıksuyun özellikleri incelenmiş, daha sonra atıksu arıtma prosesi ve arıtma sonucunda oluşan çamur, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) Ek-6 ya göre analiz edilmek suretiyle karakteri ortaya konulmuştur.

Otomotiv tesisi bünyesindeki boyahane, kaynak fabrikası, yakıt deposu boyama prosesi ve tampon fabrikası hatlarından gelen metalik ve yağlı atıksular kimyasal arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Kimyasal arıtmada, koagülasyon flokülasyon prosesi ile atıksu içinde bulunan ağır metaller çöktürülmektedir. Çöktürme tankında oluşan çamurlar pompa vasıtasıyla santrifüj çamur susuzlaştırma sistemine iletilerek burada suyu alınmaktadır.

Kimyasal arıtma çamurunun TAKY Ek-6'ya göre analizi Tübitak-Mam Kimya ve Çevre Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda çamur bünyesindeki ağır metallerin TAKY Ek-5 kapsamında olduklarından tehlikeli olarak nitelendirilmekle birlikte çamur içindeki miktarları TAKY Ek-6'da belirtilen eşik konsantrasyonlarının oldukça altındadır. Bu nedenle çamurun tehlikeli atık olmadığı belirtilmiştir [3].

Çalışmanın ikinci aşamasında çamurun tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılmasının ürün üzerine etkisi ve kullanım sınırlarının tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla tuğla üretiminde kullanılmakta olan üretim reçetesi karışımının içerisine ağırlıkça %5 ve %10 oranlarına tekabül eden miktarda toz haline getirilmiş arıtma çamuru ilave edilerek 2 adet deney karışımı hazırlanmış ve laboratuvar tipi karıştırıcıda karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Karıştırma işlemi sırasında tüm deney karışımları tuğla üretim tesisinin araştırma standartları olan 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> şekillendirme sertliğine gelene kadar su ilavesi yapılmıştır. İstenilen şekillendirme sertliğine ulaşan deney karışımları ilave edilen suyun bünye içerisine homojen olarak yayılabilmesi amacıyla bir gün süre ile dış ortamdan izole edilerek bekletilmiştir. Hazırlanan deney karışımları ve üretim reçetesi karışımı laboratuvar tipi vakum preste şekillendirilerek, şekillenebilme kabiliyetleri araştırılmış ve deney numuneleri hazırlanmıştır. Ürüne yönelik analizler başlıca 3 başlık altında yapılmıştır.

**Şekillendirme aşaması:** Laboratuvar şartlarında üretilen yaş deney numunelerine; pfefferkorn analizi, penetrometre ile şekillendirme sertliği analizi, yaş yoğunluk analizi, plastiklik kabiliyeti analizi, şekillenebilme kabiliyeti analizi, yaş yoğunluk miktarı analizi ve kurutma hassasiyeti analizi yapılmıştır.

**Kurutma aşaması:** Şekillendirilen tüm deney numuneleri tam otomatik havalandırılmalı etüv yardımı ile sıfır rutubete ulaşana kadar kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulan deney numunelerine; kuru küçülmesi analizi, kuru yoğunluk miktarı analizi, kuru mukavemet miktarı analizi, denge rutubeti miktarı analizi, denge rutubeti sonrası kuru mukavemet analizi, kurumada eğilme miktarı analizi yapılmıştır.

**Pişirme aşaması:** Kurutulan numuneler laboratuvar tipi elektrikli fırında 180 °K/Saat ısıtma hızı ve pik ısıda 2 saat bekleyecek şekilde 860 – 880 – 900 °C ısılarda pişirme işlemine tabi tutulmuştur. Pişmiş numunelere; pişme küçülmesi analizi, toplu küçülme analizi, su emme analizi, bulk (gerçek) yoğunluk analizi, pişmede yüklü – yüksüz eğilme miktarı analizi, eğilme mukavemeti analizi, pişme rengi analizi, çiçeklenme analizi, black core oluşumu analizi, renk lekelenmeleri analizi, şişme – yapışma analizi, demir – feldspat erimesi analizi ve kireç patlaması analizi yapılmıştır.

