

Straforun Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

M. Haluk ÇELİK, Ayhan ÇELİK
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, polistiren esaslı ultrasentetik agrega olan strafor ile Isparta yöresine ait pomza agregası taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılmıştır. Hedeflenen straforun taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla straforun; (2.grup) %70 strafor + %30 kum, (3.grup) %80 strafor + %20 kum, (4.grup) %93 strafor + %7 kum olmak üzere üç farklı karışım; kıyas yapabilmek amacıyla (1.grup) %70 pomza + %30 kum karışımlarından elde edilen hafif betonlar TS 3234 ve TS 2511'e uygun olarak hazırlanmıştır. Numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş, straforun ve pomzadan üretilen hafif betonların basınç dayanım değerlerinin TS 3114'e uygunluğuna bakılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Strafor, Pomza, Taşıyıcı Hafif Beton, Hafif Agregası

A Study on Employability of Styrophor in Production of Structural Lightweight Concrete

ABSTRACT

In this study, the styrophor which is an ultrasynthetic aggregate with polystyrene basis and the pumice aggregate from Isparta area were used in production of lightweight concrete, and employability of styrophor intended was investigated in production of structural lightweight concrete. For this purposes, lightweight concretes produced from three different aggregates consisting of 70% styrophor + 30% sand (2. group), 80% styrophor + 20% sand (3. group), 93% styrophor + 7% sand (4. group) and 70% pumice + 30% sand (1. group), for comparison purposes, were prepared in comply with the Standards of TS 3234 and TS 2511. The mechanical and physical features of sample were studied and whether the values of pressure strength of lightweight concretes produced from both were in comply with TS 3114.

Key Words: Styrophor, Pumice, Structural Lightweight Concrete, Light Aggregate.

1.GİRİŞ

Günümüzde uçucu kül, silis dumanı, çeşitli bölgelerden çıkarılan pomza, volkanik tüfler, ince tahlı, palmiye yaprakları, odun talaşı gibi malzemeler hafif beton üretiminde en yaygın olarak kullanılanlar arasındadır. Avrupa ve Amerika'da hafif agrega kullanılarak imal edilmiş beton köprüler ve çok katlı binalar yapılmıştır. Hafif agregadan imal edilmiş betonlar ölü yüklerde ağırlık olarak büyük azalma sağladığından deprem bölgelerinde deprem kuvvetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Hafif agregadan imal edilmiş betonlarla yapılan binaların maliyetinde büyük indirimler sağlanacağından binalarda hafif betonların kullanımı büyük önem kazanmıştır (1).

Çalışmanın ana malzemesini oluşturan polistiren esaslı ultrasentetik strafor agregası Fransa'dan ülkemize ithalatçı firma aracılığı ile getirilmiş olup, bu malzeme ile üretilen hafif betonun taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda Isparta yöresinden getirilen pomza agregası ile üretilen taşıyıcı hafif betonunun dayanım yönünden karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1 Literatür Taraması

İlgün, pomza hafif agregasından elde edilen betonlar ve bu betonun imal edilmiş betonarme kirişlerin

dayanım ve davranışı teorik ve deneysel olarak incelenmiş. Hafif betonun imal edilen kirişlerin emniyetle taşıyıcı kiriş olarak kullanılabilirliğini görmüştür (1).

Şatır, taşıyıcı hafif betonlarda çelik lif kullanımının betonun özelliklerine etkisi araştırmıştır. Hafif betonlara çelik lif ilavesiyle bu malzemenin taşıyıcı amaçlı kullanımı cazip hale getirilmesini hedeflemiştir. Bu amaçla üretilen beton numunelerde çelik lifin ağırlıkça yüzdesini değiştirmiştir. Elde ettiği standart silindir ve prizma numuneler üzerinde basınç, yarma, eğilme deneyleri yapmıştır. Deney sonuçları lifsiz hafif beton numunelerinin, deney sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çelik lif ilavesiyle basınç, çekme dayanımlarında önemli ölçüde artış kaydetmiştir. Çelik lifli hafif beton kullanarak normal beton mukavemetine yaklaşmıştır (2).

