T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TÜRDE BAĞLAYICI İÇEREN KOMPOZİTLERİN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

YAHYA KEMAL EKŞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

Tez danışmanı: Prof. Dr. Adnan ÇOLAK

EDİRNE - 2021

Yahya Kemal EKŞİ'nin hazırladığı "**FARKLI TÜRDE BAĞLAYICI İÇEREN KOMPOZİTLERİN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Mimarlık** Anabilim Dalında bir **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:	İmza
Prof. Dr. Adnan ÇOLAK	……
Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN	……
Dr. Öğr. Üyesi Hatice KIRAN ÇAKIR	……

Tez Savunma Tarihi: 05/07/2021

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Adnan ÇOLAK
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

05/07/2021

Yahya Kemal EKŞİ

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Farklı Türde Bağlayıcı İçeren Kompozitlerin Elastisite Modülünün Belirlenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

ÖZET

Bu tez çalışmasında farklı türde bağlayıcı içeren kompozitlerin elastisite modülleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla alçı – beyaz Portland çimentosu ve kireç – alçı – beyaz Portland çimentosu karışımlarının elastisite modülleri deneysel olarak bulunmuştur. Deneysel sonuçlar literatürde mevcut mikro mekanik ve bu çalışmada önerilen modellerin teorik sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. $Reuss$, $Hirch$ ve $Popovics$ modelleri alçı – beyaz Portland çimentosu karışımları için mükemmel sonuçlar vermektedir. Ancak $Hirch$ ve $Popovics$ modelleri katsayı içerdiğinden önceden tahmin işlemi zorlaşmaktadır. Öncelikle bu denklemlerin katsayılarının hesaplanması ve tahmin işleminin elde edilen sonuçlara göre yapılması gerekir. Bu nedenle en iyi model katsayı içermeyen $Reuss$ modelidir. Kireç – Alçı – Beyaz Portland çimentosu karışımlarının elastisite modülleri literatürdeki mevcut modellerle tahmin edilemez. Bu modeller daha çok ikili sistemlerin (bağlayıcı-agrega, bağlayıcı lif) elastisite modüllerini tahmin etmek için tasarlanmıştır. Belirli bir agrega ya da lif oranına kadar deneysel sonuçlara mükemmel uyum göstermektedirler. Kireç – Alçı – Beyaz Portland çimentosu karışımından oluşan üçlü sistemler için bu çalışmada bir model önerilmiştir.

$$\%\ 10 \text{ kireç} + \%\ 40 \text{ Alçı} + \%\ 50 \text{ Beyaz } P\text{ortland Çimentosu}$$

ve

$$\%\ 10 \text{ kireç} + \%\ 50 \text{ Alçı} + \%\ 40 \text{ Beyaz Portland Çimentosu}$$

karışımları için başarılı tahminler yapılmıştır. Diğer karışım oranlarında birim hücre modelin yapısı değiştiği için modelin yeniden düzenlenmesi gerekir. Düzenleme işlemi toplam şekil değiştirme prensibine göre yapılır.

Yıl **:** 2021

Sayfa Sayısı **:** 35

Anahtar Kelimeler **:** Beton, Kompozit Malzeme, Elastisite

Master Thesis

Elastıcıty Module Determination of Composıtes Contaınıng Dıfferent Kınd of Bınders

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Arthitecture

ABSTRACT

In this thesis, it has been tried to predict the modulus of elasticity of composites which includes different analysis. Elasticity modules of such gypsum - white Portland cement and lime - gypsum - white Portland cement mixtures are experimentally found. The experimental results are compared with the theoretical results of micro mechanics and these contamination models available in the literature. *Reuss*, *Hirch* and *Popovics* models give excellent results for plaster - white Portland cement mixes. However, since the Hirch and Popovics models contain coefficients, the prediction process becomes difficult. First of all, the coefficients of these equations should be calculated and the estimation process should be done according to the results obtained. Therefore, the best model is the Reuss model without coefficient. The modulus of elasticity of Lime - Gypsum - White Portland cement mixtures cannot be predicted with models in the literature. These models are mostly used to estimate the modulus of elasticity of binary systems (binder-negotiated binder fiber). They fit perfectly into experimental results up to a unified agreement or survival rate. Such a model has been proposed for triple triads of a mixture of Lime - Gypsum - White Portland cement.

10 % lime + 40 % Gypsum + 50 % White Portland Cement

and

10 % lime + 50 % Gypsum + 40 % White Portland Cement

Successful predictions have been made for mixtures. As the cell model changes with other mixing ratios, the model has to be rearranged. The editing process is done according to the completion change principle.

Year **:** 2021

Number of Pages **:** 35

Keywords **:** Concrete, Composite Material, Elasticty

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yapı tanecikli kompozit malzemelerde elastisite modülünün hesaplanması ele alınmış özel bir model olan $Voigt\ Modeli$ baz alınarak iki bileşenli 11 adet ve üç bileşenli 8 adet farklı oranlarda karışımdan alınan numuneler Beton Basınç Dayanım Tesi'ne tabi tutularak sonuçlar ele alınmış ve irdelenmiştir.