Hazırlanan tüm deney karışımları ve üretim reçetesi karışımına, sıcaklık karşısında davranışlarının tam olarak karşılaştırılabilmesi amacıyla DTA (diferansiyel termal analiz) ve dilatometre analizleri yapılmıştır. Malzeme bünyesinde ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri DTA cihazı ile tespit edilmektedir. Özellikle seramik hammaddelerinin sıcaklık artışı ile uğradığı ağırlık kayıplarının ve bünyelerinde meydana gelen reaksiyonların hangi sıcaklıklarda meydana geldiği, reaksiyon cinsi ve şiddeti, böylelikle de hammaddelerin termal davranışları belirlenmektedir. Dilatometre cihazı ile de bir malzemenin sıcaklık karşısında bünyesinde meydana gelen boyutsal değişimler (genleşme ve büzülme) incelenmektedir [4,5].

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma şekillendirilmiş 3 farklı karışım ile yürütülmüştür. Bu karışımlardan orijinal üretim reçetesi karışımı A, orijinal reçeteye ağırlıkça %5 çamur ilavesi ile elde edilen karışım B, orijinal reçeteye ağırlıkça %10 çamur ilavesi ile elde edilen karışım ise C ile gösterilmiştir.

Çizelge 1. Şekillendirme aşaması deney sonuçları

| Parametreler                              | Karışımlar |       |       |
|---|------------|-------|-------|
|   | A          | B     | C     |
| Şekillendirme Rutubeti (% Kuru Baz)       | 25,50      | 28,70 | 31,30 |
| Pfefferkorn Yüksekliği (mm)               | 32,40      | 32,70 | 33,40 |
| h <sub>0</sub> /h <sub>1</sub>            | 1,23       | 1,22  | 1,20  |
| Penetrometre Değeri (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1,50       | 1,60  | 1,60  |
| Vakum Değeri (%)                          | 90,00      | 90,00 | 90,00 |

Tüm karışımlar şekillendirme işlemi öncesi 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> şekillendirme sertliğine gelecek şekilde ayarlanmıştır. Şekillendirme işlemi sonrası üretim reçetesi karışımının şekillendirme sertliği 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> değerinde sabit kalırken, diğer deney karışımlarının şekillendirme sertlikleri yükselmiştir. Bu yükselmenin sebebi; çamur bünyesindeki CaCO<sub>3</sub>'tür. Şekillendirme rutubeti miktarları incelendiğinde; çamurun karışım yüzdesinin artmasıyla ilave edilen şekillendirme suyunun da arttığı görülmüştür. Çamur içerisindeki CaCO<sub>3</sub>, karışımın su ihtiyacını arttırmaktadır. Tüm deney karışımlarının şekillenebilme kabiliyetleri iyi olmakla beraber çamur katkılı karışımların orijinal üretim reçetesi ile aynı şekillendirme sertliğine ulaşabilmesi için daha fazla su ilavesi gerekmektedir. Yüksek şekillendirme suyu içeriği de şekillendirme esnasında çeşitli şekillendirme problemlerine (üretilen yaş mamulün yumuşayarak kendini taşıyacak yaş mukavemeti kazanamaması, pres ağzından çıkarken gereken formu kazanamaması, v.b.) neden olabilir.

Karışımların şekillendirme aşamasının tamamlanmasından sonra kurutma aşamasına geçilmiştir. Kurutma işlemi nedeniyle karışımlarda meydana gelen kuruma küçülmesi miktarları incelendiğinde; çamur katkısı miktarının artmasına istinaden şekillendirme suyu miktarının da artmasına rağmen kuruma küçülmelerinde büyük bir farklılık olmadığı görülmüştür. Ancak çamur katkısı nedeniyle kurutma işlemi sonrası kazanılan yeşil yoğunluk değeri düştüğü gibi karışımdaki çamur miktarının artmasına paralel olarak kurutma işlemi sonrası kazanılan mukavemet değeri de düşmektedir. Karışımların kurutma hassasiyetlerinin tayin edilmesi için etüv içi 30 °C sıcaklığa ulaşan etüve deney numunesi yerleştirilir ve bir süre beklendikten sonra numune yüzeyinde herhangi bir çatlama, açılma olup olmadığı tespit edilir.

