

T.C.  
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ  
KOORDİNASYON BİRİMİ (NKÜBAP)

# BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ SONUÇ RAPORU

NKUBAP.00.24.AR.13.04 nolu proje  
TUĞLA KIRIKLARININ BETONUN  
DAYANIM ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE  
OLAN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Yürütücü: Yrd. Doç. Dr. Erhan GEZER  
Araştırmacılar: Doç. Dr. Can Burak ŞİŞMAN  
Araş. Gör. H. Cömert KURÇ

2016

## İÇİNDEKİLER

<b>1. Giriş</b> .....	1
<b>2. Önceki Çalışmalar</b> .....	4
<b>3. Materyal ve Yöntem</b> .....	8
3.1. Çökme Deneyi.....	8
3.2. Basınç Dayanımı.....	9
3.3. Su emme oranı.....	9
3.4. Yarmada Çekme Dayanımı.....	9
3.5. Sürtünme ile Aşınma (Böhme) Kaybı Deneyi.....	10
<b>4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma</b> .....	11
4.1. Elek Analizi Sonuçları.....	11
4.2. Basınç Dayanımı.....	12
4.3. Birim Ağırlık.....	15
4.4. Su emme oranı.....	16
4.5. Yarmada Çekme Dayanımı.....	17
4.6. Sürtünme ile Aşınma (Böhme) Kaybı Deneyi.....	18
<b>5. Sonuç ve Öneriler</b> .....	21
<b>6. Kaynaklar</b> .....	23

## 1. Giriş

Her geçen gün hızla artan nüfus ve değişen yaşam standartları gerek atık hacmini gerekse de atığın kompozisyonunu çeşitlendirerek kontrol ve yönetimini zorlaştırmaktadır. Günümüzde özellikle katı atıkların kontrol ve yönetimi, modern toplumların en önemli sorunlarından birisi haline gelmiştir. Kentsel katı atıkların önemli kısmını oluşturan inşaat ve yıkıntı atıkları, kontrol altına alınmadığı takdirde çevresel açıdan önemli riskler doğurmaktadır.

Beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen, başlangıçta akışkan olduğu için istenilen kalıbın şeklini kolayca alan, sertleştikten sonra ise yüksek bir dayanıklılık ile belirli bir taşıma gücü için gerekli dayanımı sağlayabilen yapay bir yapı malzemesidir (Erdoğan, 2003; Neville, 1978).

Teknolojinin gelişmesiyle sürekli gelişen ve sanayileşen dünyadaki değişimler beraberinde bazı sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Bunların başında çevremizde bulunan doğal kaynakların sabit olması buna karşılık nüfus artışı ve sanayileşmeyle birlikte bu kaynakların bilinçsizce tüketilmesi gelmektedir. Diğer bir sorun ise sanayileşmenin hızla geliştiği son yıllarda ortaya çıkan endüstriyel atıklar ve bunların ne yapılacak olmasıdır. Günümüzde büyük bir çevre sorunu haline gelen atık maddelerden kurtulmak için birçok araştırmacı çeşitli çözüm yolları araştırmaktadır. Bu çözüm yollarından biriside atık maddelerin geri kazanılmış malzeme olarak yeniden değerlendirilmesidir. Bu amaçla beton teknolojisinde gerek bağlayıcı olarak gerekse agrega olarak kullanılan endüstriyel atıklar vardır. Bunlar puzolanik özellik gösteren granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanının yanında kalker filleri, sürdürülebilirlik kalkınma çerçevesinde lastik, plastik atıkları, atık su arıtım çamuru külü, atık mermer tozları, taban külü, atık cam kırıkları, atık beton, atık gazbeton kırıkları, atık tuğla ve kiremit parçalarıdır (Topçu, 2006b).

Tuğla ve kiremitler, bünyesinde insan sağlığına ve çevreye zararlı herhangi bir kimyasal bulundurmamaktadır. Bu nedenle fabrikalarda üretimleri veya taşınması esnasında hasara uğrayan kiremit ve tuğlalar, öğütülerek yer döşeme elemanlarında, tenis kortlarında, park yürüyüş yollarında, bisiklet yollarında ve bahçe düzenlemelerinde kullanılmaktadır. Bundan dolayı kusurlu üretimler fabrika stok sahalarında toplanmaktadır ancak beraberinde bir görüntü kirliliği oluşmaktadır. Sanayileşmenin ve inşaat sektörünün büyümesi gereksinim duyulan inşaat malzemeleri üretimini de arttırmıştır. Bunların başında kiremit ve tuğla gelmektedir. Artan üretim beraberinde kusurlu üretim miktarını da doğal olarak arttırmaktadır. Bunun

sonucu olarak fabrika stok alanlarında atık durumdaki tuğla ve kiremit miktarları daha da artmaktadır. Fabrika stok alanlarında hızla büyüyen kusurlu üretim sonucu oluşan tuğla ve kiremit kırığı yığınları ile yıkılan binaların molozlarında yer alan tuğla ve kiremit kırıklarının miktarı küçümsenmeyecek boyuttadır. Çevreye zararlı olmayan bu malzemeler ekonomiye geri kazandırılmalıdır. Dünyada pek çok endüstriyel atık gibi tuğla ve kiremit kırıkları betonda agrega olarak kullanılmıştır (Khalaf and DeVenny, 2004).

Betonarme yapıların en önemli bileşeni olan beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddesinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen başlangıçta plastik kıvamlı zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle bulunduğu kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir (Durmuş ve Subaşı, 2007). Betonun termal iletkenliği düşüktür. Termal iletkenliğin yavaş olması yapı malzemesinin bünyesinde ısının birikmesine ve dış ortamdaki sıcaklık farklılığı nedeniyle yüzeyde su buharına dönüşerek yüzey çatlamlarına sebep olmaktadır (Hossain 2006, Topçu ve Demir 2007).

Betonda dayanıklılık problemlerine neden olan başlıca fiziksel etkilerden biri yangın ve/veya yüksek sıcaklıktır. Yangın, katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması ile meydana gelen bir olaydır. İnsanlık tarihine bakıldığında, kontrol altında tutulamayan ateşin çoğu zaman önemli can ve mal kayıplarına yol açan bir felaket olduğu görülür. Yapılarda yangın sırasında oldukça yüksek sıcaklık derecelerine ulaşıldığı bir çok yangın olayında saptanmıştır (Baradan vd., 2002). Beton bir bütün olarak düşünülürse, genel olarak içerisinde bulunan agrega ve çimento hamurunun ısıl genleşmelerinin birbirinden farklı olduğu bilinir. Bundan dolayı betonda sıcaklık değişimleri, içindeki bileşenlerde birbirinden farklı hacim değişikliklerine, çatlakların oluşmasına ve betonun dayanıklılığının azalmasına sebep olur (Riley, 1991, Hammer, 1995). Yüzey çatlamları betonda 200–300 °C’de başlamakta ve sıcaklık yükseldikçe artmaktadır. Bununla beraber dayanıklılığın sağlanabilmesi için beton ve donatı sıcaklığının bu malzemeler için kritik olan sıcaklığa ulaşamaması gerekmektedir (Burnaz ve Durmuş 2004). Sıcaklık 600°C’ye ulaştığında beton, dayanımının %50’sini, 800°C’de ise yaklaşık %80’ini kaybettiği bilinmektedir (Kızılkant 2008, Topçu ve Demir 2006).

Herhangi bir nedenle yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun mekanik özelliklerinde olduğu gibi renginde de birtakım değişiklikler görülür (Andrade ve diğ., 2003). Örneğin renk, pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600°C’ye, gri ise 271 600-900°C’ye, sarımtırak bej ise 900-1000°C’ye yükseldiği ifade edilmektedir (Andrade ve diğ., 2003;

Neville, 2000). Diğ er bir ç alışmada pembe renkli betonun, dayanımının ve elastisite modülünün önemli derecede azaldığı, beyazımsı-gri veya sarımsı-bej renkli betonun ise zayıf ve gevrek olduğu belirtilmiştir. Renkteki bu değışimin nedeni demir içeren bileşenlere bağlanmışır (Andrade ve diğ ., 2003). Sıcaklık 600°C'ye ulaştığında beton, dayanımının %50'sini, 800°C'ye ulaştığında ise yaklaşık %80'ini kaybettiği göz önüne alınırsa, renk incelemesi ile betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı, dolayısı ile basınç dayanımında meydana gelen değışim hakkında fikir edinilebilir. Buradan yüksek sıcaklık etkisinde kalan betondaki renk değışiminin önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır (Neville, 2000).