Yapı tanecikli kompozit malzemeler kompozit malzemelerin bir alt türüdür. Farklı yapılarda kompozit malzemeler de bulunmaktadır. Kompozit malzemeler artık birçok alan ve sektörde gerek dayanıklılığı gerek uzun ömürlülüğü gerekse de maliyet gibi konularda avantajı dolayısıyla tercih edilmektedirler.

Bu çalışmanın ortaya çıkarılmasında bilgi ve tecrübesi ile her alanda yoluma ışık tutan tez danışmanım Prof. Dr. Sn. Adnan ÇOLAK'a, Lisans eğitiminden bu yana sürekli çalışmalarımı ve akademik gelişimimi takip eden hocam Dr. Öğr. Üyesi Hatice KIRAN ÇAKIR'a, İnşaat konularında uzman bilgisi ile Abim Sn. Arif Hakan EKŞİ'ye, ve arkadaşım Sn. Ferdi ÖZDEMİR'e, her zaman yanımda olan ve sürekli desteğini esirgemeyen eşim ve aileme şükranlarımı sunarım.

Yahya Kemal EKŞİ

10.01.2021

İÇİNDEKİLER

DOĞRULUK BEYANI iii
ÖZET iv
ABSTRACT vi
ÖNSÖZ viii
İÇİNDEKİLER ix
SİMGELER VE KISALTMALAR xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
BÖLÜM 1 - GİRİŞ 1
BÖLÜM 2 – MİKROMEKANİK MODELLER 3
2.1. ***Voigt*** MODELİ 3
2.2. ***Reuss*** MODELİ 5
2.3. ***Hirsch*** MODEL 6
2.4. ***Popovics*** ALT VE ÜST SINIR MODELLERİ 7
2.5. ***Jacquet*** MODELLERİ 7
2.6. ***Shaffer*** MODELİ 8
2.7. ÖNERİLEN MODEL 9
BÖLÜM 3 – DENEYSEL ÇALIŞMALAR 12
3.1. ALÇI – BEYAZ PORTLAND ÇİMENTOSU KARIŞIMLARININ DENEYSEL SONUÇLARI 12
3.2. KİREÇ – ALÇI – BEYAZ PORTLAND ÇİMENTOSU KARIŞIMLARININ DENEYSEL SONUÇLARI 14
BÖLÜM 4 – DENEYSEL SONUÇLARIN MODELLERDE ELDE EDİLEN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI 15

4.1. ALÇI VE BEYAZ PORTLAND ÇİMENTOSU KARIŞIMLARI İÇİN ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLARIN $\boldsymbol{Voigt}$ MODELİNDE HESAPLANAN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....15

4.2. ALÇI VE BEYAZ PORTLAND ÇİMENTOSU KARIŞIMLARI İÇİN ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLARIN $\boldsymbol{Reuss}$ MODELİNDE HESAPLANAN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....16

4.3. ALÇI VE BEYAZ PORTLAND ÇİMENTOSU KARIŞIMLARI İÇİN ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLARIN $\boldsymbol{Hirsch}$ MODELİNDE HESAPLANAN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....17

4.5. KİREÇ – ALÇI – BEYAZ PORTLAND ÇİMENTOSU KARIŞIMLARI İÇİN ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLARIN ÖNERİLEN MODEL İLE HESAPLANAN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....19

BÖLÜM 5 – DEĞERLENDİRME VE SONUÇ 20

KAYNAKLAR 21

ÖZGEÇMİŞ 22

SİMGELER VE KISALTMALAR

$\boldsymbol{E_C}$	Kompozit malzemenin Elastisite modülü (GPa)
$\boldsymbol{E_C^{ÜST}}$	Kompozit malzemenin üst sınır elastisite modülü (GPa)
$\boldsymbol{E_C^{ALT}}$	Kompozit malzemenin alt sınır elastisite modülü (GPa)
$\boldsymbol{E_I}$	Bağlayıcı I elastisite modülü (GPa)
$\boldsymbol{V_I}$	Bağlayıcı I hacim oranı (%)
$\boldsymbol{E_{II}}$	Bağlayıcı II elastisite modülü (GPa)
$\boldsymbol{V_{II}}$	Bağlayıcı II hacim oranı (%)
$\boldsymbol{\sigma_C}$	Kompozit etkiyen gerilme
$\boldsymbol{\sigma_I}$	Bağlayıcı I etkiyen gerilme
$\boldsymbol{\sigma_{II}}$	Bağlayıcı II etkiyen gerilme
$\boldsymbol{\epsilon_C}$	Kompozit, şekil değiştirme oranı
$\boldsymbol{\epsilon_I}$	Bağlayıcı I şekil değiştirme oranı
$\boldsymbol{\epsilon_{II}}$	Bağlayıcı II şekil değiştirme oranı
$\boldsymbol{\Delta_C}$	Kompozit deplasmanı
$\boldsymbol{\Delta_I}$	Bağlayıcı I deplasmanı
$\boldsymbol{\Delta_{II}}$	Bağlayıcı II deplasmanı
$\boldsymbol{A}$	Voigt modellerinin kompozit malzeme içindeki oranları (%)
$\boldsymbol{B}$	Reuss modellerinin kompozit malzeme içindeki oranları (%)