Şayet herhangi bir çatlama ya da açılma gibi bir etki gözlenmemişse 10'ar derecelik sıcaklık artımları ile çatlama, açılma gibi bir etkinin olduğu sıcaklık tespit edilir. Bu tepkilerin olduğu sıcaklığın 10 derece altındaki sıcaklık, o numunenin kurutma hassasiyeti adımını verir. Kurutma hassasiyeti <3 mertebesinde başlayarak 10'a kadar adımlanmıştır. Eğer numune 30 °C'lik sıcaklıkta çatlama, açılmaya uğruyor ise kurutma hassasiyeti çok yüksek olarak nitelendirilir. 30 °C'den her bir 10 derecelik sıcaklık artımıyla birlikte adım numarası da bir birim mertebesinde artarak yükselir. 3'ten küçük adımlar çok yüksek kurutma hassasiyeti, 4 – 5 orta derecede kurutma hassasiyeti, 6 – 8 düşük kurutma hassasiyeti, 9 – 10 kurutma hassasiyeti yok şeklinde sınıflandırılır. Buna göre üretim reçetesinin kurutma hassasiyeti adımı 5 iken, atık çamuru katkısı ile düşerek 6 mertebesine ulaşmıştır. Tüm bu özelliklerin, atık çamurunun sahip olduğu düşük plastiklik kabiliyeti sebebiyle meydana geldiği gözlemlenmiştir. Düşük plastiklik kabiliyeti taneler arası mesafenin artmasına, bağlanabilme miktarının azalmasına, kurutma sonrası kazanılan mukavemetin düşmesine sebep olurken, karışımların kurutma işlemine karşı hassasiyetini azaltmakta, kurutma işleminin daha rahat gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da çamur katkılı deney karışımlarının şekillendirme sertliği açısından üretim reçetesi karışımı ile aynı seviyeye ulaşabilmesi için daha fazla suya ihtiyaç gösterdiğiidir.

Çizelge 2. Kurutma aşaması deney sonuçları

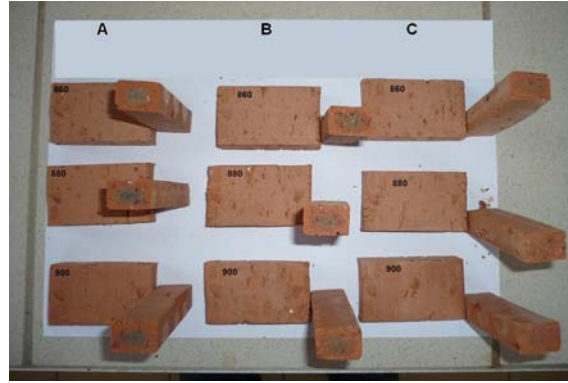
| Parametreler   | Karışımlar                             |  |  |
|--|--|--|--|
|  | A                                      | B  | C  |
| Şekillendirme Rutubeti % (Kuru Baz)                                  | 25,5                                   | 28,7                                       | 31,3                                       |
| Pfefferkorn Yüksekliği (mm)  | 32,4                                   | 32,7                                       | 33,4                                       |
| Pfefferkorn Noktasında   | h <sub>0</sub> /h <sub>1</sub> =1,23   | h <sub>0</sub> /h <sub>1</sub> =1,22       | h <sub>0</sub> /h <sub>1</sub> =1,2        |
| Penetrometre Değeri (kg/cm <sup>2</sup> )                            | 1,5                                    | 1,6  | 1,6  |
| Plastiklik   | İyi                                    | İyi  | İyi  |
| Şekillendirme Özellikleri  | İyi                                    | İyi  | İyi  |
| Kuruma Küçülmesi (Küçük test numunesinde, %)                         | 5                                      | 5,1  | 4,9  |
| Tuğlada Boyuna Küçülme (%)   | 5,4                                    | 5  | 4,95                                       |
| Tuğlada Enine Küçülme (%)  | 5,3                                    | 5,18                                       | 4,98                                       |
| Kuruma Hassasiyeti Adım  | 5,0 - Orta Derecede Kuruma Hassasiyeti | 6,0 - Düşük Kuruma Hassasiyeti             | 6,0 - Düşük Kuruma Hassasiyeti             |
| Çatlakların Şekli  | Oturduğu bölgeden işlemin ortasında    | Oturduğu ve yan bölgeden deneyin ortasında | Oturduğu ve yan bölgeden deneyin ortasında |
| Kuru Mukavemet kg/cm <sup>2</sup>                                    | 64,61                                  | 55,16                                      | 49,44                                      |
| Reabsorbsiyon Sonrası Kuru Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )           | 22,87                                  | 22,25                                      | 16,65                                      |
| Reabsorbsiyon Sonrası Mukavemet Kaybı (%)                            | 64,6                                   | 59,7                                       | 66,3                                       |
| Denge Rutubeti (absorblanan rutubet, %)                              | 2,9                                    | 2,9  | 2,8  |
| Şekillendirilmiş Yaş Numunenin Yoğunluğu (kg/dm <sup>3</sup> )       | 2,0                                    | 1,9  | 1,9  |
| Kurutulmuş Numunenin Yoğunluğu (yeşil yoğunluk, kg/dm <sup>3</sup> ) | 1,8                                    | 1,7  | 1,7  |