Betonların yüksek sıcaklık dayanıklılığını etkileyen faktörler, malzemeyle ilgili faktörler ve çevresel faktörler olarak iki gruba ayrılır. Malzemeyle ilgili faktörler agrega özellikleri, agrega çimento hamuru arasındaki bağ, bileşenlerin ısıl uyumu ve çimento hamurunun özellikleri olarak sayılır. Çevresel faktörler; ısıtma derecesi, betonun en yüksek sıcaklıkta karşı karşıya kaldığı süre, soğuma derecesi, yükleme koşulları ve nem durumudur. Betonun yüksek sıcaklıklarla karşı karşıya kaldığında ortaya koyduğu dayanım kaybı çevresel faktörlerle betonun malzeme özelliklerine bağlıdır. Beton yapıların yüksek sıcaklıklarla karşı karşıya kalma sürecinde ve bu sürecin ardından göstereceği tepkileri öngörebilmek için, betonların dayanım ve şekil değıştirme özelliklerinin iyice bilinmesi gerekir (Peng et al., 2006a).

Bu araştırmanın amacı, Tekirdağ ilinde bulunan tuğla fabrikalarının hatalı üretim veya kırılmalar sonucunda depoladıkları atık halde bulunan ve önemli çevre sorunlarına neden olan tuğla kırıklarının depolandıkları alanda görüntü ve çevre kirliliği oluşturmada beton içerisinde agrega olarak kullanılmasının sağlanması, tuğla kırıklarının betonun fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine olan etkisini ve yüksek sıcaklık değerlerine karşı dayanımını belirlemektir.

Araştırma sonucunda erişilen veriler ışığında řu sorulara cevap verilmeye çalışılmışır: i) Tuğla kırıklarının betonun fiziksel özellikleri üzerine etkileri ne olacaktır? ii) 28 günlük kür uygulaması tamamlandıktan sonra yapılan testler sonucunda en uygun tuğla kırıkları miktarı ne olmalıdır? iii) Tuğla kırıkları yüksek sıcaklıklarda betonun dayanımını fiziksel olarak nasıl etki edecektir? iii) Tuğla kırıkları betonun aşınmaya karşı direncini nasıl etkileyecektir?

## 2. Önceki Çalışmalar

Türkiye’de tuğla ve kiremit sanayii; üretim yapısı itibariyle ülkenin dört bir yanına dağılmış, çok sayıda üretim birimi olan bir sanayi dalıdır. Üretim hammaddelerinin kolaylıkla temin edildiği bölgelerde küçük yoğunlaşmalar gösteren 3 sektörde 498 adet tuğla ve kiremit fabrikası vardır. Fabrika sayısının bu kadar fazla olması ulaşılan verilerin sağlıklı olmasını engellemektedir. Türkiye’ de yıllık 7.5 milyar adet tuğla, 700 milyon adet kiremit üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunların yaklaşık % 7 si atık olarak ortaya çıkmaktadır (Şahin 2001).

Tuğla kırığı ile Portland çimentosunun birlikte kullanıldığına dair ilk kayıtlar, beton elemanların yapımı için 1860’da Almanya’da olduğunu göstermektedir. İlerleyen yıllarda da bu konu ilgili çalışmalar çoğunlukla Almanya’da yer almıştır. Çünkü ikinci dünya savaşından sonra da Almanya’daki yıkılan bina sayısının çok fazla olması şehirlerin moloz yığınları haline dönüşmesine neden olmuştur. Şehirlerdeki moloz miktarı 400-600 milyon m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmektedir. Hem molozları temizlemek hem de yeniden inşa sırasında, çok geniş yapı malzemesi talebini karşılamak için molozlardaki tuğla ve kiremitlerin agrega olarak kullanılmasına karar verilmiş, yeniden kullanım malzemeleri için geri dönüşüm fabrikaları kurulmuştur. Bu fabrikalar 1955 yılı sonuna kadar yaklaşık 11.5 milyon m<sup>3</sup> tuğla kırığı agregası üretmişlerdir. Bunlar ile 175.000 tane konut inşa edilmiştir. 1956 yılının sonunda, istatistikler Almanya’da moloz binaların yaklaşık % 85’inin temizlendiğini belirtmektedir (Hansen, 1992).

1928’den sonraki sistematik araştırmalarda çimento, su ve sınıflandırılmış tuğla kırıklı agrega miktarlarının betona olan etkileri araştırılmıştır. Birkaç araştırma betonda agrega olarak yıkılmış moloz yığınlarının kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Ancak, bu çalışmaların çoğu, 1940 ile 1950 yıllarında mevcut tuğla tipleri kullanılarak yapılmıştır. Tuğla kırıklarının betonlarda kaba agrega olarak kullanıldığı betonlar hakkındaki bilgiler elde edilmiştir. Sadece az miktarda çalışma çoğunluğu günümüz yapılarında kullanılan tuğla ve kiremit kırıkları ile gerçekleştirilmiştir. Tuğla ve kiremit kırığı gibi benzer agregalar, çok boşluklu oldukları için betonda agrega olarak kullanıldığı zaman problemler ortaya çıkabilmektedir. Ancak betonda agrega olarak kullanılan kil tuğla ve kiremitin beton agregaları birlikte ortaya koydukları sonuçların çoğunda betonda kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Günümüzde önemli sorunlardan biride, kentleşme ve sanayileşme ile sürekli artan inşaat ve yıkıntı atıklarının birikimi ve yönetimidir. İnşaat ve yıkım atıkları, yeni uygulamalar için

ham madde olarak geri dönüştürülebilir ve kullanılabilir. Tahrip olmuş yığılma yapılardan elde edilen tuğla agregaları yeni beton karışımlarının üretiminde kullanılabilir. Sürekli bir atık yönetimi sağlamak amacıyla tuğla agregaların özelliklerinin tahmin edilerek kullanılmasını belirtmek gereklidir (Kesegic ve ark., 2008).

Son yıllarda yapılardan kaynaklanan atıkların hacminin endişe verici şekilde arttığı kabul edilmektedir ve bu hacim yıldan yıla artmaktadır. Atık birikimi problemi tüm dünyada mevcuttur. Atık materyallerin çoğu depolanmakta veya yasa dışı olarak dökülmektedir. Bu atıkların kullanımını daha çok mümkün kılmak çevresel etkileri azaltabilir (Batayneh ve ark., 2007).

Tuğla kırıkları kullanımın karışımın birim ağırlığında düşüş gerçekleştirdiği için karışım sırasında harcanan enerji azalacaktır. Tuğla kırığı kullanımının çevreye sağladığı yararlar fazladır ve tuğla kırığı alternatif malzeme olarak agrega yerine kullanımının uygun olduğunu öne sürmüştür (Khalaf, 2006).

Khaloo (1994) Portland çimentolu betonda kaba agrega olarak tuğla kırığı kullanmıştır. Normal agregalarla üretilen betonlar ile karşılaştırdığında basınç dayanımında % 7 kayıp olduğunu belirtmiştir. Dayanımdaki azalmaya ek olarak tuğla kırıklı betonların birim ağırlıkların da % 9.5 azalma olduğunu saptamıştır.

Tuğla ve kiremit kırıklı betonlar normal betonlarla karşılaştırıldığında düşük ısı iletkenliklerinden dolayı, betonarme yapılarda erken ısınmayı önleyecektir. Böylece bu agregalarla üretilmiş betonların uzun süre yangın altında yapısal bütünlüklerini korudukları ortaya çıkmaktadır (Khalaf and DeVenny, 2004).

Zakaria and Cabrera (1996) kaba agrega olarak kırılmış tuğla içerikli betonlar üretmişlerdir. Tuğla kırıklı betonlar erken yaşlarda normal betonlardan daha düşük dayanıma sahiptirler. Ancak, ilerleyen yaşlarda tuğla kırıklı betonlarda dayanım artışı gözlenmektedir. Dayanımda iyileşmenin nedeni olarak tuğla kırığı agregalarının puzolonik etkisi gösterilmektedir (Zakaria and Cabrera 1996).

Jankovic (2002) çimento ağırlığının % 0, 4 ve 8 oranlarında polimer katkı eklenmesi ile birlikte geri kazanılmış tuğla kırığı agregalarının beton özelliklerine olan etkilerini araştırmıştır. Jankovic (2002) polimer ve tuğla kırığı agregası bulunan betonların polimer kullanılmamış

betona göre, basınç ve eğilme dayanımlarında farklılıkların olmadığını, elastisite modülü ve büzülme gerilmelerinin daha düşük, su geçirimsizliğinin ve donma-çözülme dayanıklılığının daha iyi ve sünme gerilmelerinin biraz daha büyük olduğunu belirtmiştir.