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No:

Çizelge 3.1: Alçı-Beyaz Portland Çimentosu karışımlarının basınç dayanım değerleri...13

Çizelge 3.2: Kireç – Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımının basınç dayanım değerleri……...14

Çizelge 4.1: Önerilen modelle elde edilen teorik hesaplamaların deneysel değerlerle karşılaştırılması……19

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 2.1: $Voigt$ birim hücre modeli…….3

Şekil 2.2: $Reuss$ birim hücre modeli……5

Şekil 2.3: $Hirsch$ birim hücre modeli……...6

Şekil 2.4: $Popovics$ birim hücre modeli……...7

Şekil 2.5: $Jacquet$ birim hücre modeli…….8

Şekil 2.6: $Shaffer$ birim hücre modeli……8

Şekil 2.7: Önerilen modele ait birim hücre modeli……...9

Şekil 3.1: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımlarının elastisite modülü……...13

Şekil 4.1: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Voigt$ modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması……..15

Şekil 4.2: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Reuss$ modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması……..16

Şekil 4.3: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Hirsch$ modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması……17

Şekil 4.4: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Popovics$ modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması……18

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kompozitler genellikle farklı türde malzeme içeren yapı elemanlarıdır. Bu tür elemanların fiziksel, mekanik ve kalıcılık özelliklerini artırmak için kompozit karışıma bir veya birkaç mevcut bağlayıcı malzemelerden katılabilir. Bu durumda bağlayıcı sayıcı artacağı için kompozitin özelliklerinin değişmesi beklenir. Değişen fiziksel ve mekanik özelliklerin ve optimum karışım oranlarının belirlenmesi laboratuvar ortamında yapılacak testlerle mümkün olacaktır. Bu gerçeğe rağmen kompozitin mekanik özellikleri şimdiye kadar geliştirilmiş mikro mekanik modeller yardımıyla hesaplanabilir. Bu modeller toplam şekil değiştirme, enerji ve elastisite teorisi kurallarına bağlı olarak çıkarılmışlardır. Aslında mikro mekanik modellerin bir kısmı lifli ve agregalı kompozitlerin mekanik özelliklerini tahmin etmek için uygun değildir. Çünkü bu modellerle optimum mekanik özellikleri veren karışım oranını matematiksel fonksiyonların yapısından dolayı belirlemek mümkün değildir. Ancak bazı matematiksel formüllerde daha fazla sayıda katsayı kullanarak optimum oranı veren karışım oranı kolaylıkla hesaplanabilir. Bu durumda yine katsayıları hesaplayabilmek için daha fazla sayıda deney yapma gereği ortaya çıkacaktır. Bu nedenle mikro mekanik modeller iki veya daha fazla sayıda bağlayıcıdan oluşan kompozit malzemeler için daha uygundur. Bağlayıcı malzemelerin özelliklerini korumaları durumunda elde edilen eğri ya sürekli artan ya da azalan karakter de olacaktır. Bu durumda mekanik özellikleri tahmin etmede mikro mekanik modellerin çoğunu kullanmak mümkündür.

Diğer bir problem kompozitin elastisite modülünün belirli bir aralık arasında düzenli ya da dağınık olarak değişmesidir. Bu nedenle elastisite modülü için tek bir değer vermek mümkün değildir. Ancak alt ve üst sınırları birbirine oldukça yakın yeni modeller geliştirme olanağı vardır. Bu amaca ulaşmak için farklı bir yapıya sahip birim hücre modeli kullanılabilir. Genelde birim hücre modelleri seri ve paralel olarak düzenlenen tekrarlı bir yapıya sahiptir. Toplam şekil değiştirme prensibi, elastisite teorisi ve enerji metodu kullanılarak mikro mekanik model elde edilir.

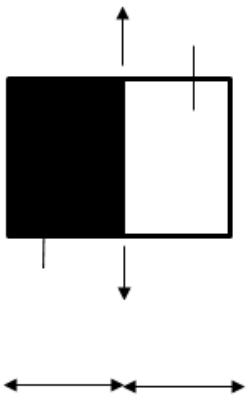
Bu tezde yapı sanayinde bağlayıcı olarak kullanılan Beyaz Portland çimentosu, alçı ve kirecin kombinasyonlarıyla oluşturmuş kompozitlerin elastisite modülleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yeni modeller geliştirilmiş ve geliştirilen modellerin deney sonuçlarına uyumunu araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

MİKROMEKANİK MODELLER

2.1. $Voigt$ Modeli

Aşağıdaki şekilde görülen kompozit malzeme modeli bağlayıcı I ve bağlayıcı II fazlarından oluşmaktadır. $Voigt$ modeli olarak adlandırılan bu modelin bağıntısı yükleme yönündeki deplasmanın sabit olduğunu kabul edilerek aşağıda çıkarılmıştır.



