

Sepiyolitli Lif Takviyeli Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

T. Kavas & E. Sabah

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Betona dayanım kazandırmak ve esnekliğini artırarak kırılma mukavemetini geliştirmek amacıyla günümüze kadar bir çok hammadde betona ilave edilmiştir. Bu çalışmada, sözü edilen amaç doğrultusunda Portland çimentosu klinkeri ve alçı taşından oluşan karışıma % 3, %5, % 10, % 15, % 20 ve % 30 oranlarında sepiyolit katılarak çimentonun özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen karışıma kimyasal testler, elek analizleri, blaine testleri, genleşme deneyleri, donma başlangıcı ve donma sonu, basma dayanımı ve eğilme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik testler yapılarak, çimentoya ilave edilen sepiyolit oranına göre hangi özelliklerin geliştirildiği, tespit edilmiştir. Yapılan testler ve deneyler sonucunda, betona % 10 sepiyolit katkısının klinker miktarındaki azalmaya karşın çimentonun basma dayanımını ve eğilme dayanımını geliştirdiği, ayrıca çimentonun diğer özelliklerinde de herhangi bir olumsuzluğa sebep olmadığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT: By today, several raw materials have been added to concrete to improve its bending strength by increasing its flexibility and to give it a better strength. In this direction, in this study, the cement's characteristics were tried to be improved by adding 3%, 5%, 10%, 15%, 20% and 30% sepiolite to the mixture of portland cement clinker and limestone. After applying chemical tests, sieve analysis blaine tests, soundness experiments and physical and mechanical tests such as initial setting time, final setting time, bending strength to the mixture, the characteristic which was strengthened were determined by considering the proportion of sepiolite in the cement. According to the results the tests and the experiments, it was found that adding a 10% sepiolite to the concrete improves the comprehensive strength and bending strength of the cement despite the decrease in the amount of clinker and the use of sepiolite does not cause any negative effect on the other characteristics of the cements

1. GİRİŞ

Bütün dünyada GRC (Glass Reinforced Cement Composites)-GFRC (Glass Fibre Reinforced Cement Composites) olarak bilinen ve önemli teknik özellikleri ile 1969 yılından bu yana inşaat teknolojisinde kullanılan lif takviyeli beton, 1980'li yılların ikinci yarısından itibaren ülkemizde de başta nitelikli yapılarda olmak üzere yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. İnşaat sektöründe özellikle teknoloji ağırlıklı üretilen prestij yapılarında ve çağdaş yapı teknolojisinin kullanıldığı yapılar ile tarihi yapıların yenilemelerinde diğer malzemelere göre önemli avantajlar sağlamaktadır.

Beton; çimento, su ve ince ya da kaba agrega içeren hidrolik bir bağlayıcıdır. Bu şekilde hazırlanmış bir betona düzensiz lifli yapı, doğal veya yapay malzemelerin ilave edilmesiyle elde edilen betona ise lif takviyeli beton adı verilmektedir. Lif takviyeli beton prekast ürünler, 80'li yıllardan

başlayarak hızlı bir değişim sürecine giren inşaat endüstrisinde, teknik ve estetik kolaylıklar nedeniyle, gerek tasarımcılara ve gerekse müteahhitlerimize estetik, hafif, pratik, sağlam ve ekonomik beton prekastlar sunarak sektörde önemli bir görevi yerine getirmektedir.

Bu çalışmada, portland çimentosu klinkeri ve alçı taşından oluşan karışıma değişik oranlarda sepiyolit katılarak lif takviyeli beton üretimi hedeflenmiş, yapılan fiziksel ve mekanik testlerle lifli yapıya sahip sepiyolit katkısının betonun dayanımına etkisi araştırılmıştır.

2. LİF TAKVİYELİ BETON ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Çimento, su ve doğal asbest karışımından oluşan lif takviyeli çimento, Avusturya'da ilk defa Ludwig Hatschek tarafından 1901 yılında bulunmuştur.