Kenai, et al. (2002) ince ve kaba agregalar olarak geri kazanılmış agregalar kullandıkları 90 günlük betonların basınç ve eğilme dayanımlarını normal agregalar ile üretilmiş betonlar ile karşılaştırmışlardır. Kullanılan agregaların su emme, su geçirimsizliği ile büzülmelerini ölçmüşler ve bu özelliklerini araştırmışlardır. Geri kazanılmış ince malzeme miktarı sınırlandırılması durumunda geri kazanılmış agregalar kullanarak iyi kaliteli betonların üretiminin mümkün olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Tuğla ve kiremit kırıklı agregalar parçacıklarının ve sertleşmiş çimento hamurunun elastisite modülü birbirlerinden çok farklıdır. Sonuç olarak, herhangi bir uygulanan yük veya ısı işlem değişiklikleri iki malzeme arasında ayırt edici gerilmelere neden olmamaktadır. Aynı zamanda tuğla kırığı gibi agregalar karışım başlamadan önce su emdirilmelidirler. Zamanla çimentonun dehidratasyonu sonucu oluşan kalıntılar hidrasyon için kullanılabilir. Agregalar ile çimento hamuru arasındaki arayüz bölgesinde ilave hidrasyon ürünleri gerçekleşir, böylece çimento matrisi ile agregalar arasındaki bağ kuvvetlenmektedir (Khalaf and DeVenny, 2004).

Yapılan kaynak taramasında su geçirimsizlik derinliklerinin tuğla ve kiremit kırıklı betonlarda normal betonlardan % 50 daha yüksek olduğu saptanmıştır (Hansen, 1992). Bu önemli bir faktördür, çünkü klor iyonları içeren su ile kaplanan betonun geçirimsizliği güçlendirilmiş çubukların korozyonu ile sonuçlanabilir. Bu yüzden, tuğla ve kiremit kırıklı agregaları kullanılan betonla kaplanan donatıda korozyon artar. Bir başka dayanıklılık koşullarından bir tanesi de betonun geçirimsizliğidir. Bu basınç farklılığı altında orta boşluk boyunca sıvının veya gazın kolayca beton içine girmesi olarak tanımlanır. Betonun geçirimsizliğinde s-ç oranı ve betona uygulanan kür şeklinin önemi oldukça etkilidir. Araştırmacılar tarafından yapılan deneyler, geçirimsizliğin artan s-ç oranının hemen hemen üssü olarak arttığını göstermiştir. Eğer geçirimsizliği düşük bir beton üretilmişse s-ç oranının önemi kadar kür şeklide önemlidir. Geçirimsizliği düşük betonlar dışarıdan gelecek zararlı iyonların beton içine girmesini zorlaştırdığı ve aşınma direncinin daha iyi olduğu için arzu edilir (Dhir et al., 1994).



Tuğla veya kiremit agregası ısıl uyumlu kararlı bir agregadır. Yüksek sıcaklık etkisi altındaki betonda agrega olarak kullanıldığı zaman iyi bir performans gösterecektir. Kalker agregası ise ısıl olarak kararsızdır. Yüksek sıcaklık etkisi altında betonda agrega olarak kalker kullanıldığında önemli genleşmeler ve kırılmalar ortaya çıkmaktadır. Bireysel ve bitişik elemanların genleşmeleri yüksek sıcaklıkta burkulmaya karşı güçlendirilmiş elemanların sahip olduğu gerilmeleri etkileyebilir. Yüksek sıcaklıklarda malzemede meydana gelen bu gerilmeler tüm kırılmaların çimento hamuru ve agrega çevresindeki sınırlar içerisinde meydana gelmesine neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıkta agreganın yapısında meydana gelen değişiklikler betonda dayanım azalmasına neden olmaktadır (Topçu and Demir, 2006, 2007a, 2007b).

Khoury (1992) kaba agrega olarak tuğla kırığı kullandığı betonlarda yüksek sıcaklık etkisini araştırmıştır. Betonlarda, 300 oC üzeri sıcaklıklarda önemli basınç dayanımı kayıpları ortaya çıkmıştır. Tuğla kırığı içerikli betonların 600 oC sıcaklık sonrası (soğutmadan sonra) arta kalan basınç dayanımlarındaki kayıplar normal betonlar ile karşılaştırıldığında daha azdır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yüksek sıcaklık etkisinde kalacak betonlarda tuğla ve kiremit agregasının kullanılması önerilmektedir (Khoury, 1992).

Hansen'e (1992) göre kırılmış tuğla agregasının başlangıçtaki çok su istemesinden dolayı beton üretiminde kullanılmadan önce tamamıyla susuzluğunun giderilmesi zorunludur. Tuğla kırığının su emmesi başlangıçtaki kuru durumuna ilişkin olarak ağırlıkça % 22 ve % 25 arasında bir değere sahip olduğu tahmin edilmektedir.

De Veries'e (1993) göre geri kazanılmış tuğla ve kiremit kırıklı agregaların normal agregalara göre şekilleri daha köşeli ve su emmeleri daha yüksektir. Beton üretimi sırasında su miktarı artmaktadır. Bu nedenle üretimden önce bu tip su emme değeri yüksek geri kazanılmış agregaların tank içerisinde tutularak suya doygun olması gerektiği tavsiye edilmektedir. Ancak, tamamen agreganın suya doygun olması da bir risktir. Aşırı doygunluk, homojen beton karışımlarının üretiminde bazı problemlere neden olabilmektedir.

### 3. Materyal ve Yöntem

Araştırmada, Tekirdağ çevresinde bulunan tuğla fabrikalarından alınacak atık haldeki tuğlalar laboratuara getirilerek kırılacaktır. Kırılan bu numuneler 4 mm'lik standart elekten elenerek ince ve kaba agrega olarak iki kısma ayrılacak ve elde edilen tuğla kırıkları diğer agrega malzemeleri ile uygun karışım oranlarını elde edebilmek amacıyla kare delikli standart elek setinden faydalanılarak granülometri ve özgül ağırlık (yoğunluk) deneyleri yapılmıştır.

Bu işlem sonucunda kırma taş ile yer değiştirmeli olarak %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranları için karışımlara katılacak malzeme miktarları belirlenmiştir.

Çimento, tuğla kırıkları, kum ve kırmataş malzemeleri kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Üretilen taze beton üzerinde çökme deneyi yapılmıştır. Taze betonun çökme değeri 8 mm sağlandıktan sonra kontrol numunesinde belirlenen su/çimento oranı diğer üretimlerde sabit tutulmuştur. Bahsedilen deneyler yapıldıktan sonra numuneler kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen karışımlar 1 gün sonra kalıplardan çıkarılıp, sıcaklığı  $20 \pm 2$  °C sıcaklıkta kirece doygun su içerisine konulmuştur. Kür havuzuna yerleştirilen numuneler kür süreleri boyunca havuzda bekletilmiştir. Kür süreleri dolan numuneler havuzdan çıkarılarak numuneler üzerinde basınç deneyi, yarmada çekme deneyi, su emme deneyi, dona dayanıklılık, birim ağırlık, özgül ağırlık ve aşınma deneyleri yapılmıştır.

#### 3.1. Çökme Deneyi

TS EN 12390-2, Taze beton deneyleri-bölüm 2: Çökme (Slump) deneyi göre yapılacak olan çökme deneyinde çökme mesafesi (h) ölçülerek kaydedilmelidir. TS EN 206-1'de yer alan Çizelge 3.1'e göre çökme sınıfı belirlenir.