Şekil 2.1: $Voigt$ birim hücre modeli

Birim hücre üzerine etkiyen kuvvet bağlayıcı I ve bağlayıcı II üzerine etkiyen kuvvetlerin toplamına eşittir.

$$P = P_I + P_{II} \qquad (\mathbf{2.1})$$

Yukarıdaki bağıntı gerilmeye dönüştürülürse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\sigma_C \cdot b^2 = \sigma_I \cdot a \cdot b + \sigma_{II} \cdot (b^2 - a \cdot b) \qquad (\mathbf{2.2})$$

$Hooke$ (Timoshenko and Goodier, 1951) yasasına göre gerilme elastisite modülü ile şekil değiştirmenin çarpımına eşittir. Bu durumda gerilme denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$E_C \cdot \epsilon_C = E_I \cdot \epsilon_I \cdot \frac{a}{b} + E_{II} \cdot \epsilon_{II} \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right) \qquad (\mathbf{2.3})$$

Kompozitin, bağlayıcı I ve bağlayıcı II nin toplam şekil değiştirmesi sabit bir Δ değerine eşit olduğu kabul edilir. Bu kabule göre aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\Delta_C = \Delta_I = \Delta_{II} = \Delta \qquad (\mathbf{2.4})$$

Δ deplasmanının hücre modelinin uzunluğuna (b) bölünmesi ile birim şekil değiştirme oranları bulunur.

$$\epsilon_C = \epsilon_I = \epsilon_{II} = \frac{\Delta}{b} \qquad (\mathbf{2.5})$$

Birim şekil değiştirme oranlarının yukarıdaki bağıntıda yerine konulması ile aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E_C = E_I \cdot \frac{a}{b} + E_{II} \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right) \qquad (\mathbf{2.6})$$

Bu denklemde $\frac{a}{b}$ ve $\left(1 - \frac{a}{b}\right)$ yerine bağlayıcı I ve bağlayıcı II nin hacim oranları yazılabilir.

Bağlayıcı I ve bağlayıcı II nin hacim oranları aşağıda verilmiştir.

$$V_I = \frac{a \cdot b^2}{b^3} = \frac{a}{b} \qquad (\mathbf{2.7})$$

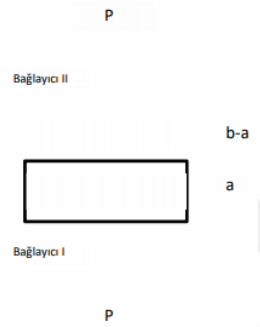
$$V_{II} = \frac{(b - a) \cdot b^2}{b^3} = \left(1 - \frac{a}{b}\right) \qquad (\mathbf{2.8})$$

Bu bağıntıları yukarıdaki denklemde yerine konulmasıyla $Voigt$ modeli son şeklini alır.

$$E_c = E_I \cdot V_I + E_{II} \cdot V_{II} \qquad (\mathbf{2.9})$$

2.2. *Reuss* Modeli

Aşağıdaki şekilde görülen kompozit malzeme modeli bağlayıcı I ve bağlayıcı II fazlarından oluşmaktadır. *Reuss* modeli (1929) olarak adlandırılan bu modelin bağıntısı yükleme yönündeki gerilmelerin sabit olduğunu kabul edilerek aşağıda çıkarılmıştır.



Şekil 2.2: *Reuss* birim hücre modeli

Kompozitin toplam deplasmanı bağlayıcı I ve bağlayıcı II'nin deplasmanlarının toplamına eşittir. Aşağıdaki eşitlik bu kuralı ifade etmektedir.

$$\Delta_C = \Delta_I + \Delta_{II} \qquad (\mathbf{2.10})$$

Deplasman yerine şekil değiştirme bağıntısı (Timoshenko and Goodier, 1951) yazılarak aşağıdaki denklem oluşturulur.

$$\epsilon_C \cdot b = a \cdot \epsilon_I + (b - a) \cdot \epsilon_{II} \qquad (\mathbf{2.11})$$

Şekil değiştirme *Hooke* yasasına (Timoshenko and Goodier, 1951) göre düzenlenirse aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{\sigma_C}{E_C} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\sigma_I}{E_{II}} + \left(1 - \frac{a}{b}\right) \cdot \frac{\sigma_{II}}{E_{II}} \qquad (\mathbf{2.12})$$

Kompozit, bağlayıcı I ve bağlayıcı II üzerindeki gerilmeler sabittir. Bu durum aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\sigma_C = \sigma_I = \sigma_{II} = \frac{P}{b^2} \qquad (\mathbf{2.13})$$