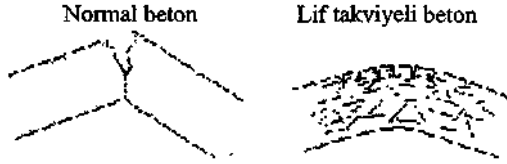
Ancak, lifsi yapıyı temin eden asbest, sebep olduğu sağlık sorunları nedeniyle, sonraları yerini sentetik lifsi malzemelere bırakmıştır. Günümüzde lif katkılı beton üretiminde çeşitli uzunluk, kalınlık ve geometriye sahip çelik, cam veya plastik fiberler kullanılmaktadır (Çizelge 1). Sağlık ve esneklik

açısından yeterli uzunluğa sahip, küçük çaplı çbk sayıda life ihtiyaç vardır. Bunların hacimce %0.4-3 oranında çimento matrisine ilavesiyle betonun gerilme ve kırılma davranışlarında önemli iyileşmeler meydana gelmektedir

Çizelge 1. Fiber ve Çimento Matrix'inin Özellikleri (Mehta ve Monteiro, 1986).

Fiber	Çap (µm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (kN/mm ²)	Gerilme Dayanımı (kN/mm ²)	Kırılma Sırasında Uzama (%)
Asbest	0.02-20	2.55	165	3-4.5	2-3
Cam	9-15	2.60	70-80	2-4	2-3.5
Grafit	8-9	1.90	240-415	1.5-2.6	0.5-1.0
Çelik	5-500	7.84	200	0.5-2.0	0.5-3.5
Polypropilen	20-200	0.91	5-77	0.5-0.75	20
Aromatik Polyamid	10	1.45	65-133	3.6	2.1-4.0
Sisal	10-50	1.50	-	0.8	3.0
Çimento Matrisi	-	2.50	10-45	3-7.10 ¹³	0.02

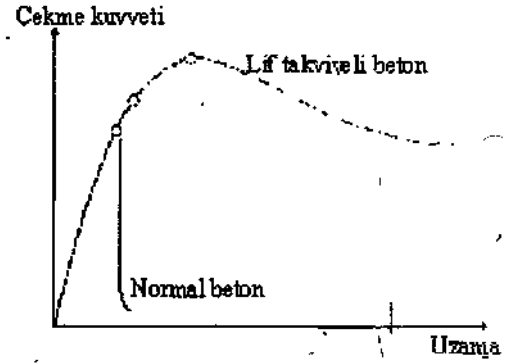
Normal beton, 25-100 N/mm² arası yüksek basınç dayanımında düşük bir çekme dayanımına (<4 N/mm²) sahiptir. Bundan dolayı oluşan gerilmelerin yeterli çekme dayanımına sahip yapı elemanları ile karşılanması zorunluluğu vardır. Lif takviyeli beton, bünyede meydana gelen çatlak büyümelerini önler ve betonun çekme, kırılma ve çarpma dayanımını iyileştirir. Bu sayede, kırılma esnasında sayısı az büyük çatlaklar yerine, çok sayıda ancak küçük/ve zararsız çatlaklar meydana gelir (Şekil 1).



Şekil 1. Normal ve lif takviyeli betonun kırılma davranışı.

Lifle güçlendirilmiş betonda, çimentolu kısımlar kırıldıktan sonra bile yüksek esneklik özelliğine sahip lifler sayesinde daha büyük çekme kuvvetleri karşılanabilmektedir. Lif takviyeli beton, aşırı yük

durumunda normal beton gibi ani kırılma özelliğine sahip değildir (Şekil 2).



Şekil 2. Lif takviyeli ve normal betonda çekme kuvveti ve uzama arasındaki ilişki (Weigler ve Kari, 1989).

Lif takviyeli beton kullanımının sağladığı avantajlar:

- Mekanik dayanıklılığı geleneksel yapı malzemelerine göre yüksektir.
- Isı yalıtımında yüksek performansa sahiptir.