Sıfır rutubet değerine ulaşana kadar kurutulan numuneler 2 gün boyunca ortam şartlarında bekletilerek rutubet alması sağlanmış ve ulaştıkları denge rutubeti miktarları ölçülmüştür. Her üç deney karışımında da denge rutubeti değerleri büyük farklılık göstermemiştir. Denge rutubetine ulaşmış numunelerin kuru mukavemetlerindeki değişim incelendiğinde, en yüksek mukavemet kaybının %10 çamur katkılı deney karışımında olduğu görülmüştür. İşletme şartları için düşünüldüğünde %5 çamur katkılı karışımında herhangi bir tehlike gözlenmezken, %10 katkılı karışım için denge rutubeti sonrası mukavemet kaybı daha yüksektir. Bu deney karışımının daha özenli kurutulması, kurutma çıkışı artık rutubetinin düşük seviyede tutulması, kurutma işlemi sonrası reabsorbsiyona maruz bırakılmaması için gerekli önlemlerin alınması (sıcak tutma ortamının oluşturulması, üretilen mamulün kurutma işleminden çok kısa bir süre

sonra pişirilmesi), kuru mamulün fırın arabalarına yerleştirilmesini sağlayan donanımların ayarlamalarında daha dikkatli olunması gerekliliği görülmektedir.

Şekillendirilen ve kurutulan numuneler son olarak elektrikli fırında pişirilmiştir. İşlem sonrası, çamur miktarına bağlı olarak pişme küçülmelerinde artış gözlemlenmiştir. Aynı pişirme sıcaklığında en büyük pişme küçülmesi farkı %10 çamur katkılı karışımda görülmüştür. Su emme değerleri atık çamur katkısı yüzdesine paralel olarak artmıştır. Buna paralel olarak da pişmiş numuneleri bulk (gerçek) yoğunluk değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. En düşük yoğunluk değeri %10 çamur katkılı karışımının 900 °C'de pişirilmesi sonucu elde edilmiştir. Pişme sonrasında oluşan eğilme miktarlarına bakıldığında, %10 atık çamur katkısı ile yapılan deney karışımının en yüksek eğilme değeri verdiği görülmüştür. Eğilme mukavemeti değerlerine atık çamur katkısının herhangi olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Atık çamur ilavesi sonucu pişme renklerinde herhangi bir bozulma gözlenmemiştir. Farklı ısılarda pişirilen farklı karışımlardaki numuneler aşağıda şekil 1'de gösterilmiştir.