Çizelge 3.1. Çökme sınıfları

Çökme Sınıfları	Çökme yüksekliği, h, mm
1S	10 – 40
2S	50 - 90
3S	100 - 150
4S	160 - 210
5S	220

### 3.2. Basınç Dayanımı

Küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e uygun basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç deneyin de 200 ton kapasiteli 0.1 kg duyarlıklı beton presi kullanılmıştır (Şekil Ek 2.17). Deneyde küp numuneler yan yatırılarak pürüzsüz yüzeylerinin presin iki çelik sıkıştırma tablası arasına gelmesi sağlanmıştır. Pres tablaları arasına yerleştirilmiş numuneler 3 kg/cm<sup>2</sup>/sn'lik sabit hızla yüklenmiş ve kırılma yükleri (P<sub>k</sub>) belirlenmiştir. Numunenin kırıldığı P<sub>k</sub> kuvvetin yüzey alanına bölünmesi ile basınç dayanımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$\sigma$  : Basınç dayanımı MPa

P : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A : Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm<sup>2</sup>

### 3.3. Su emme oranı

Sertleşmiş betonda boşluk ve su emme oranlarının tayini TS 3624'e uygun olarak yapılmıştır. Küp numunelerin sırasıyla etüv kurusu ağırlıkları, su içinde tutulduktan sonra suya doymuş ağırlıkları tayin edilmiştir. Hesaplanan ağırlıklar, aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme Oranı (\%)} = \frac{(AKYD - AFK)}{(AFK)} \times 100$$

AFK: Etüv kurusu ağırlığı, g

AKYD: Kuru yüzey doymuş ağırlığı, g

### 3.4. Yarmada Çekme Deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyleri TS EN 12390-6 standardına uygun olarak küp numuneler üzerinde yürütülmüştür. Yarmada çekme dayanımları, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$f_{ct} = 2 \times F / (\pi \times L \times d)$$

fct: Yarmada çekme dayanımı, MPa

F: En büyük yük, N

L: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d: Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

### 3.5. Sürtünme ile Aşınma (Böhme) Kaybı Deneyi

Deney izine 20 g standard aşındırıcı konulacak ve küpler aşındırma diskinin üzerine, standard aşındırıcı serpilmiş ize gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Disk, numuneye (294 ± 3) N'luk aşındırma kuvveti uygulanarak döndürülmüştür. Numuneye, her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanmıştır. Aşınma kaybı, 16 çevrim sonunda aşınma; numunenin hacmindeki azalma  $\Delta V$  olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r}$$

$\Delta V$ : 16 çevrimden sonra hacim kaybı, mm<sup>3</sup>

$\Delta m$ : 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g

$\rho r$ : Numunenin yoğunluğu, çok katlı numunede aşınmaya maruz tabakanın yoğunluğu, mm<sup>3</sup>

#### 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, doğal agregaya ile Tekirdağ tuğla fabrikalarından toplanan atık halde bulunan tuğla kırıklarının karışımına ait elek analizi değerleri, 28 günlük kür uygulaması sonucunda, tuğla kırıklarının betonun dayanım özellikleri, su emme özellikleri, yarmada çekme dayanımı özellikleri, dona dayanım özellikleri ve aşınma özellikleri üzerine yapılan testler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Sertleşmiş hafif betona ait fiziksel ve mekanik özellikler

TK Oranı	Basınç Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Birim Ağırlık (Kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme Oranı (%)	Yarmada Çekme (kg/cm <sup>2</sup> )	Dona Dayanım (kg/cm <sup>2</sup> )
T300	264.35	2199,6	5.54	38.95	244.82
T310	251.62	2099.11	7.99	31.34	225.97
T320	195.59	2007.85	10.90	27.36	180.12
T330	173.58	1975.56	12.16	23.97	153.91
T340	136.89	1940.89	13.21	20.94	105.10
T350	104.17	1828.30	13.97	17.06	72.17

##### 4.1. Elek Analizi sonuçları

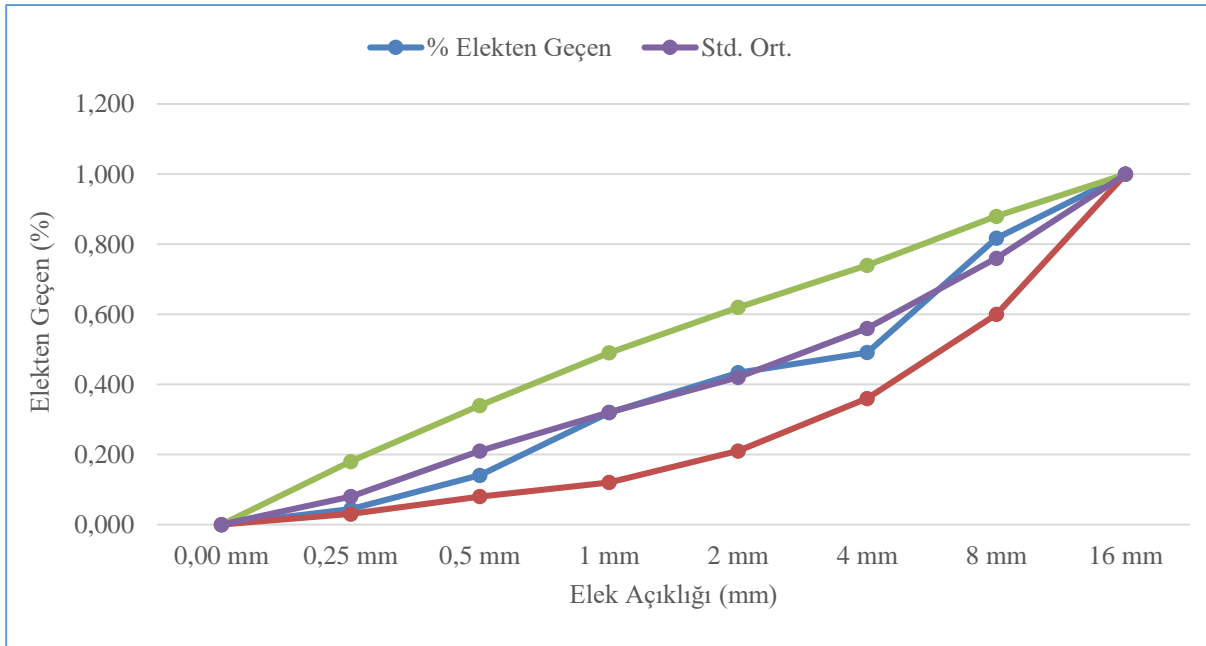
Agregalar betonun taşıyıcı iskeletini oluşturduklarından dolayı oldukça önemlidirler. Beton üretiminde kullanılan agreganın tane dağılımının düzgün olması beton karışım hesapları ve kaliteli beton için bir zorunluluktur. Karışım agregası hem standartlarda belirtilen sınırlara uygun olmalı hem de mevcut iri ve ince agregalar ile elde edilebilecek en iyi derecelenmeyi temsil etmelidir. Bu sınırlandırmanın amacı öncelikle maksimum kompasiteye sahip karışım agregası granülometrisini elde etmek, daha sonra bu karışım agregası ile ekonomik ve nitelikli bir beton üretmektir. Karışım agregasının granülometrisi betonun işlenebilirliğini, geçirimsizliğini ve basınç mukavemetini etkileyen en önemli faktördür (Uğurlu 1989).

Sertleşmiş beton hacminin % 60-70'ini agregaya hacmi, geriye kalan % 30'unu ise çimento hamuru ve hava boşluğu hacmi oluşturmaktadır. Agregaların tek başına bir bağlayıcılık özelliği yoktur. Beton bünyesinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Agregaya tanelerini bir arada tutabilmek için bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanılmaktadır. Çimento hamurunun mukavemeti betonun mukavemetinden daha yüksektir. Fakat betonun sadece çimento hamuru ile üretilmesi ekonomik olmamaktadır. Dolayısıyla çimento hamuruna dolgu malzemesi olarak agregaya ilave edilmektedir. Agreganın çimentodan daha kolay temin edilebilmesi ve daha ucuz olması, atmosfer etkilerine, çeşitli kimyasal etkilere ve aşınmaya

karşı çimentodan çok daha fazla dayanıklı olması, ayrıca çimentonun prizi sırasında meydana gelen şişme ve rötre gibi hacimsel hareketlerin agregada görülmemesi kullanımını zorunlu kılmaktadır (Güner ve Süme 2001)

Agregalardan en iyi şekilde beton elde edebilmek için, o betonun bünyesine giren her sınıf malzeme kendinden bir üst irilikteki malzemedeki boşlukları dolduracak miktarda olmalıdır. Yani çimento ince agreganın, ince agregaya ise iri agreganın içerdiği boşlukları doldurmalıdır. Granülometri betonun kompasitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını, işlenebilirliğini büyük ölçüde etkiler. Bu amaçla elek analizi önemli bir deneydir ve betonda kullanılacak agregaların özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir (Yıldırım ve Yılmaz, 2002; Anonim, 2008a).

Beton üretiminde kullanılan doğal agregaya ve tuğla kırıklarının karışımına ait granülometri eğrisi Şekil 1 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi karışıma ait değerler Turgutalp ve Örüng (1992), Erdoğan (2004) ve Anonim (2004) de verilen sınırlar içerisinde kalmıştır.