Boratav, araştırmasında, volkanik tüf taşı kullanmış, yüksek dayanımlı hafif beton üretimi için çeşitli deneysel araştırmalar yapmıştır. İlk aşamasında çimento dozajı, silis duman miktarı, maksimum agrega çapı, kum miktarı, kaba-ince agrega oranları değişken parametreler olarak seçmiş ve en uygun karışımları saptamıştır. İkinci aşamadaki karışımlarda ise değişken olanlarda çelik lif kullanmış ve bununla beton kırılma dayanımını azaltılmasını sağlamıştır. Kullanılan liflerin, kuru birim ağırlığı önemli ölçüde arttırmadığı görmüş, ancak plastik ve rötre deneylerinde özellikle

çelik lifin olumlu yönde katkısı olduğunu saptanmıştır. Elastik modülüs değerlerinin normal betonunkinden daha az olduğu saptanmıştır (3).

Öztoğ, Kayseri yöresinde bulunan pomza hafif agregalarının yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı beton üretimindeki uygunluğu araştırmıştır. Hafif beton yapımında kullanılan kum, bims, çimento, silis dumanı, uçucu kül gibi malzemeler, beton özellikleri üzerindeki etkilerini görülebilmek için farklı miktarlarda kullanmıştır. Yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı betonların en yüksek basınç dayanımını 43,2 MPa ve 47,8 MPa elde etmiştir (4).

Arıcı, Van yöresindeki tufün beton agregası olarak kullanılabilirliğini, basınç dayanımına etkisini ve taşıyıcı hafif betonda kullanılabilirliği konuları incelemiştir. Deneyler sonunda volkanik tufün beton agregası olarak kullanılabilirliğini görmüş. Beton mukavemetine etkisini incelerken sonuçta basınç dayanımında %10 luk artış sağlamıştır. Taşıyıcı hafif beton elde edebilmek için deneyler yapmış ve BS14-BS16 dayanım sınıfları arasında betonlar üretmiştir (5).

Ulus, çalışmada Erzincan Molla Köy ham perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla değişik doz ve slump değerinde farklı karışımlar yapmış fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiş, beton basınç mukavemetinin, dozun artması ile arttığı ve çökmenin artması ile azaldığı görmüştür (6).

Şahin, araştırmasında Koca pınar pomzası ile taşıyıcı hafif beton üretimini araştırmak için farklı pomza, karışımdaki toplam agrega hacmine oranla, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında normal agregaya katılarak üç farklı çökme değerli betonlar üretmiş daha sonra %75 normal, %25 hafif agregalı karışımlarda dozaj 200, 250, 300, 350, 400 ve 500 kg/m³ şeklinde değiştirerek dozajın betona etkisini incelemiştir. Çimento dozajının ise betonun hem birim ağırlığını hem de mukavemetini arttırdığını görmüştür. Karışımdaki puzolan mukavemet düşmelerine sebep olsa da düşük puzolan oranlarında bu düşmelerin çok az olduğunu tespit etmiştir (7).

Şatana, araştırmasında Kayseri pomzası ve leçelik volkanik tufünü kullanarak ürettiği taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini belirlemiş, benzer kıvam ve farklı çimento dozajlarında çeşitli kontrol karışımları hazırlamış, kimyasal ve mineral katkı içeren karışımlar hazırlamış ve sonuçta taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini görmüştür (8).

Aksoy, çalışmasında, çeşitli taşıyıcı hafif beton tipleri incelenerek normal beton özellikleri ile karşılaştırılmış. Hafif betonların dayanım dayanıklılık ve ekonomik yönden analizini yapmıştır (9).

Hague, Al-Khaiat ve Kayali, çalışmalarında sırasıyla taşıyıcı hafif betonun durabilitesi ve dayanımını

ölçmek için; sırasıyla 28 günlük 35 ve 50 MPa küp basınç dayanımına sahip SLWC35 ve SLWC50 olmak üzere iki hafif agregalı beton dökmüşlerdir. Beton numuneler, deniz kumu ve hafif kaba agregayla yapılmıştır. Burada kullanılan deniz kumu ve havadan gelen tuzu içermiştir ve sahil şeridinin düzensiz kondüsyonu, yani sıcak ve nemli olmasına maruz kalmıştır. Basınç dayanımı için ileri sürülen sonuçlar, karşılaştırmalı olarak araştırılmış 12 ay boyunca bütün klorat ve sülfat penetrasyonlarına maruz bırakmalar kabul edilebilir limitler içinde kaldığını görmüşlerdir (10).