- Su yalıtımında/doygun yapı ve geçirgenliğin olmayışı avantajım sunmaktadır.
- Aşınma değerleri açısından geleneksel yapı malzemelerinden üstün performans özelliği gösterir. 10 mm kalınlığındaki bir lif takviyeli beton levhanın 60 yıllık hızlandırılmış erozyon testi karşısında 1 mm yüzey kaybına uğradığı görülmüştür.
- Akustik değerler (ses geçirgenliği) açısından da geleneksel yapı malzemelerine göre yüksek performansa sahiptir. 10 mm kalınlıktaki bir GFRC-FTB (20 kg/m³) 300 Hz'de 22 dB'den 400 Hz'de 39 dB ses azalmasına sahiptir. Normalde 30 dB kabul edilebilir
- Yangına karşı dayanıklılık özelliğine sahiptir.
- Atmosfer, ısı, yağış, radyasyon vb. etkilere karşı şartlarından etkilenmez.
- Üretim ortalama kalınlığı yaklaşık 10 mm ile 20 mm'dir. Böylelikle büyük ebatlardaki parçalarda dahi kolay taşıma ve montaj avantajı sunmaktadır.
- Hijyen ve çevresel değerlerle ilişkiler ve çevresel etki açısından zararlı veya sağlık açısından toksik maddeyi barındırmamaktadır.
- Her türlü mimari forma uygulanabilme özelliğine sahiptir.
- Bina cephesi giydirilmesinde kullanılabilme özelliği vardır.
- Kaba inşaat sırasında oluşan hataların giderilmesi amaçlı kullanma olanağı vardır.
- Betondan daha dayanıklı ve hafiftir.

Lif takviyeli betonun kullanım alanları, lifsi malzemenin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde en fazla kullanılan lif katkı maddesi çelik fiberler olup kullanıldığı yerler aşağıda verilmiştir:

- Endüstriyel tesislerin zeminlerinde ve otoyol döşemelerinde,
- Köprü ayaklarında ve kazıklı zeminlerde,
- Hava alanı pistlerinde,
- Patlama tehlikesi olan binalarda,
- Kavitasyon yükü olan hidrolik inşaatlarda,
- Tünel ve galeri inşaatlarında.

Lif katkı maddesi olarak alkaliye dayanıklı özel cam elyafların kullanıldığı cam fiber takviyeli beton, hafifliğinin yanı sıra üretim tekniğinde kalıp kullanımına izin vermesi, istenen form ve yüzey dokusu sağlaması ile büyük bir dizayn fleksibilitesi sunmaktadır. Sağlık nedenlerinden dolayı asbestin

yasaklanmasıyla onun yerine kullanılan cam fiber takviyeli beton; bina cephesi, çatı kaplaması, tribün elemanları, boru ve ses izolasyonlu duvar yapımında yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Plastik malzemeden ibaret polypropilen fiberler ise daha çok temel inşaatlarında ve kaplamalarda ince çatlakların kapatılmasında etkili olmaktadır.

3. SEPIYOLİT

Sepiyolit, $\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ formülü ile ifade edilen, fillösilikatler grubuna mensup, magnezyum hidrosilikattan ibaret doğal bir kıl mineralidir (Brauner ve Preisinger, 1956). Tetrahedral ve oktahedral oksit tabakalarının istiflenmesi sonucu oluşan lifsi bir yapısı vardır. Yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, ve düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar oluşturması sepiyolit tüketim alanlarını belirleyen başlıca teknolojik özellikleridir.

Sepiyolit, Fersman (1913)'a göre tabiatta iki değişik poliformik yapıda çökeltmektedir. Bunların birincisi; almanca *Meerschauum*, ve günümüzde *luletaşı* adı ile bilinen --sepiyolit , ikincisi ise --sepiyolittir . Günümüzde *sanayi sepiyoliti* olarak bilinen ve süs eşyası yapımına uygun olmayan --sepiyolit , tabakalı bir sepiyolit türü olarak oluşumu, bileşimi, özellikleri ve kullanım alanları itibarıyla --sepiyolitten ayrılmaktadır. Martın Vivaldi ve Cano-Ruiz (1956)'e göre paligorskit ve sepiyolit mineralleri dioktahedral ve trioktahedral mineraller arasında geçiş sağlamakta ve ara üyeler lifsi bir yapıya sahip bulunmaktadır. Zincir yapısındaki tabakalı (düzlemsel) yapıdan lifsi yapıya geçiş, yapısal boşlukların sayısının artmasına bağlıdır. Oktahedral boşluk sayısı 1/9 olduğunda sepiyolit yapısı ortaya çıkar.