Şekil 4.1. Doğal agregaya ve tuğla kırıklarının karışımı elek analizi

#### 4.2. Basınç Dayanımı

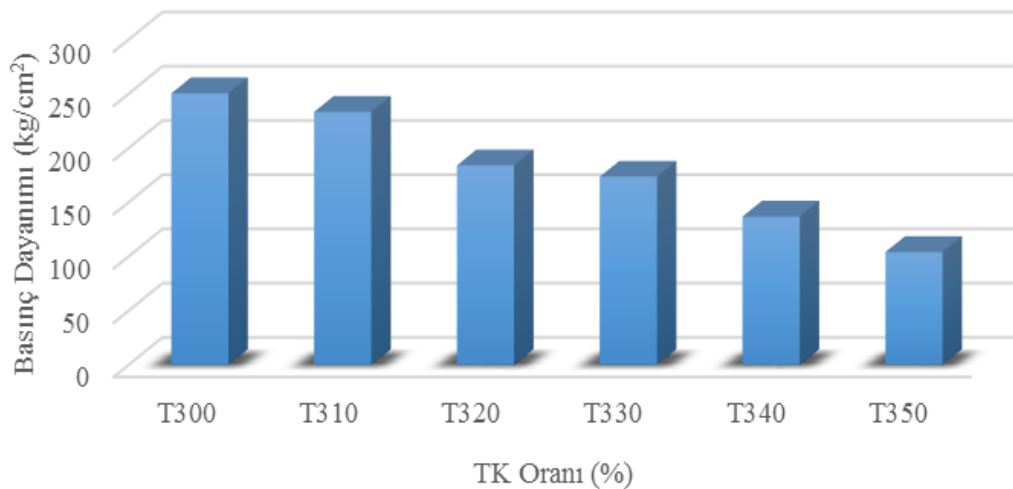
Beton günümüzde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Şekil verilebilirliği, temin edilmesi, diğer taşıyıcı malzemelere göre daha ekonomik olması gibi sahip olduğu birçok

avantajların yanı sıra betondan temel anlamda beklenen en büyük özellik basınç dayanımıdır (Özel ve ark. 2012).

Çalışmada 1 numara mıcır ve Tekirdağ tuğla fabrikalarından toplanan atık tuğlalardan elde edilen tuğla kırıklarının karıştırılması ile elde edilen karışım kullanılmıştır. Ayrıca karışım içerisinde toplam agrega hacminin %20' si oranında dere kumu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Karışım suyu olarak, Tekirdağ şehir içme suyu şebekesinden sağlanan su kullanılmıştır.

Beton üretiminin en önemli aşamalarından birisi de betonun kür edilmesi ve bu süreci tamamlayan işlemlerdir. Genel anlamıyla kür; betonun dayanım kazanması için çimento hidrasyonunu ilerletmek amacıyla kullanılan yöntem ve yapılan uygulamalara verilen isimdir. Dökümü yapılan betonlar kalıptan çıkarıldıktan sonra TS EN 12390-2 de belirtildiği gibi 28 gün boyunca  $(20 \pm 2)$  °C sıcaklıktaki su içerisinde kür uygulamasına tabi tutulmuştur.

Beton numuneleri, 28 günlük kür uygulamasından sonra TS EN 12390-3 de belirtildiği gibi hazırlanarak basınç dayanımı tayini testine tabi tutulmuştur. Basınç deneyinde 200 ton kapasiteli 0.1 kg duyarlıklı beton presi kullanılmıştır. Deneyde küp numuneler yan yatırılarak pürüzsüz yüzeylerinin presin iki çelik sıkıştırma tablası arasına gelmesi sağlanmıştır. Pres tablaları arasına yerleştirilmiş numuneler  $3 \text{ kg/cm}^2/\text{sn}$ 'lik sabit hızla yüklenmiş ve kırılma yükleri belirlenmiştir. Basınç dayanımı tayini testlerinden elde edilen değerler Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Tuğla kırığı karışım oranlarına bağlı olarak elde edilen basınç dayanımı değerleri

Basınç dayanım değerleri tüm beton numuneleri göz önüne alındığında 250.54-104,17 kg/cm<sup>2</sup> değerleri arasında değişmektedir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi tuğla kırığı katkı oranı arttıkça beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Kontrol numunesi olan T300 konusu 250.54 kg/cm<sup>2</sup>’lik basınç dayanımı değeriyle en yüksek değere ve T350 konusu 104. 17 kg/cm<sup>2</sup>’lik basınç dayanımı ile en düşük değer sahiptir.

Betonarme eleman yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler görülür. Bu değişiklikler, betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı, duktilite ve çekme dayanımında azalmadır. Yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonarme bir yapının yıkım ya da onarımına karar vermek için yerinde ve laboratuarda tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmalıdır. Yerinde yapılan ilk inceleme görsel incelemedir, bu aşamada betonda çatlakların, dağılmaların, renk değişiminin olup olmadığı araştırılır (Guise ve ark. 1996).

Artan sıcaklıkla beraber (120 °C sıcaklığa kadar) meydana gelen düşüşlerden sonra betonun tek eksenli basınç dayanımı artar. Dayanım 200 °C ve üstü sıcaklıklarda tekrar düşmeye başlar. Basınç dayanımı 700 °C’de başlangıç değerine göre % 80 değer kaybeder (Cülfik, 2001). Normal betonun basınç dayanımı kür koşullarına bağlı olarak değişmezken, yüksek sıcaklıklarda beton dayanımındaki düşüşün nedeni olarak aderans bozulması ve çimento hamurunda kalsiyum silika hidrat jellerinin yapısının bozulması ve agregadaki ısı genleşme farklılıkları olarak değerlendirilmektedir (Yamazaki et al, 1995: Cülfik’ten, (2001)).

Beton numunelerinin ısıtma ve soğutma süreci, numunelerin istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılması ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra kontrol deneylerinin yapılması şeklinde düzenlenmiştir. Numuneler, 28. günde sudan çıkarılmış, önce etüvde 100±5°C’de 24 saat bekletilmiş, sonra her gruptan üçer adet numune, fırında 300, 600 ve 900 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Beton numuneleri üzerine yüksek sıcaklık uygulanması sonrası numuneler fırın dışına alınarak havada soğumaya bırakılmıştır Havada soğumaya bırakılan beton numuneleri basınç dayanımı testi yapmak için oda sıcaklığına kadar normal oda koşullarında bekletilmiştir. Basınç dayanımı sonucunda elde edilen değerler çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi beton numunelerine 300 °C sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan basınç dayanımı testi sonucunda en yüksek değer 25.95 kg/cm<sup>2</sup> ile T300 konusuna aittir. Beton numunelerine 600 °C sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan basınç dayanımı testi sonucunda en yüksek değer 20.17 kg/cm<sup>2</sup> ile T300 konusuna aittir. Ancak T310 konusu ait



basınç dayanımı değeri ( $26.67 \text{ kg/cm}^2$ ) T300 konusuna çok yakın bir değere sahiptir. Beton numunelerine  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan basınç dayanımı testi sonucunda en yüksek değer  $15.39 \text{ kg/cm}^2$  ile T310 konusuna aittir. Beton numunelerine  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık uygulandığında T320, T330, T340 ve T350 konularına ait beton numuneleri üzerinde soğuma sırasında çatlaklar oluşmuş ve bir basınç dayanım değerleri belirlenememiştir.

Çizelge 4.2. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri

TK Oranı	300 °C	600 °C	900 °C
T300	25.95	20.17	12.58
T310	26.67	21.96	15.39
T320	22.11	20.26	-
T330	23.54	20.32	-
T340	24.17	18.35	-
T350	25.54	20.98	-

Betonu meydana getiren çimento hamuru ve agrega bileşenlerinin özellikleri ve miktarları ile betonun donmaya dayanıklılığı ile ilişkiler tam olarak bilinmediğinden beton numuneler karşılaştırmalı ve donma-çözülme deneyleri yapılmalıdır. Beton numuneler suda  $-20^\circ\text{C}$  donma ve  $+20^\circ\text{C}$  de çözülme deneyleri yapılır. Donma-çözülme deneyleri en az 25 donma-çözülme tekrarı sonucunda basınç mukavemetinin %20'den ve elastisite modülünde %30'dan fazla azalması, betonun donmaya dayanıklı olmadığını gösterir (Kamanlı ve Balık, 2003).