Ganesh Babu ve Saradhi Babu, çalışmalarında, polimerle modifiye edilmiş dayanımı yüksek hafif agregalı betonun mekanik özelliklerini incelemiştir. Brezilya'da imal edilen styren-butadien kauçukla modifiye edilmiş hafif agregalı betonların fiziksel özelliklerini incelemiştir. Hafif agregalı betonda SBR lateks içeriği, su/(çimento+ silis dumanı) oranı ve su emme oranını düşürdüğü, şiddetli gerilme ve eğilmede çekme dayanımlarını arttırdığını görmüşlerdir (11).

Chi, Huang, Yang ve Chang, araştırmalarında hafif betonun sağlamlığı ve dayanımında agrega özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Bu deneysel çalışmada basınç dayanımları ve soğuk bağlı topaklanmış hafif agrega betonlarının elastik modüllerini elde etmeye çalışmışlardır. Yapılana analiz sonucunda su/bağlayıcı malzeme oranı ve hafif agregaların özellikleri, betonun basınç dayanımını ve elastik modülünü etkileyen önemli iki faktör olduğunu görmüşlerdir (12).

Gao ve Lo, çalışmalarında dayanımı yüksek hafif agregalı betonun mikro yapısı ve mikro çatlaklarını araştırmışlardır. Dinamik elastisite modülü, sertleşmiş Hplac'la oluşan mikro çatlaklar, tanımlanan durabilite-nin birincil faktörü olduğunu görmüşlerdir(13).

Chia ve Zhang, araştırmalarında, yüksek dayanımlı hafif agregalı betonun su ve klorat permeabilitesini karşılaştırmışlardır. Sonuçlar normal betonla kıyaslanmış. 30-40 MPa dayanım seviyesi altında sonuçlar, hafif betonun su permeabilitesinin normal betonunkine nazaran düşük olduğunu göstermiştir(14).

Chen, Yen, Lia ve Huang, çalışmalarında hafif agrega betonunda dayanım bölünmesi ve beton dayanımını ile ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Betonun dayanımı harcın ve agreganın dayanımına bağlıdır. Sonuçta tasarlanmış basınç dayanımına sahip beton, mukavemet bölünmesine sahip betondan daha fazla çimento tüketir, boşuna çimento tüketimi meydana gelir(15).

1.2.Amaç

Bu çalışmada, strafor (2. grup %70 strafor-%30 kum, 3. grup %80 strafor- %20 kum, 4. grup %93 strafor-%7 kum) ve Isparta yöresi pomzası (1.grup, kıyas numunesi %70 pomza- %30 kum) hafif beton karı-

şımına değişik oranlarda katılarak betonun basınç dayanımlarındaki değişimler tespit edilmiştir. Deney sonuçlarının doğruluğu kısıtlayıcı tek etkenli dört özel düzeyli deneyler kategorisinde tek yönlü varyans çözümlemesi yapılarak ölçülmüştür. Dik doğrusal bağlantılar kurularak düzeylerin birbirleriyle olan etkileşimleri "strafor malzemesinin basınç dayanımına etkisi yoktur" hipotezi ile sorgulanmıştır.

şımında dozaj sabit tutulmuş strafor miktarı %10 artırılmış, Grup-4'te dozaj 350 kg/m³ olmuş, strafor miktarı %23 arttırılmıştır. Böylelikle strafor miktarının taşıyıcı hafif betondaki etkisi gözlenmiştir. 1 m³ hafif beton için hazırlanan karışımlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

2.2.2 Betoniyerde karışımın hazırlanması

Öncelikle çimento ve suyun 2/3 ü arkasından strafor agregasının yarısı ilave edilerek birkaç dakika

Tablo 1: 1 m³ hafif beton için hazırlanan karışım tablosu.

	Grup 1 (Pomza)	Grup 2 (Strafor)	Grup 3 (Strafor)	Grup 4 (Strafor)
Çimento (kg)	300,00	300	300	350
Su (lt)	261,49	180	170	160
Kum (kg)	615,00	600	400	140
Pomza (dm ³)	595,70	-	-	-
Strafor (dm ³)	-	600	700	850
*Elyaf	-	+	+	+

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Beton yapımında TS 12143 standardına göre hazırlanmış ve SET çimento fabrikasından temin edilen PKÇ 32,5 portland kompoze çimentosu kullanılmıştır.