Bu eşitlik yukarıdaki denklemde yerine konulursa aşağıdaki denkleme ulaşılır.

$$\frac{1}{E_C} = \frac{a}{b} \cdot \frac{1}{E_I} + \left(1 - \frac{a}{b}\right) \cdot \frac{1}{E_{II}} \qquad (\mathbf{2.14})$$

Birim hücre modelini tanımlayan $\left(\frac{a}{b}\right)$ ve $\left(1 - \frac{a}{b}\right)$ değerleri yerine bağlayıcı I ve bağlayıcı II'nin hacim oranları yazılabilir. Bağlayıcı I ve bağlayıcı II'nin hacim oranları aşağıda verilmiştir.

$$V_I = \frac{a \cdot b^2}{b^3} = \frac{a}{b} \qquad (\mathbf{2.15})$$

$$V_{II} = \frac{(b-a) \cdot b^2}{b^3} = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \qquad (\mathbf{2.16})$$

Bu bağıntıların yerine konulması ile $Reuss$ modeli aşağıdaki son şeklini alır.

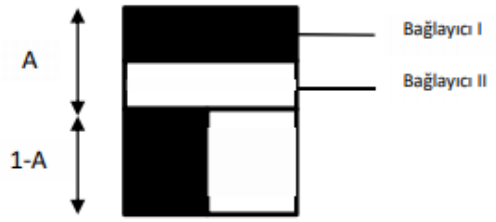
$$\frac{1}{E_C} = \frac{V_I}{E_I} + \frac{V_{II}}{E_{II}} \qquad (\mathbf{2.17})$$

2.3. $Hirsch$ Modeli

Aşağıdaki şekilde görülen kompozit malzeme modeli $Voigt$ ve $Reuss$ modellerinin seri olarak bağlanmasından oluşur ve $Hirsch$ modeli olarak adlandırılır. Denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{1}{E_C} = A\left(\frac{1}{E_1 V_1 + E_2 V_2}\right) + (1 - A)\left(\frac{V_1}{E_1} + \frac{V_2}{E_2}\right) \qquad (\mathbf{2.18})$$

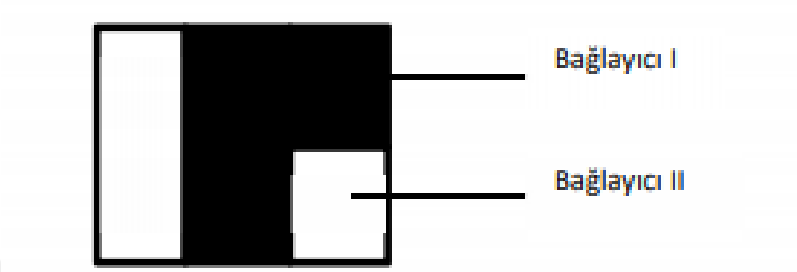
Bu denklemdeki A katsayısı $Voigt$ ve $Reuss$ modellerinin yüzdesini gösterir.



Şekil 2.3: $Hirsch$ birim hücre modeli

2.4. *Popovics* alt ve üst sınır modelleri

Aşağıdaki şekilde görülen kompozit malzeme modeli $Voigt$ ve $Reuss$ modellerinin paralel olarak bağlanmasından meydana gelir ve $Popovics$ modelleri olarak adlandırılır. Alt ve üst sınır elastisite modülünü veren bu denklemler aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.4: $Popovics$ birim hücre modeli

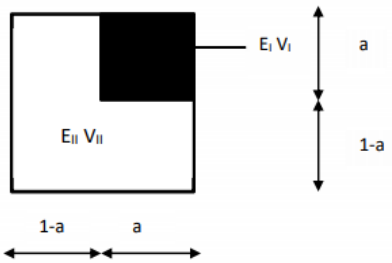
$$E_C^{ÜST} = A(E_I V_I + E_{II} V_{II}) + \frac{B}{\left(\frac{V_I}{E_I} + \frac{V_{II}}{E_{II}}\right)} \qquad (\mathbf{2.19})$$

$$\frac{1}{E_C^{ALT}} = \frac{A}{(E_I V_I + E_{II} V_{II})} + B\left(\frac{V_I}{E_I} + \frac{V_{II}}{E_{II}}\right) \qquad (\mathbf{2.20})$$

Yukarıdaki denklemlerdeki A ve B katsayıları $Voigt$ ve $Reuss$ modellerinin yüzdesini gösterir.

2.5. *Jacquet* modelleri

$Jacquet$ (2000) yukarıdaki birim hücre modelini kullanarak aşağıdaki alt ve üst sınır modellerini geliştirmiştir. Genelde bu modeller lifli kompozitlerin elastisite modülünü tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Bu çalışmada her iki faz bağlayıcı olarak ele alınmıştır.