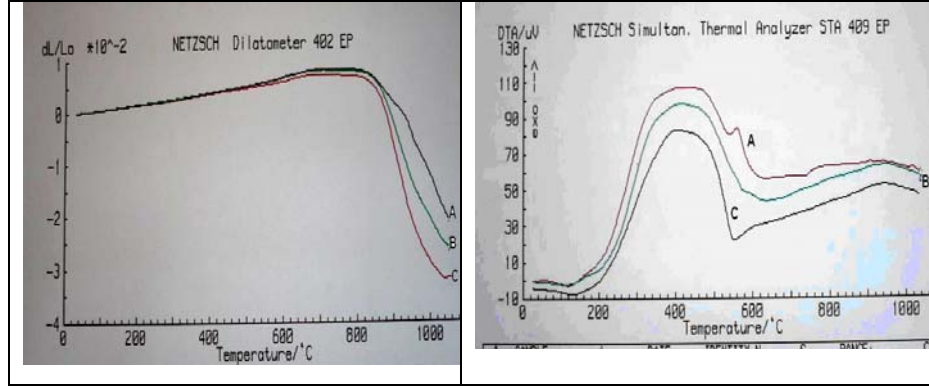
Kimyasal arıtma çamuru tehlikeli atık kapsamına girmediğinden dolayı elde edilen tuğlalara TCLP testi uygulanmamıştır.



Şekil 1. Farklı ısı ve karışımlarda pişmiş numuneler

Çizelge 3. Elektrikli fırında pişirme aşaması deney sonuçları

| Parametre                                     | A           |                          |             | B                        |             |                          | C           |                          |             |
|---|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|   | 860         | 880                      | 900         | 860                      | 880         | 900                      | 860         | 880                      | 900         |
| Pişirme Sıcaklığı (°C)                        | 860         | 880                      | 900         | 860                      | 880         | 900                      | 860         | 880                      | 900         |
| Bekleme Süresi (h)                            | 2           | 2                        | 2           | 2                        | 2           | 2                        | 2           | 2                        | 2           |
| İstima Hızı (°K/h)                            | 180         | 180                      | 180         | 180                      | 180         | 180                      | 180         | 180                      | 180         |
| Pişme Küçülmesi(%)                            | 1,0         | 1,2                      | 1,5         | 1,4                      | 1,4         | 2,0                      | 0,9         | 1,8                      | 2,5         |
| Toplu Küçülme (%)                             | 5,9         | 6,1                      | 6,4         | 6,3                      | 6,5         | 7,0                      | 5,6         | 6,6                      | 7,3         |
| Ateş Kaybı (%)                                | 11,5        | 12,1                     | 12,1        | 12,7                     | 13,2        | 13,2                     | 13,8        | 13,9                     | 14,2        |
| Su Emme (%)                                   | 19,1        | 18,3                     | 18,0        | 21,4                     | 21,8        | 20,9                     | 24,6        | 24,8                     | 24,5        |
| Bulk Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )            | 1,70        | 1,71                     | 1,71        | 1,62                     | 1,62        | 1,64                     | 1,54        | 1,54                     | 1,54        |
| Eğilme Yüksüz(mm)                             | 1,0         | 0,0                      | 0,5         | 1,0                      | 1,0         | 1,5                      | 2,0         | 2,0                      | 2,0         |
| Eğilme Yüklü(mm)                              | 2,0         | 0,0                      | 1,5         | 1,5                      | 1,0         | 3,0                      | 3,5         | 3,0                      | 6,0         |
| Tuğlada Pişme Küçülmesi Boyuna (%)            | 1,7         | 1,8                      | 2,3         | 1,8                      | 2,0         | 2,8                      | 1,1         | 2,5                      | 3,3         |
| Tuğlada Pişme Küçülmesi Enine (%)             | 1,8         | 1,9                      | 2,2         | 1,7                      | 1,9         | 2,4                      | 0,9         | 2,3                      | 3,4         |
| Tuğlada Toplu Küçülme Boyuna (%)              | 7,0         | 7,0                      | 7,8         | 6,4                      | 6,9         | 7,8                      | 5,9         | 7,4                      | 8,0         |
| Tuğlada Toplu Küçülme Enine(%)                | 7,0         | 7,0                      | 7,2         | 6,7                      | 7,0         | 7,5                      | 5,9         | 7,2                      | 8,2         |
| Pişme Rengi                                   | Tuğla Rengi | Tuğla Rengi              | Tuğla Rengi | Tuğla Rengi              | Tuğla Rengi | Tuğla Rengi              | Tuğla Rengi | Tuğla Rengi              | Tuğla Rengi |
| Çiçeklenme                                    | -           | -                        | -           | -                        | -           | -                        | -           | -                        | -           |
| Renk Değişimleri                              |             | 33                       | 34          |                          | 33          | 34                       |             | 33                       | 34          |
| Black Core                                    | Orta        | - Orta                   | Az          | Az                       | Yok         | Yok                      | Yok         | Yok                      | Yok         |
| Eğilme Mukavemeti (kgf/cm <sup>2</sup> ):     | 62,28       | 57,07                    | 59,68       | 65,88                    | 57,04       | 112,89                   | 65,88       | 81,12                    | 82,11       |
| Renk Değişimleri (20 °C sıcaklık değişiminde) |             | 33= renk farkı yok       |             | 33= renk farkı yok       |             | 33= renk farkı yok       |             | 33= renk farkı yok       |             |
|   |             | 34= çok küçük renk farkı |             | 34= çok küçük renk farkı |             | 34= çok küçük renk farkı |             | 34= çok küçük renk farkı |             |