Kullanılan agregalardan; maksimum tane çapı 4mm ve sert kalker olan kum agregası Elmadağ taş ocağından temin edilmiştir. Karışımında kullanılan kumun birim hacim ağırlığı 2,40 kg/dm³, su emme oranı %1,00, yıkanabilir madde miktarı %2,98 ve bünyesinde bulunan organik madde miktarının zararsız olduğu tespit edilmiştir. Pomza Isparta bölgesinden getirilmiş, maksimum tane çapı 6mm, birim hacim ağırlığı 1,30 kg/dm³, su emmesi %38 olarak tespit edilmiştir. Fiziksel özellikleri; sertlik 5,5-6,0, yapısal bozunma 760°C, ergime ısısı 1343 °C tır (16). Kullanılan strafor agregası, granül olarak, 100 dm³ çuvallar içinde ülkemize Fransa'dan ithal edilmektedir. Birim hacim ağırlığı 0,02 kg/dm³ tür(17). Genleştirilmiş polistiren esaslı malzemedir. Kullanılan elyaf 10-12 mm'lik polipropilen esaslıdır. Beton karışımında Ankara İvedik tesislerinden gelen şebeke içme suyu kullanılmıştır.

2.2 Metot

2.2.1. Beton Karışımının Hazırlanması

Karışım hesabı TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları dikkate alınmıştır.

Hafif agregalı betonların net, su / çimento oranı, karışım hesabına esas olabilecek yeterli doğrulukta saptanamadığından hafif agregalı beton karışımları şart koşulan kıvamda, çimento dozu esas göz önüne alınarak yapılmıştır(18).

Esas olarak çalışmada kıyas yapmak amacıyla pomza ve strafor esaslı iki farklı karışım kullanılmıştır. Hesaplarda 300 kg/m³ dozaj kullanılmıştır. Grup-3 kari-

şırılmıştır. İşleme arta kalan strafor ilave edilerek devam edilmiştir. Kum katılmış ve elyaf kalan suyla beraber çözülerek karışıma ilave edilmiştir. Elde edilen beton kalıplara dökülmeye hazır hale gelmiştir. Pomzada da aynı karıştırma işlemi uygulanmıştır.

2.2.3 Deney numunelerinin kürü

Beton numuneler, döküm işleminden bir gün sonra kalıplardan çıkartılmış TS 3234 standardına uygun olarak 25 günün ardından 3 gün süreyle 60 °C sıcaklığa ayarlı bir etüvde kurutulmuştur. Daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş numuneler hazırlanmıştır.

2.2.4 Deneyde kullanılan cihazlar

Kiriş kalıplara dökülen taze betonun vibrasyonu için frekansı 3000 vuruş/dak. genliği 0,572 olan 50 Hz Motorlu vibratör masası kullanılmıştır. 28 günlük dayanımını kazanan numunelerin, basınç dayanımları 0,800 kN yükleme hızıyla 3000 kN yükleme yapabilen beton test cihazında yapılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Kuru Yoğunluk Değerleri

Gruplara ait kuru yoğunluk değerleri tespit edilmiş ve grup-1'den grup-4'e doğru azaldığı görülmüştür. Referans gruba en yakın değerler grup-2'ye ait olduğu gözlenmiştir. Numunelere ait kuru yoğunluk değerleri Tablo 2 de verilmiştir.

3.2 Eğilmede Çekme Dayanım Değerleri

Gruplara ait eğilmede çekme dayanım değerleri tespit edilmiş ve eğilmede çekme dayanım değerlerinin grup-1'den grup-4'e doğru azaldığı görülmüştür. Referans gruba en yakın değerlerin grup-2'ye ait olduğu gözlenmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğil-

mede çekme dayanımlarına ilişkin veriler Tablo 3'te verilmiştir.

nyımlarına ilişkin veriler tablo 6 da verilmiştir. Ayrıca her dört gruba ait ortalama basınç diyagramı Şekil-1'de

Tablo 2 : Grupların Kuru Yoğunluk Değerleri (kg/m³)

Numune Sayısı	GRUP 1 Referans Numune, %70 Pomza %30 Kum	GRUP 2 %70 Strafor %30 Kum	GRUP 3 %80 Strafor %20 Kum	GRUP 4 %93 Strafor %7 Kum
1	1440	950	800	520
2	1450	1000	840	600
3	1520	1000	850	600
4	1420	950	900	560
5	1450	1010	800	550

Tablo 3 : Grupların Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri (kgf/cm²)