Kaygan görünümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahip tabakalı sepiyolit, genellikle beyaz, krem, gri veya pembe renkli olabilmektedir; organik madde içeriğine bağlı olarak, Sivrihisar güneyi Neojen havzasındaki bazı türlerde olduğu gibi, koyu kahverengi ve siyahımsı da olabilir. Ampandrandawa (Madagaskar) ve Çm sepiyolitleri gibi bazı uzun lifsi formlar ise krizotil benzeri

beyaz ve açık sarı renklidir. Sedimanter oluşumlu, uzun lif demetleri şeklinde bulunan J3-sepiyolit (tabakalı sepiyolit) lif uzunluğu 100 Å-3 ile 5µm, genişliği 100-300 Å ve kalınlığı 50-100 Å arasında değişmektedir. Bununla birlikte bu liflerin uzunlukları standart olmayıp, dünyanın pek çok yerinde farklı uzunluklara sahip sepiyolitler bulunmaktadır. Örneğin Çin ve Ampandrandawa (Madagaskar) sepiyolitlerinin lif uzunluğu bir kaç milimetre hatta santimetreye varmaktadır. Vallecas (İspanya) sepiyolitinin lif boyutları ise 8000x250x40 Å'dur (Jones ve Galan, 1988). Şekil 3'de, tarama elektron mikroskop (SEM) fotoğrafı görülen, Polatlı (Ankara) güneyindeki Türktacıri bölgesinden alınan orijinal kahverengi sepiyolit lif uzunluğu da 5-10nm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Kahverengi sepiyolit (Polatlı-Türktacıri) lif demetlerinin SEM'de görünümü.

Sepiyolit gözenekli (poroz) bir yapıya sahiptir ve ortalama mikropor çapı 15 Å, mezopor yan çapı ise 15-45 Å arasında değişmektedir. Yoğunluğu 2-2.5 g/cm³ arasında olup, çok gözenekli olan türlerin yoğunluğu zaman zaman birin altına düşebilmektedir; kuruduğu zaman yoğunluğu düşeceğinden suda yüzme özelliği gösterir.

Monoklinik veya psödorombusal sistemde kristalleşen sepiyolit Mohs sertliği 2-2.5 civarında ve ortalama kırma indeksi 1.50 olup, negatif biaksiyal optik işaret verir. Nemli olduğunda tırnakla çizilebilir, dil ile dokunulduğunda kıl gibi çeker. Sepiyolit kuruma sıcaklığı 40°C'dir; erime sıcaklığı ise 1400-1450°C arasında değişmektedir;

genleşme özelliği yoktur. Sepiyolit sahip olduğu fiziksel özellikler, Çizelge 2' de topluca verilmiştir.

Çizelge 2. Tabakalı Sepiyolit (Sanayi Sepiyoliti) Fiziksel Özellikleri (Sabah ve Çelik, 1998).

YAPI	Lıfı, toprağımsı
GORUNUM	Kaygan
RENK	Beyaz, krem, kahverengi, gri veya pembe, açık sarı
LİF BOYUTLARI	
uzunluk	100 Å-3 ile 5 µm
genişlik	100-300 Å
kalınlık	50-100 Å
GÖZENEK BOYUTLARI	
mikropor çapı	15 Å
mezopor	15-45 Å
yan çapı	
YOĞUNLUK	2-2.5 g/cm ³
SERTLİK (Mohs'a göre)	2-2.5
KIRILMA İNDEKSİ	1.50
KURUMA SICAKLIĞI	40 C
ERGİME SICAKLIĞI	1400-1450 C

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Malzeme

Deneylerde Korall Industrial Minerals Mad. San. Ve Tic. Ltd. Şti.'ye ait Sivrihisar-Eskişehir yöresinden alınan %90 saflıkta kahverengi sepiyolit numuneleri kullanılmıştır. Numunenin nemi %8 olup XRF yöntemiyle yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Sepiyolit Kimyasal Analizi.