Şekil 2. Dilatometre ve dta ölçüm sonuçları

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışmada çamurun tuğla üretim reçetesi karışımına etkisi incelenmiştir. %10 çamur katkısı ile hazırlanan karışımın kuruma sonrası işletme şartlarında performansının ne şekilde olacağını belirlemek için gerekli olduğu dışında herhangi olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Bununla beraber karışımın hangi safha ya da safhalarda gerçekleştirileceği ayrı bir araştırma konusudur. Sağlıklı bir karıştırma ve homojen bir karışım elde edilebilmesi için, karışım hammaddesinin rutubet içeriği önem arz etmektedir. Çamurun içerdiği yüksek rutubet karıştırma işlemi güçleştirmekte, rutubetli olarak karıştırılabilmesi için, karışım yüzdesine de bağlı olarak ek teçhizat gerektirmektedir. Tüketim miktarı açısından karışım miktarı belirlenmeli, tüm bu sonuçlara ilaveten seçilecek karışım yüzdesi ile işletme çapında bir deneme üretimi yapılarak gerçek şartlar altında ürün özellikleri belirlenmeli, atık çamurun göstereceği performans nihai ürünler üzerinde de net olarak gözlenmelidir. Tüm bu işlemlerin tamamlanması sonucu seçilen karışım yüzdesinin etkileri tam ve kesin olarak belirlenebilir. Dilatometre ve DTA eğrilerinden görüldüğü üzere çamur içeriğinin artması ile artan sıcaklıklarda karışımların davranışları (genleşme, büzülme v.b.) değişmektedir. Bu değişimde ana etkenin karışıma eklenen çamurun organik içeriği olduğu düşünülmektedir.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Weng, C.H., Lin, D.F., Chiang, P.C., "Utilization of sludge as brick materials" *Advances in Environmental Research*; 7, 679 – 685, 2003.
- [2] Feenstra, L., Ten Wolde, J.G., Eenstroom, C.M., "Reusing water treatment plant sludge as secondary raw material in brick manufacturing" *Waste Materials in Construction: Putting Theory into Practice*, 641-645, 1997.
- [3] Tubitak-MAM Kimya ve Çevre Enstitüsü, Teknik Rapor, Rapor Tarihi: 21.05.08, Rapor No:2815.
- [4] DTA TGA Termal Analiz Cihazı Bilgi Sayfası, Dokuz Eylül Üniversitesi [İnternet], Adres: [http://www.deu.edu.tr/UploadedFiles/Birimler/12070/DTA-TGA\\_son\\_doc](http://www.deu.edu.tr/UploadedFiles/Birimler/12070/DTA-TGA_son_doc) (Erişim: 30/04/2009).
- [5] İnşaat Mühendisliği Bilgi Bankası [İnternet] İnşaat Mühendisliği Terimleri, Adres: <http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=aaatraAtay> N. Z., (Erişim: 30/04/2009).