Numune Sayısı	GRUP 1 Referans Numune, %70 Pomza %30 Kum	GRUP 2 %70 Strafor %30 Kum	GRUP 3 %80 Strafor %20 Kum	GRUP 4 %93 Strafor %7 Kum
1	2,94	2,05	1,61	1,25
2	2,91	2,07	1,70	1,13
3	3,04	2,06	1,80	1,23
4	2,95	2,08	1,75	1,20
5	3,00	2,10	1,68	1,27

3.3. Su Emme Değerleri

Gruplara ait ortalama su emme değerleri tespit edilmiştir. Su emme oranları grup-1'den grup-4'e doğru artmıştır. Numunelerden elde edilen ortalama su emme değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Grupların Ortalama Su Emme Değerleri (%)

GRUP 1 Referans Numune, %70 Pomza %30 Kum	GRUP 2 %70Strafo r %30 Kum	GRUP 3 %80Strafo r %20 Kum	GRUP 4 %93 %7 Kum
15,27	18,72	20,30	26,40

3.4. Isı İletkenlik Değerleri

Gruplara ait ortalama ısı iletkenlik değerleri tespit edilmiştir. Isı yalıtımı grup-1'den grup-4'e doğru artmıştır. Numunelerden elde edilen ortalama ısı iletkenlik değerleri tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 : Grupların Ortalama Isı İletkenlik Değerleri (W/mk)

GRUP 1 Referans Numune, %70 Pomza %30 Kum	GRUP 2 %70 Strafor %30 Kum	GRUP 3 %80 Strafor %20 Kum	GRUP 4 %93 Strafor %7 Kum
0,72	0,32	0,26	0,14

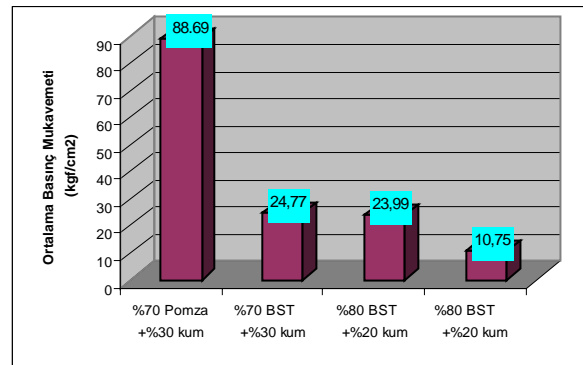
3.5. Basınç Dayanım Değerleri

Gruplara ait basınç dayanım değerleri tespit edilmiştir. Referans gruba en yakın basınç dayanım değerleri grup-2 ve grup-3'e ait olduğu gözlenmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen beton basınç daya-

verilmiştir.

Tablo 6 : Grupların Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm²)

Num. Say.	GRUP 1 Referans Numune %7 0 Pomza %30 Kum	GRUP 2 %70 Strafor %30 Kum	GRUP 3 %80 Strafor %20 Kum	GRUP 4 %93 Strafor %7 Kum
1	89,84	19,78	15,60	6,93
2	89,43	20,19	20,80	8,77
3	95,02	25,49	25,60	5,20
4	85,30	31,30	24,58	7,35
5	82,60	32,90	16,42	7,24
6	90,80	29,60	26,10	12,54
7	85,50	21,61	27,63	13,66
8	92,22	25,60	30,08	15,91
9	81,10	19,21	27,33	13,56
10	95,13	22,05	25,80	16,40



Ortalama Basınç Dayanımı

Şekil.1 Grup 1,2,3 ve 4'e ait ortalama basınç dayanımları (kgf/cm²)

4. STRAFORUN BASINÇ DAYANIMINA AİT ANALİZİ

Straforun taşıyıcılık yönünü incelemek amacıyla, basınç dayanımına ait verilerin analizi yapılmıştır. Hafif beton içerisindeki strafor ve pomza miktarının beton basınç dayanımına etkisine ait veriler Tablo-7'de verilmiştir.

Bu verilerin doğruluğunu tespit etmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

Matematiksel model denklemi; $Y_{ij} = \mu + \tau_{ij} + \varepsilon$ olarak kurulmuştur. Bunun için aşağıdaki işlemler yapılmıştır ve,

Genel kareler toplamı;

$$KT_{genel} = 37602,094,$$

$KO_{genel} = 12265,537$ olarak bulunur.

Hata kareler ortalaması ise;

$KO_{hata} = 22,375$ olarak hesaplanır ve buradan elde ettiğimiz verilere "F testi" ile F_{hesap} aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F = \frac{KO_{genel}}{KO_{hata}} = 548,191$$

Bulunan bu değer Tablo 10 daki varyans çözüm tablosuna aktarılmıştır.