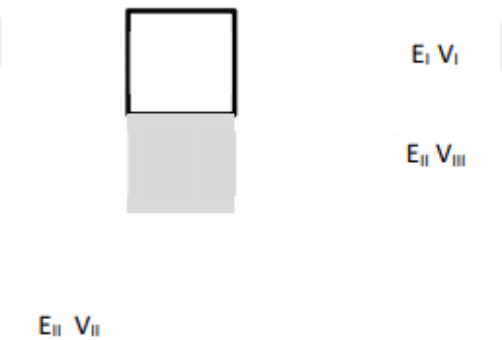


Şekil 2.5: $Jacquet$ birim hücre modeli

$$E_C^{\ÜST} = E_{II}\left(1 - \sqrt{V_I}\right) + \frac{E_I E_2 \sqrt{V_I}}{E_{II}\sqrt{V_I} + E_I\left(1 - \sqrt{V_I}\right)} \qquad (\mathbf{2.21})$$

$$\frac{1}{E_C^{ALT}} = \frac{\left(1 - \sqrt{V_I}\right)}{E_{II}} + \frac{\sqrt{V}_I}{E_I\sqrt{V_I} + E_{II}\left(1 - \sqrt{V_I}\right)} \qquad (\mathbf{2.22})$$

2.6. $Shaffer$ Modeli



Şekil 2.6: $Shaffer$ birim hücre modeli

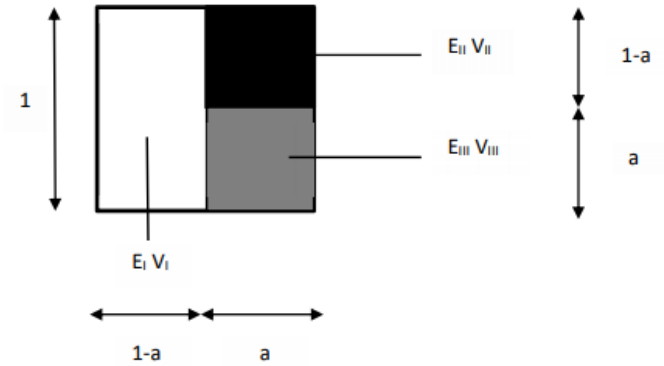
$Shaffer$ (1964) yukarıdaki bitim hücre modelini kullanarak lifli kompozitler için aşağıdaki bağıntıyı çıkarmıştır.

$$E_C = E_{II}V_{II} + \frac{E_I E_{II}}{E_{II}V_I + E_I V_{III}}(1 - V_{II}) \qquad (\mathbf{2.23})$$

Bu bağıntı $Daniel$ ve $Ishai$'nin (2006) *Engineering Mechanic of Composite Materials* kitabından alınmıştır.

2.7. Önerilen model

$Jaquet$ (2000) ve $Shaffer$' in (1964) birim hücre modelleri esas alınarak ve toplam şekil değiştirme prensibi kullanarak aşağıdaki bağıntı çıkarılmıştır. Bu bağıntı üç adet bağlayıcı içeren kompozit malzemeler için geliştirilmiştir. Bu bağlamda yukarıda anılan $Jaquet$ (2000) ve $Shaffer$ (1964) modellerinden farklılık gösterir.



Şekil 2.7: Önerilen modele ait birim hücre modeli

Birim hücre modelinin deplasmanı Δ, bağlayıcı I'in deplasmanına Δ_I eşittir. Bağlayıcı II ve bağlayıcı III 'ün deplasmanlarının Δ_{II} ve Δ_{III} toplamı da birim hücre modelinin ve bağlayıcı I deplasmanlarına eşittir. Bu matematiksel olarak aşağıdaki ifade ile tanımlanır.

$$\Delta = \Delta_{II} + \Delta_{III} = \Delta_I \qquad (\mathbf{2.24})$$

Yukarıdaki deplasman bağıntısı yerine $Hooke$ yasasına ait şekil değiştirme ve gerilme bağıntıları (Timoshenko and Goodier, 1951) kullanarak aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\varepsilon_C = \varepsilon_{II}(1-a) + \varepsilon_{III}a = \varepsilon_I \qquad (\mathbf{2.25})$$

$$\frac{\sigma}{E_C} = \frac{\sigma_{II}}{E_{II}}(1-a) + \frac{\sigma_{II}}{E_{III}}a = \frac{\sigma_I}{E_I} \qquad (\mathbf{2.26})$$

$$\sigma_I = \frac{E_I}{E_C}\sigma \qquad (\mathbf{2.27})$$

$$\sigma_{II} = \frac{\frac{\sigma}{E_C}}{\frac{(1-a)}{E_{II}} + \frac{a}{E_{III}}} \tag{2.28}$$

Yukarıdaki denklemlerde σ_I bağlayıcı I üzerindeki gerilmeyi σ_{II} ise bağlayıcı II ve III üzerindeki gerilmeyi temsil etmektedir. Birim hücre modeline etkiyen toplam kuvvet P, bağlayıcı I üzerine etkiyen P_I ve bağlayıcı II ve bağlayıcı III üzerine etkiyen P_{II} kuvvetlerinin toplamına eşittir. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$P = P_I + P_{II} \tag{2.29}$$