ELEMAN	%-BİLEŞİM
SiO ₂	35.55
Al ₂ O ₃	18.5
Fe ₂ O ₃	1.42
CaO	13.06
MgO	18.59
SO ₃	3.46
K ₂ O	3.64
Na ₂ O	3.07
K ₂ O	26.41

Lif takviyeli beton üretmek amacıyla hazırlanan karışıma, sepiyolit yanısıra Afyon Set Çimento Fabrikasında üretilen PC (Portland Çimento) klinkeri ve alçı taşı ilave edilmiştir.

T. Kavas ve E. Sabah

4.2. Yöntem

4.2.1. Şahit Deneme

Portland çimentosu klinkerine % 5 oranında alçıtaşı ilavesiyle 40 mikron elek bakiyesi % 20 ± 1 olacak şekilde öğütülmüşür. Öğütülen bu numuneye TS 687' ye göre kimyasal ve TS 24' e göre fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır.

4.2.2. Sepiyolit Katkılı Deneme

Portland çimentosu klinkerine % 5 oranında alçıtaşı ilavesinin yanında, lif takviyeli çimento üretimi için % 3, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 30 oranlarında sepiyolit ilave edilmiştir. Her bir karışım tıpkı şahit denemede olduğu gibi 40 mikronluk çekte elek üstü bakiyesi % 20 ± 1 olacak şekilde öğütülmüştür.

(Numune No. 2, 3,4, 5, 6 ve 7)

4.2.3. Karşılaştırma

Elde edilen şahit numuneye yapılan denemeler ile sepiyolit katkılı çimentoya yapılan denemelere ait analiz sonuçları, 40 mikron, 90 mikron ve 200 mikronluk elekte kalan elek üstü bakiyeleri, donma başlangıcı ve donma sonu süreleri, basma ve eğilme dayanımları, su alma yüzdeleri, genleşme ve özgül yüzey (Maine) değerleri açısından karşılaştırılmış ve kazanılan değerler incelenerek sonuçlar bölümünde verilmiştir.

S. DENEY SONUÇLARI VE •DEĞERLENDİRME

Hazırlanan numunelere yapılan kimyasal, fiziksel ve mekanik testlerden elde edilen veriler Çizelgelere aktarılmış ve artan oranlarda sepiyolit

katkısının test sonuçlarına etkileri incelenmiştir. Aşağıda sunulan Çizelge 6' da görüldüğü gibi sepiyolit katkısının % 10'a kadar artması (Numune No. 4), çimentonun basma dayanımı ve eğilme dayanımı özelliklerini, klinker oranı aynı oranda azalmasına rağmen, geliştirmiştir. Bu iyileşmeyi artan özgül yüzey alanına (blaine değerine) bağlamak yanlış olur. Çünkü, sepiyolit katkısı arttıkça blaine değerlerinde sürekli bir artış görülmesine rağmen basma dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinde azalma görülmektedir (Numune No. 5, 6 ve 7). Bu iyileşme çimento bünyesine giren sepiyolit lifleri sağlamaktadır. Sepiyolit katkısının artmasına rağmen (Numune No. 5, 6 ve 7) çimentonun eğilme ve basma dayanımlarındaki iyileşmenin devam etmemesi ise ana matrisi oluşturan klinkerin büyük oranda azalması olarak açıklanabilir. Ayrıca, düşük sepiyolit katkısı (Numune No. 2 ve 3) şahit numunenin verdiği basma ve eğilme dayanımını iyileştirmemesine rağmen, ana matris olan klinkerin azalmasına karşın, şahit numuneye aynı basma ve eğilme dayanımı değerlerini sağlamıştır. Bu olay, sepiyolit yardımıyla çimento'-bünyesine verilen lüsi yapının, basma ve eğilme dayanımları üzerindeki olumlu etkisiyle açıklanabilir. Çizelge 4 ve 5 incelendiğinde kimyasal analiz değerleri ile % H₂O ve, genleşme değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir.