Çizelge 4.1'de 25 defa donma-çözülme tekrarı yapılan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Elde edilen değerler incelendiğinde T340 ve T350 konularından elde edilen basınç dayanımı değerleri %20'den daha fazla değer kaybetmiştir.

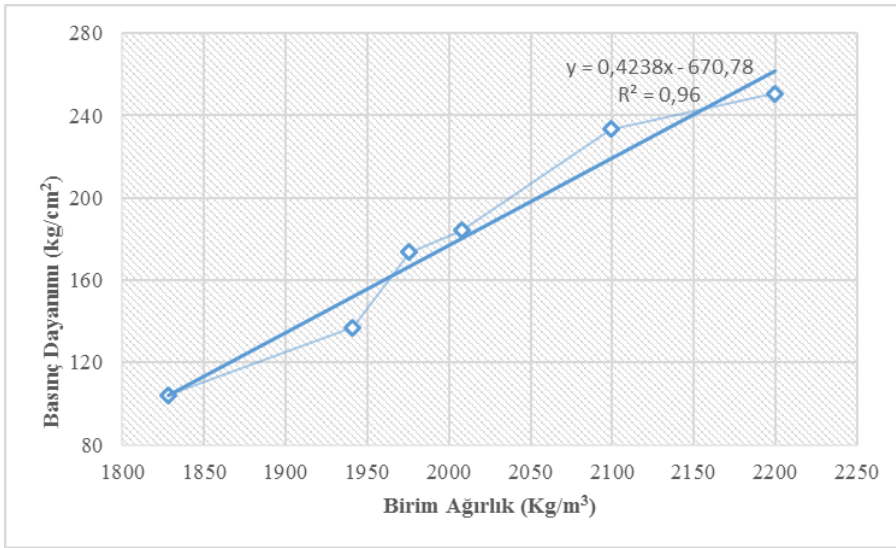
### 4.3. Birim Ağırlık

Birim ağırlığı (TS EN 12390-7) belirlemek amacı ile tüm numuneler başlangıçta ve yüksek sıcaklık sonrası 60 kg kapasiteli 2 gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Daha sonra tüm numunelerin en, boy ve yükseklikleri kumpas ile hassas olarak ölçülmüştür. Boyutları belirlenen numunelerin geometrik hacimleri hesaplanmıştır. Ağırlığın hacme oranı ile tüm numunelerin birim ağırlıkları ( $\text{kg/m}^3$ ) belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda üretilen betonların sertleşmiş birim ağırlıkları Şekil 4.3'te verilmiştir. Beton numunelerin birim ağırlıkları  $1828\text{-}2200 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir. Üretilen betonlarda

kiremit kırığı oranı artması ile sertleşmiş beton birim ağırlık değerlerinde azalmalar görülmüştür. En büyük azalma % 16.8 oranında bir azalma ile T350 serisinde görülmüştür. T350 serisinin sertleşmiş birim ağırlığı  $1828 \text{ kg/m}^3$ 'tür.

Khaloo (1994) Portland çimentolu betonda kaba agregalar olarak tuğla kırığı kullanmıştır. Normal agregalarla üretilen betonlar ile karşılaştığında basınç dayanımında % 7 kayıp olduğunu belirtmiştir. Dayanımdaki azalmaya ek olarak tuğla kırıklı betonların birim ağırlıklarının da % 9.5 azalma olduğunu saptamıştır.



Şekil 4.3. Tuğla kırıklarından üretilen beton sınıflarının birim ağırlık-basınç dayanımı ilişkisi

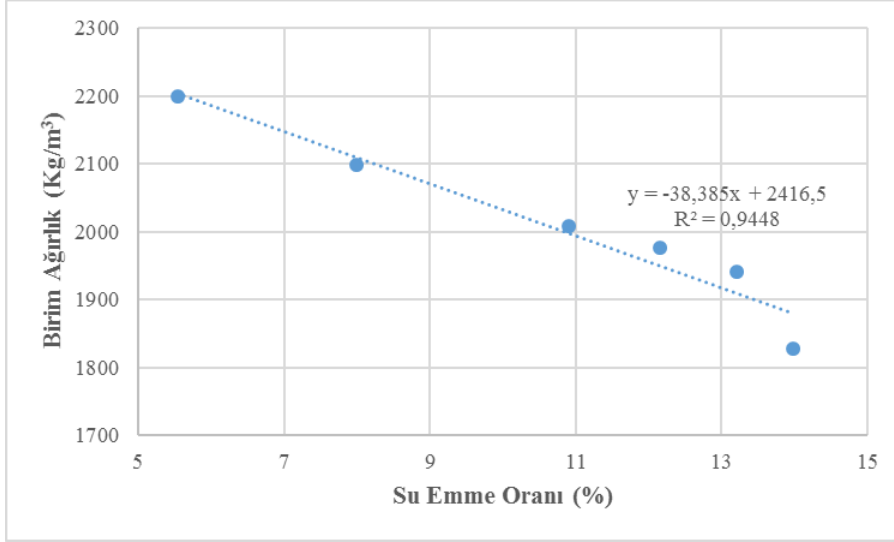
#### 4.4. Su emme oranı

Suyun, tanelerdeki boşluklara nüfuz ederek emilmesi sebebiyle, etüvde kurutulmuş beton numunesinin kütlelerinde meydana gelen artış su emme oranı olarak tanımlanmaktadır.

Su emme oranı tayini TS 3526 standardına göre yapılmıştır (TS 3526 1980). Her karışımdan 3'er numune alınarak  $105^{\circ}\text{C}$ 'de, etüv kurusu ağırlığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Numunelerin kütleleri hassas teraziyile belirlenmiş ve tüm yüzeyleri  $20^{\circ}\text{C}$ 'lik suya gömülecek şekilde 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda numunelerin yüzeyi kurularak kütleleri saptanmıştır. Kütleler arasındaki farktan su emme oranları bulunmuştur.

Çizelge 4.1. ve Şekil 4.4.' de görüldüğü gibi 28 günlük beton numunelerinin su emme oranlarında T300 karışımına göre T310, T320, T330, T340 ve T350 karışımları daha fazla su

emme oranı değerleri vermiştir. Beton numunelerinin su emme oranı sonuçlarına göre karışımlar arasında en yüksek su emme oranını T350 karışımı vermiştir.



Şekil 4.4. Tuğla kırıklarından üretilen hafif beton sınıflarının birim ağırlık-su emme oranı ilişkisi

Şekil 4.4.'den de görüldüğü gibi, hafif betonun birim ağırlığı ile su emme oranları arasında doğrusal ve ters bir ilişki mevcuttur. Numunelerin tuğla kırığı katkı oranları arttıkça birim ağırlıklarının azalmasına neden olmuş ve tuğla kırıklarının suyu fazla miktarda emme özelliğine sahip olması nedeniyle beton numunelerinin su emme oranlarında artışlar gözlemlenmiştir.

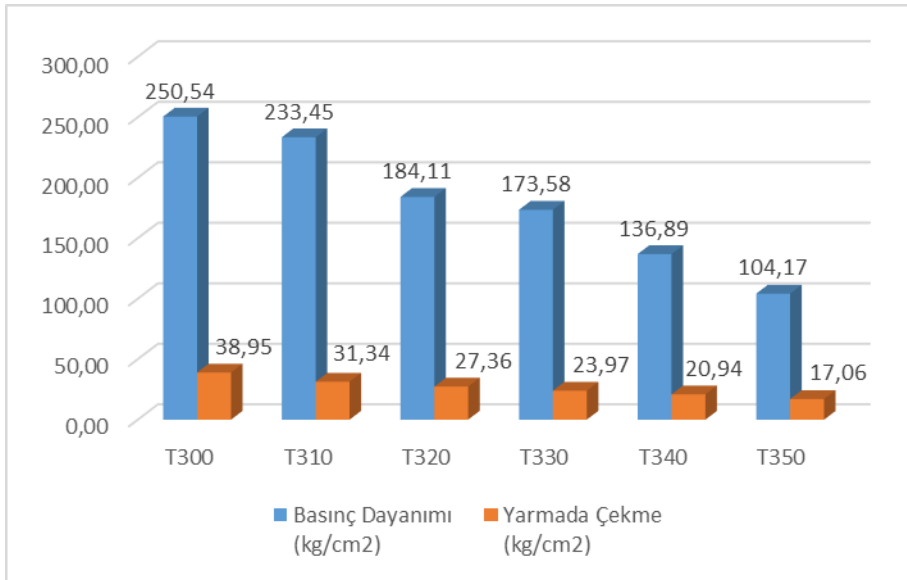
De Veries'e (1993) göre geri kazanılmış tuğla ve kiremit kırıklı agregaların normal agregalara göre şekilleri daha açısız ve su emmeleri daha yüksektir. Beton üretimi sırasında su miktarı artmaktadır. Hansen (1992) tarafından yapılan çalışmada su geçirimsizlik oranlarının tuğla ve kiremit kırıklı betonlarda normal betonlardan % 50 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4.5. Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyi, 15x15x15 cm'lik küp numuneler üzerinde 28 gün kürde bekletildikten sonra TS EN 12390-6 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (Anonim, 2010). Deneyde; test cihazının basınç levhaları arasına yatay vaziyette yerleştirilen beton silindir veya küp numuneye basınç uygulanır ve düşey çap

doğrultusunda yarılmayla parçalanma oluncaya kadar yük artırılır. Yatay vaziyetteki numuneye basınç uygulandığında numune üzerinde iki gerilme oluşur. Bunlar; düşey yönde oluşan basınç gerilmesi ve bu eksene dik doğrultuda oluşacak olan yataydaki çekme gerilmesidir.