Yukarıdaki denklemi gerilme cinsinden yazarsak aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\sigma = \sigma_I(1-a) + \sigma_{II}a \tag{2.30}$$

Yukarıda σ_I ve σ_{II} için elde ettiğimiz değerleri bu denklemde yerine koyarsak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\sigma = \frac{E_I\sigma}{E_C}(1-a) + \frac{\frac{\sigma}{E_C}}{\frac{(1-a)}{E_{II}} + \frac{a}{E_{III}}}a \tag{2.31}$$

$$\sigma = \frac{E_I\sigma}{E_C}(1-a) + \frac{\frac{\sigma}{E_C}}{\frac{E_{III}(1-a) + E_{II}a}{E_{II}E_{III}}}a \tag{2.32}$$

$$\sigma = \frac{E_I\sigma}{E_C}(1-a) + \frac{\sigma E_{II}E_{III}a^2}{E_C[E_{III}a(1-a) + E_{II}a^2]} \tag{2.33}$$

Birim hücre modelini tanımlayan a, $(1-a)$ ifadeleri yerine hacim eşitlikleri aşağıda yazılmıştır.

$$V_I = 1 - a \tag{2.34}$$

$$V_{II} = a(1-a) \tag{2.35}$$

$$V_{III} = a^2 \tag{2.36}$$

Yukarıdaki denklemde a, $a(1-a)$ ve a^2 yerine hesaplanan hacim eşitlikleri yazılarak denklemin aşağıdaki son şekli elde edilmiş olur.

$$E_C = E_I V_I + \frac{E_{II} E_{III} V_{III}}{E_{III} V_{II} + E_{II} V_{III}} \qquad (\mathbf{2.37})$$

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

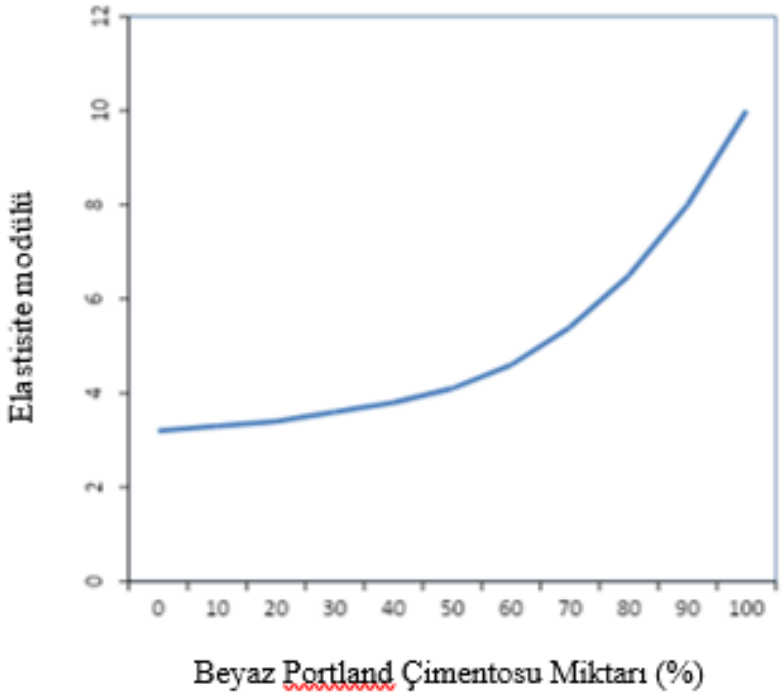
Alçı – Beyaz Portland Çimentosu ve Kireç – Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımlarından oluşan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Karışımlar laboratuvar ortamı koşullarında üretilmiştir. Bir gün kalıpta bekletilen örnekler 27 gün boyunca yaklaşık % 95 nem içerinde olan polietilen torbalar içinde kür edilmiştir. Bu süre sonunda polietilen torbalardan çıkarılan örnekler laboratuvar ortamında test edilinceye kadar bekletilmiştir. Örneklerin nem içeriklerini belirlemek için bazı nümeler etüvde kurutulmadan önce tartılmış ve daha sonra $100^{O}C$ etüvde 48 saat boyunca kurutulmuşlar. Etüvden alınan numuneler desikatörde değişmez ağırlığa kadar bekletilmişlerdir. Desikatörden alındıktan sonraki ağırlıkları ile laboratuvar koşullarındaki ağırlıkları arasındaki fark alınarak numunelerin nem içerikleri belirlenmiştir. Numunelerin nem içerikleri % 5 − % 8 arasında değişmektedir. Örnekler basınç dayanımı ve elastisite modülü için test edilmiştir.