$\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyi dikkate alınırsa "F" dağılım tablosundan $F_{3,36} = 2,89$ olarak bulunur. Hipotez red olduğu için straforun basınç dayanımına etkisi olduğu kabul edilmiştir. İlgili anlamlılık grafiği Şekil-2 deki gibidir.

Tablo 7 : Tuğla numuneleri Basınç Dayanım Değerleri (kgf/cm²)

Numune Sayısı	GRUP 1 Referans Numune %70 Pomza %30 Kum	GRUP 2 %70 Strafor %30 Kum	GRUP 3 %80 Strafor %20 Kum	GRUP 4 %93 Strafor %7 Kum	
1	89,84	19,78	15,60	6,93	
2	89,43	20,19	20,80	8,77	
3	95,02	25,49	25,60	5,20	
4	85,30	31,30	24,58	7,35	
5	82,60	32,90	16,42	7,24	
6	90,80	29,60	26,10	12,54	
7	85,50	21,61	27,63	13,66	
8	92,22	25,60	30,08	15,91	
9	81,10	19,21	27,33	13,56	
10	95,13	22,05	25,80	16,40	
T _j	886,94	247,73	239,94	107,56	T= 1482,17
n _j	10	10	10	10	N= 40
$\sum_{j=1}^{n_j} Y_{ij}^2$	78882,946	6364,463	5967,154	1308,229	$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 = 92522,792$

Tablo 8 : Straforun Basınç Dayanımına Ait Varyans Çözümleri

Kaynak	Pomza	KT _{deneme}	KO _{genel}	F
Denemeler Arası	(k-1) = 3	36796,610	12265,537	$F_{hesap} = 548,191$
Denemeler İçi	(n-k)= 36	805,484	22,375	$F_{tablo} = 95F_{3,36} = 2,89$ $F_{hesap} > F_{tablo}$
Toplam	39	37602,094	548,191	Hipotez Red olur.

Denemeler arası kareler toplamı;

$KT_{deneme} = 36796,610$ olarak bulunmuştur. Buradan

Hata kareler toplamı;

$KT_{hata} = 805,484$ olarak bulunur. Bulunan bu değerden yararlanarak

Genel kareler toplamı;

Şekil.2 "F" Testi Grafiği ($\alpha = 0,05$)

4.1 Straforun Basınç Değerlerine Ait Dik Doğrusal Bağlıntıların Kurulması ve Test Edilmesi

Varyans analizinin kontrolü için, deneyimizde serbestlik derecesi (sd) 3 olduğunda numuneler arasında üç adet dik doğrusal bağıntı kurulabilir. Buna göre;

$$\begin{array}{cccc} C_1 & T1 & & -T4 \\ C_2 & & T2 & -T3 \\ C_3 & T1 & -T2 & -T3 & +T4 \end{array}$$

olarak dik doğrusal bağıntılar kurulmuştur.

Kurulan üç doğrusal bağıntı için T_j nin bağıntıları Tablo-9 da verilmiştir.

Tablo-9 T_j Bağıntıları

	T1	T2	T3	T4
C ₁	+1	0	0	-1
C ₂	0	+1	-1	0
C ₃	+1	-1	-1	+1

Tablo 9 da verilen dik doğrusal bağıntı katsayılarından yararlanarak;

$$C_m = \sum_{j=1}^k C_{jm} T_{jm} \sum C_m = 0 \text{ ifadeleri kullanılıp}$$

$$C_1 = 735,882$$

$$C_2 = 7,780$$

$$C_3 = 440,850$$

değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Bunlara ilişkin kareler toplamı } KT_{cm} = \frac{C_{2m}}{\sum_{j=1}^{C_{2m}} C_{2m}} \text{ ifadesi}$$

kullanılarak hesaplanırsa;

$$KT_{c1} = 27076,150$$

$$KT_{c2} = 3,020$$

$$KT_{c3} = 9717,440 \text{ olarak bulunur.}$$

Burada her bir dik doğrusal bağıntı için hipotez testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Deneme kareler toplamı;

$$KT_{c1} + KT_{c2} + KT_{c3} = 36796,61$$

Her bir kareler toplamı 36 serbestlik dereceli hata ortalamasıyla test edilebilir.