Betondaki basınç ve çekme dayanımları birbiriyle yakından ilgilidir. Genel olarak betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %9 - %10'u kadar olmakla birlikte betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran %7 ile %17 arasında değişebilmektedir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.5'ten görüldüğü gibi beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı değerleri 38.95-17.06 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımları oranlandığında %13 - %16 arasında değişmektedir.



Şekil 4.5. Tuğla kırığı karışım oranlarına bağlı olarak elde edilen yarmada çekme dayanımı değerleri

#### 4.6. Sürtünme ile Aşınma (Böhme) Kaybı Deneyi

Kayaç ve beton yüzeylerinin aşındırıcı maddelerle sürtünmesiyle oluşan azalmaya aşınma kaybı denir. Dünyanın birçok farklı yerinde farklı durumlarla karşılaşıldığından betonun dayanıklılığı ile ilgili birçok problemler göz önüne çıkmıştır. Bu nedenle betonun dayanıklılığı ile ilgili çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Dayanıklılık problemi betonda bozulmaların meydana gelmesi ile ortaya çıkmaktadır. Betonda bozulmalara neden olan etkenler fiziksel ve kimyasal olarak iki ana grupta toplanabilir. Betonda bozulmalara neden olan fiziksel etmenler aşınma, kavitasyon (oyulma), erozyon, ıslanma-kuruma, donma-çözülme, boy ve hacim

değişimleri, aşırı yükleme, tekrarlı yükleme sonucu yorulma ile yüksek sıcaklıklar ve yangındır. Kimyasal etmenler ise çiçeklenme, sülfat etkisi, asit etkisi, karbonatlaşma, alkali- agrega reaksiyonu, donatı korozyonudur (Baradan vd., 2002).

Bu çalışmada betonun aşınma direncinin belirlenmesinde Böhme aşınma deneyi (TS 2824, EN 1338) kullanılmıştır. Bu deneyde dakikada  $30 \pm 1$  devir hızla dönen 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırıcı çelik disk bulunmaktadır. Döner disk üzerindeki yerine konulup sabitlenen beton numuneye çelik bir manivela ile  $294 \pm 3$  N düşey yük uygulanmaktadır. Düzenek üzerinde diskin 22 devrinden sonra otomatik durdurma tertibatı bulunmaktadır. Her bir beton karışımı temsilen üçer adet numune, kiriş kalıplardaki betonlardan, TS 2824'e uygun olarak kenar uzunluğu  $71 \pm 1,5$  mm olan küp şeklinde kesilip taban alanı  $50 \text{ cm}^2$  olacak şekilde gerekli düzeltmeleri yapılarak hazırlanmıştır. Deney aletine yerleştirilen beton numunenin sürtünme yolu üzerine  $20 \pm 0,5$  gr aşındırıcı suni korund tozu serpilmiştir. Sistem çalıştırılmasından 22 devir sonra durmuştur. Beton numune düşey eksenini etrafında saat yönünde  $90^\circ$  çevrilmiş ve sürtünme yolu üzerindeki toz ve numune artıkları temizlenip tekrar yeni toz serpilmiştir. Çalışma kapsamındaki numunelere bu şekilde her bir numune için 16 kez 22 devir yani toplamda 352 devir yaptırılmıştır. Üretilen betonlardan belirtilen kıstaslara ve ölçüye göre kesilen numunelerin deney sonrasındaki aşınma miktarını belirlemek amacıyla deney öncesi ve sonrasında kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin her bir kenarında üç nokta ve ortada bir nokta olmak üzere belirlenen dokuz noktada 0,01 hassasiyette kumpas ile yükseklik ölçümleri alınmıştır.

Elde edilen aşınma değerleri Çizelge 4.3'te topluca verilmiştir. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi tuğla kırığı katkı miktarı arttıkça numunelerde meydana gelen aşınma miktarında da artış gözlenmiştir. En düşük aşınma değeri  $8.7 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  değeriyle kontrol konusu olan T300 ve en yüksek aşınma değeri  $14.1 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  değeriyle T350 serisinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Böhme aşınma sonuçları ( $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ )

TK Oranı	Aşınma miktarı ( $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ )
T300	8.7
T310	9.6
T320	11.3
T330	11.8
T340	12.9
T350	14.1

Mulheron and O' Mahony (1988) iki geri kazanılmış kaba agregayı karşılaştırmıştır. Bunlar beton kırıkları ve tuğla kırığı içeren karışımlardır. Çalışma sonucunda tuğla kırığı agregasının şekli beton kırıklarına göre daha yuvarlak iken aşınmaya karşı gösterdikleri direncin beton kırığı agregasına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Betonda kaba agrega olarak tuğla kırıklarının kullanılmasının araştırıldığı bu çalışma kapsamında, üretilen beton numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi için kontrol deneyleri yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır

Çalışma sonucunda, kiremit kırığı agregası miktarı arttıkça beton numunelerinin basınç dayanım değerleri düşmüştür. Kontrol numunesinin (T300) basınç dayanım değeri 264.35 kg/cm<sup>2</sup> iken kiremit kırığı agregası miktarı en az olan (T310) numunenin basınç dayanımı değeri 251.62 kg/cm<sup>2</sup>'dir. Kiremit kırığı agregası miktarı en az olan numune ile kontrol numunesi arasında yaklaşık % 5'lik bir değer kaybı vardır

Kiremit kırığı agregası miktarı arttıkça birim ağırlık değerleri düşmüştür. Kontrol numunesinin (T300) birim ağırlık değeri 2200 kg/m<sup>3</sup> iken T350 kiremit kırıklı numunenin birim ağırlığı 1828.3 kg/m<sup>3</sup> değerini almış, yaklaşık % 16.9'luk bir azalma meydana gelmiştir. Birim ağırlıklardaki düşüşün nedeni kiremit kırığı agregasının özgül ağırlığının kırmataşınkinden düşük olması ve kiremit kırığı agregası şeklinin kırmataşa göre daha köşeli olmasından dolayı yerleştirme esnasında meydana gelen boşluklardan kaynaklanmaktadır.

Beton numunelerinin 28 günlük kür uygulamasından sonra su emme oranlarında T300 karışımına göre T310, T320, T330, T340 ve T350 karışımları daha fazla su emme oranı değerlerine sahiptir. Kiremit kırığı agregalarının çok boşluklu bir malzeme olmasından ve su emme eğiliminin fazla olmasından dolayı su emme oranı fazla olmaktadır.

Kiremit kırığı agregası kullanılarak elde edilen beton numuneleri 300, 600 ve 900 °C sıcaklıklara maruz bırakılarak yüksek sıcaklık değerlerine karşı dayanımları test edilmiştir. Tuğla kırığı agregası pişmiş malzeme olması nedeniyle yüksek sıcaklık uygulaması sonucunda normal basınç dayanımı değerlerine oranla %10-20 aralığında basınç dayanımı göstermiştir.