Sonuç olarak, diğer tip çimentolarda klinker azalması ve katkı miktarının artmasıyla, basma ve eğilme dayanımlarında azalma görülmesine rağmen, çimentoya % 10 oranında ilave edilen sepiyolit katkısının çimentonun basma ve eğilme dayanımlarında, lifimsi yapıdan dolayı, iyileşmenin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Sepiyolit Katkısıyla Elde Edilen Karışım Kimyasal Analiz Sonuçları.

No	Klinker %	Sepiyolit %	Jips • %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	R ² O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	K.K %	Ins.Res. %
1	95	—	5.0	20.23	4.58	3.00	63.63	2.49	2.72	0.84	0.25	1.20	0.85
2	92	3.0	5.0	20.17	4.66	2.93	62.72	2.90	2.72	0.82	0.25	1.73	0.90
3	90	5.0	5.0	17.91	4.73	2.98	61.65	3.26	2.69	0.80	0.23	2.36	3.20
4	85	10.0	5.0	16.71	4.74	2.82	59.37	3.91	2.65	0.77	0.26	3.35	4.97
5	80	15.0	5.0	18.25	4.64	2.78	57.19	4.42	2.52	0.77	0.23	4.87	4.03
6	75	25.0	5.0	17.20	4.59	2.68	54.73	5.45	2.60	0.75	0.25	4.08	5.40
7	65	30.0	5.0	17.27	4.56	2.57	50.38	6.70	2.52	0.71	0.27	8.72	6.14

Çizelge 5. Sepiyolit Katkılı Çimento Numunelerine Yapılan Fiziksel Testler.

No	% Elek üstü			Blaine (cm ² /g)	H ₂ O (%)	Genleşme (mm)
	40p.	90u	200u.			
1	20.1	1.0	0.0	3508	26.4	8
2	20.6	1.2	0.0-	3879	26.4	7
3	20.4	1.1	0.0	4202	26.6	5
4	19.4	1.1	0.0	4612	26.6	7
5	20.5	1.5	0.1	4996	27.0	3
6	19.7	2.0	0.1	5554	27.6	4
7	19.3	3.6	0.2	5891	27.6	4

Çizelge 6. Sepiyolit Katkılı Numunelere Yapılan Mekanik Testler.

No	Donma Zamanı (min.)		Basma Dayanımı (N/mm ²)			Eğilme Dayanımı (N/mm ²)		
	Başlangıç	Bitiş	2 Gün	7 Gün	28 Gün	2 Gün	7-Gün	28 Gün
1	156	240	20.0	32.5	41.7	4.7	7.0	8.2
2	132	252	19.6	33.2	42.8	4.6	7.0	8.4
3	162	246	20.1	33.3	43.4	4.8	6.9	8.5
4	108	216	20.7	34.5	44.9	5.3	7.4	8.7
5	204	348	18.9	32.6	42.7	4.6	6.7	7.8
6	204'	312	15.7	29.2	40.2	3.9-	6.2	7.9
7	306	432 -	11.2	23.2	31.5	2.8	5.2	6.6

KAYNAKLAR

- Brauner, K. and Preisinger, A., 1956. *Struktur und Entstehung des Sepioliths*, Tschermaks Miner. Petrog. Mitt., No.6, 120-140.
- Fersman, A.E., 1913. *Research on Magnesium Silicates*, Zap. Imp. Akad. Nauk No.32, 321-430.
- Jones, B.F. and Galan, E., 1988. *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas)*, In: S.W. Bailey (Editor), *Sepiolite and Palygorskite*, Reviews in Mineralogy, Vol. 19, Mineralogical Society of America, Ch. 16, 631.-667.
- Mehta, P.K and Monteiro, P.J.M., 1986. *Concrete Structure, Properties and Materials*, Prentice Hall Inc., Second Edition, New Jersey-USA.
- Martin- Vivaldi, J.L. and Cano-Ruiz, J., 1956. *Sepiolite, II. Consideration on the Mineralogical Formula*, CCM, No.4, 173-176.
- Sabah, E. ve Çelik, M.S., 1998, *Sepiyolit: Oluşumu, Özellikleri, Kullanım Alanları, Radar Grafik ve Tasarım*, Konya, 153 s.
- Weigler, H. und Karl, S., 1989. *Beton!Arten-Herstellung-Eigenschaften*, Ernst., Berlin.