$${}_{95}F_{1,36} = 4,13 \text{ olarak tablodan bulunur.}$$

$$H_1 : \tau_1 = \tau_4 \quad F_{1,36} = 1210,107 > 4,13 \quad H_1 \text{ red olur.}$$

$$H_2 : \tau_2 = \tau_3 \quad F_{1,36} = 0,135 < 4,13 \quad H_2 \text{ red olmaz.}$$

$$H_3 : \tau_1 + \tau_4 = \tau_2 + \tau_3 \quad F_{1,36} = 434,299 > 4,13 \quad H_2 \text{ red olur.}$$

Yapılan “F” testi neticesinde birinci ve üçüncü hipotez reddedildi. Birinci ve dördüncü numuneler arasında önemli fark vardır. Aynı şekilde ikinci ve üçüncü numunelerin arasında ise basınç dayanımları açısından

önemli bir fark yoktur. Analiz sonucunda straforun basınç dayanımını etkilediği, strafor oranının karışım içerisinde artmasıyla basınç dayanımının düştüğü gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırdığımız strafordan üretilmiş hafif beton numuneleri üzerine yaptığımız deneysel araştırmalardan elde edilen sonuçlar neticesinde straforlu hafif betonun dayanımı, pomzalı hafif betona nazaran daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında eğilmede çekme dayanımı yönüyle olumlu sonuçlar vermiştir. Isı yalıtım sonuçlarında istenilen değerlerdedir. Straforun taşıyıcılıktan ziyade yalıtım malzemesi olarak ve bölme duvar üretiminde kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Kullandığımız straforun, karışım içindeki oranları (%70, %80, %93) dikkate alındığında straforun miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı, ancak kuru yoğunluğunun, eğilmede çekme dayanımının, ısı yalıtımının ve su emme oranlarının arttığı tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- İlgün, A., Hafif Betondan İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Dayanım ve Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1992.
- Şatır, Y., Taşıyıcı Hafif Betonlarda Çelik Lif Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2000.
- Boratav, S.S., Lif Takviyeli Yüksek Dayanımlı Hafif Beton, Yüksek Lisans Tezi ODTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 1997.
- Öztok, İ., Yüksek Dayanımlı Doğal Hafif Agregalı Beton, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 1997.
- Arıcı, E., Van Yöresindeki Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi ve Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ 1997.
- Ulus, İ., Erzincan Molla Köy Ham Perlit Agregasının Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1997.
- Şahin, R., Koca Pınar Pomzasıyla Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1996.
- Şatana, O.A., Bims ve Leçelik Agregaları ile Üretilmiş Taşıyıcı Hafif Beton, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994.
- Aksoy, H.S., Hafif Betonların Dayanım, Dayanıklılık ve Ekonomik Yönden Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1995.
- M.N. Hague, H. Al-Khaiat, O. Kayali, Strength and durability of lightweight concrete, Cement and Concrete Composites 16.April. 2002- 02 December 2002.

11. K. Ganesh Babu, D. Saradhi Babu, Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cement and Concrete Research 17. January. 2002- 04. November. 2002.
12. J.M. Chi, R. Huang, C.C. Yang, J.J. Chang Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of Lightweight Concrete, Cement and Concrete Composites 23 April 2001- 29 April 2002 .
13. X.F. Gao, Y.T. Lo, C.M. Tam Investigation of micro-cracks and microstructure of high performance lightweight aggregate Concrete, Building and environment 12 january 2001-03 May 2001
14. Kok Seng Chia, Min-Hong Zhang, Water, permeability and chloride penetrability of high strength lightweight aggregate concrete, Cement and Concrete Composites 11 july 2001-08 November 2001 .
15. H.J. Chen, T. Yen, T.P. Lia, Y.L. Huang, Determination of the dividing strength and Its relation to the concrete In lightweight aggregate concrete, Cement and Concrete Composites 04 September 1997-27 july 1998.
16. Davraz, M., Isparta Pomzasının Özellikleri, Yüksek Lisans Seminer Çalışması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta 1997.
17. Basf Firması Teknik Verileri(Bst)
18. TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, 1977.
19. Çelik, M. H., Deney Düzenleme ve Çözümleme Metotları, Yüksek Lisans Ders Notları, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi A.B.D., Ankara, 1996.
20. TS 3234, Bims beton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları,Türk Standartları Enstitüsü,1978.
21. TS 1114, Hafif Agregalar-Beton İçin, Türk Standartları Enstitüsü,1986.
22. TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Türk Standartları Enstitüsü, 1989.