Sonuç olarak tuğla kırığı agregası kullanılarak hazırlanan beton numuneleri üzerinde yapılan testler sonucunda betonlarda kiremit kırığı agregasının kaba agrega olarak kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır. Normal ortam koşullarında kiremit kırıklı betonlar ile normal betonlar arasında mekanik özellikler açısından büyük farkların oluşmadığı görülmüştür. Hazırlanan beton numuneleri içerisinde %10 tuğla kırığı agregası kullanılan beton numuneleri (T310) kontrol

numunesine (T300) en yakın sonuçları vermiştir. Uygulanan testler sonucunda tuğla kırığı agregasının beton agregası olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



## 6. Kaynaklar

- Andrade, C., Alonso, C., Khoury, G.A. (2003) Relating microstructure to properties. Course on Effect of Heat on Concrete. International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Italy.
- Anonim. 2004. Hafif agregalar. Beton Harç ve Şerbette Kullanım için. TS 1114 EN 13055-1. Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, 16 s.
- Anonim, 2008a. [http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapı\\_malzemesi/beton/3.1](http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapı_malzemesi/beton/3.1).
- Anonim, 2010. TS EN 12350-6, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyle, Bölüm 6: Deneyle Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2012. TS EN 12350-3, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyle, Bölüm 3: Deneyle numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Baradan B., Yazıcı H. ve Ün H., 2002, Betonarme yapılarda kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s.
- Batayneh, M.; Marie, I.; Asi, I. Use of selected waste materials in concrete mixes. //Waste Management. 27(2007), pp 1870-1876.
- Burnaz, O., Durmuş, A., Betonarme Yapı Elamanlarının Yangın Başarımları, Türkiye inşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı ve CD'si, Sayfa:100-102, Nisan, 2004.
- De Vries, P., 1993, Concrete re-cycled: Crushed concrete as aggregate, Concrete, 27, 3, 9-13.
- Dhir, R.K., Hewlett, P.C., Byars, E.A. and Bai, J.P., 1994, Estimating the durability of concrete in structures, Concrete, 28, 6, 25-26.
- Durmuş. G., ve Subaşı S., “Betonarme kalıp maliyetinin bilgisayar ortamında tasarımı”, UMES'07-Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu, 619-624, Kocaeli, 2007.
- Erdoğan, T.Y., 2003, Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını, Ankara, 741 s.
- Erdoğan T.Y. 2004. Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri. Türkiye Hazır Beton Birliği, ISBN 975-92122-1-8, Ankara, 85 s.

- Guise S.E., Short N.R. ve Purkiss J.A., (1996), "Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete", Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference Held at The University of Dundee, Scotland/UK.
- Güner, M.S., Süme, V., 2001, "Yapı Malzemesi ve Beton", Aktif Yayınevi, İstanbul, 336 s.
- Hammer, T. A. 1995. "Compressive Strength and EModulus of Elevated Temperatures", Report 6.1, High Strength Phase 3.SINTEF-repport nr STF70 A 95023, Trondheim, 16 pp.
- Hansen, T.C., 1992, Recycling of demolished concrete and masonry, RILEM Rep.6.E&FN Spon, London.
- Hossain, K.M.A., "Macro and Microstructural Investigations on Strength And Durability of Purmice Concrete at High Temperature", Journal of Materials in civil Engineering ASCE, 18(4) 527-536, 2006.
- Jankovic, K., 2002, Using recycled brick as concrete aggregate, Proc. 5th Triennial Int. Conf. on Challenges in concrete Construction, Concrete Technology Unit. Univ. of Dundee, Dundee, Scotland, 231-240.
- Kamanlı, M., Balık, F.S., 2003. Beton Teknolojisi. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 117s.
- Khaloo, A.R., 1994, Properties of concrete using crushed clinker brick as coarse aggregate, ACI Mater. Journal, 91, 2, 401-407.
- Khaloo, A.R., 1995, Crushed tile coarse aggregate concrete, Cement, Concrete and Aggregates, 17, 2, 119-125.
- Kenai, S., Debieb, F. and Azzouz, L., 2002, Mechanical properties and durability of concrete made with coarse and fine recycled aggregates, Proc. 5th Triennial Int. Conf. on Challenges in Concrete Construction, Concrete Technology Unit. Univ. of Dundee, Dundee, Scotland, 383-392.
- Kesegiç, I, Netinger, I, Bjegoviç, D., 2008. Recycled Clay Brick as an Aggregate for Concrete: Overwiev, Technical Gazette 15, 3, 35-40, ISSN 1330- 3651, UDC/UDK 691.322 : 628.4.036.
- Khalaf, F.M. and DeVenny, A.S., 2004, Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: review, Journal of Materials in Civil Engineering, 16, 4, 33-340.

- Khalaf, F.M., 2006. Using Crushed Clay Brick as Aggregate in Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18, 518-526.
- Khaloo, A.R., 1994, Properties of concrete using crushed clinker brick as coarse aggregate, *ACI Mater. Journal*, 91, 2, 401-407.
- Khoury, G.A., 1992, Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment, *Magazine of Concrete Research*, 44, 161, 291-309.
- Kızılkant, A.B ve Yüzer, N., Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi, **İMO Teknik Dergi**, 4381-4392, 2008.
- Sadegzadeh, M., Page, C. L. and Kettle, R. J.(1987) “Surface microstructure and abrasion resistance of concrete,” *Cement Concrete Res.*, vol. 17, pp. 581–590, July 1987.
- Luo, H.L. and Fin D.F. (2007) Study the surface color of sewage mortar at high temperature. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 1, pp. 90-97.
- Mulheron, M. and O’Mahony, M., 1988, The durability of recycled aggregates and recycled aggregate concrete, *Proc., 2nd Int. Symp. on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 2, 633-642.
- Neville, A.M. (2000) *Properties of Concrete*. Fourth Edition, Longman Scientific and Technical, pp. 581-585, NY, USA.
- Neville, A.M., 1978, *Properties of concrete*, Pitman Publishing Limited, 687p.
- Neville, A.M., 1997, *Properties of Concrete*, Pitman Publishing, London.
- Özel, C., Soykan, O., Zengin, B., 2012. Filler Olarak Mermer Tozu İçeren Beton Özelliklerinin Bulanık Mantık Kullanılarak Belirlenmesi, *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 2A0075, 7, (2), 28-46.
- Peng, G.F., Chan, S.Y.N, Song, Q.M. and Yi, Q.X., 2006a, Effect of high temperature on concrete: a literature review, *Key Engineering Materials*, 302-303, 138-149.
- Riley, M. A. 1991. “Possible New Method for the Assessment of Fire Damaged Concrete” *Magazine of Concrete Research*, Cilt 43, No 155, 87-92.
- Short, N.R., Purkiss J.A.and Guise S.E. (2001) Assesment of fire damaged concrete using colour image analysis. *Cement and Concrete Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 9-15.
- Şahin S., 2001. Türkiye’ de Tuğla-Kiremit Sanayinin Genel Görünümü ve Çorum ili örneği, *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 21, sayı 2, sayfa 19-41*.
- Topçu, İ.B. and Demir, A., 2007a, Research of fire and high temperature effects on concretes

- produced with waste crushed tile, ICSW 2007, The Twenty-Second International Congruence on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, USA, 1369-1377.
- Topçu, İ.B. and Demir, A., 2007b, Investigacion sobre los incendios altas temperaturas sobre el hormigon con arido de ceramicas de desecho trituradas, ERMCO, II Joint International Ready Mixed Concrete Congress, Seville, Spain.
- Topçu, İ.B. ve Demir, A., 2006. Kiremit kırıklı betonlarda yüksek sıcaklık etkisi. ACE 2006, 7th International Congress in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, Book of Abstracts, p. 456.
- Topçu, İ.B., 2006a, Beton teknolojisi, Uğur Ofset A.Ş., 570s.
- Topçu, İ.B., 2006b, Yapı malzemeleri ve beton, 502s.
- Topçu, İ.B., Demir A., Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, s. 455-463, İstanbul, 2007.
- Uğurlu, A., 1989. "Betonda Agrega Granülometrisinin Düzenlenmesi ve Önerilen Bir Yöntem: Fuller Parabolü", Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Bülteni, Sayı: 69.
- Yıldırım, M. ve Yılmaz, I., 2002. Yıldız Irmağı çökellerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliklerinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Dergisi, Seri-Yerbilimleri C.9, (2), s.,181-192, Sivas.
- Yüzer N., Akbaş, B. and Kızıllkanat A.B. (2007) Predicting the compressive strength of concrete exposed to high temperatures with a neural network model. TÇMB, 3rd International Symposium, Sustainability in Cement and Concrete, Vol 1, pp. 455-464.
- Zakaira, M. and Cabrera, J.G., 1996, Performance and durability of concrete made with demolition waste and artificial fly ash-clay aggregates, Waste Management, 16, 1-3, 151-158.