3.1. Alçı – Beyaz Portland Çimentosu Karışımlarının Deneysel Sonuçları

Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımının basınç dayanım değerleri **Çizelge 3.1** de elastisite modülü değerleri ise **Şekil 3.1** de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Alçı-Beyaz Portland Çimentosu karışımlarının basınç dayanım değerleri		
Karışım Oranı (%)		**28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)**
Alçı	**Beyaz Portland Çimentosu**	
100	0	1.8 – 1.9
90	10	2.4 – 2.9
80	20	2.5 – 3.2
70	30	3.3 – 3.6
60	40	4.9 – 5.3
50	50	8.9 – 9.1
40	60	10.2 – 10.2
30	70	16.4 – 17.2
20	80	16.6 – 17.5
10	90	5.2 – 10.9
0	100	24.4 – 37.8

Beklendiği gibi karışımdaki beyaz Portland çimentosu miktarı artıkça basınç dayanımları artmaktadır. Ancak % 90 beyaz Portland çimentosu miktarında bir örnek için oldukça düşük bir dayanım elde edilmiştir. Dayanımdaki bu düşüş numunedeki yüksek nem içerinden kaynaklanabilir. **Şekil 3.1** den Alçı – Beyaz Portland çimentosu karışımlarının elastisite modülü değerlerinin beyaz Portland çimentosu miktarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir.



Şekil 3.1: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımlarının elastisite modülü

3.2. Kireç – Alçı – Beyaz Portland Çimentosu Karışımlarının Deneysel Sonuçları

Kireç – Alçı – Beyaz Çimentosu karışımlarının 7 günlük basınç dayanım değerleri **Çizelge 3.2** de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Kireç – Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımının basınç dayanım değerleri

Karışım oranı (%)			**7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)**
Kireç	**Alçı**	**Beyaz Portland Çimentosu**	
10	10	80	16.6
10	20	70	14.3
10	30	60	11.4
10	40	50	9.1
10	50	40	7.8
10	60	30	5.2
10	70	20	3.6
10	80	10	1.9

Kireç – Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımlarında kireç miktarı %10 olarak sabit tutulmuş, alçı ve beyaz Portland çimentosu miktarları değiştirilmiştir. Karışımdaki alçı miktarı artıkça dayanımlar önemli ölçüde azalmaktadır. Bu karışımların elastisite modülleri sadece % 10 Kireç – % 40 Alçı – % 50 Beyaz Portland Çimentosu ve % 10 Kireç – % 50 Alçı – % 40 Beyaz Portland Çimentosu için ölçülmüştür.

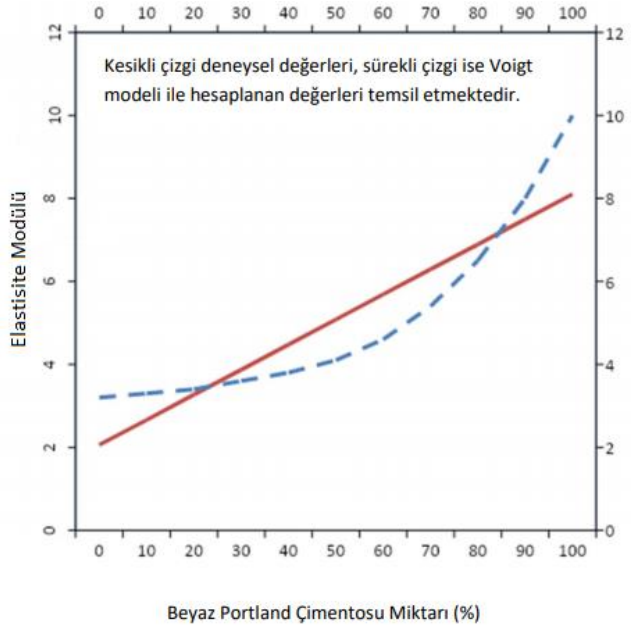
Bu çalışmada alçı-beyaz Portland çimentosu ve kireç – alçı – beyaz Portland çimentosu için elde edilen basınç dayanım değerleri diğer araştırmalarda yayınlanmış sonuçlarla karşılaştırılmıştır. *Dolezelova* ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada farklı araştırmacıların deney sonuçlarını özetlemişlerdir. Deney sonuçları alçı içeren bağlayıcılar için nemli ortamda elde edilmiş basınç dayanım sonuçlarıdır. Bu tezde alçı-beyaz Portland çimentosu ve kireç – alçı – beyaz Portland çimentosu için elde edilen basınç dayanım değerleri *Dolezelova* ve arkadaşlarının (2017) yaptıkları araştırmada özetledikleri sonuçlara oldukça yakındır. Ayrıca *Dolezelova* ve arkadaşlarının (2017) alçı ve kireç – alçı karışımları için elde ettikleri sonuçlarda **Çizelge 3.1** ve **Çizelge 3.2** de verilen basınç dayanım değerleriyle oldukça uyumludur.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLARIN MODELLERDE ELDE EDİLEN DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel sonuçlar $Voigt$, $Reuss$, $Hirsch$ ve $Popovics$ modellerinde elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

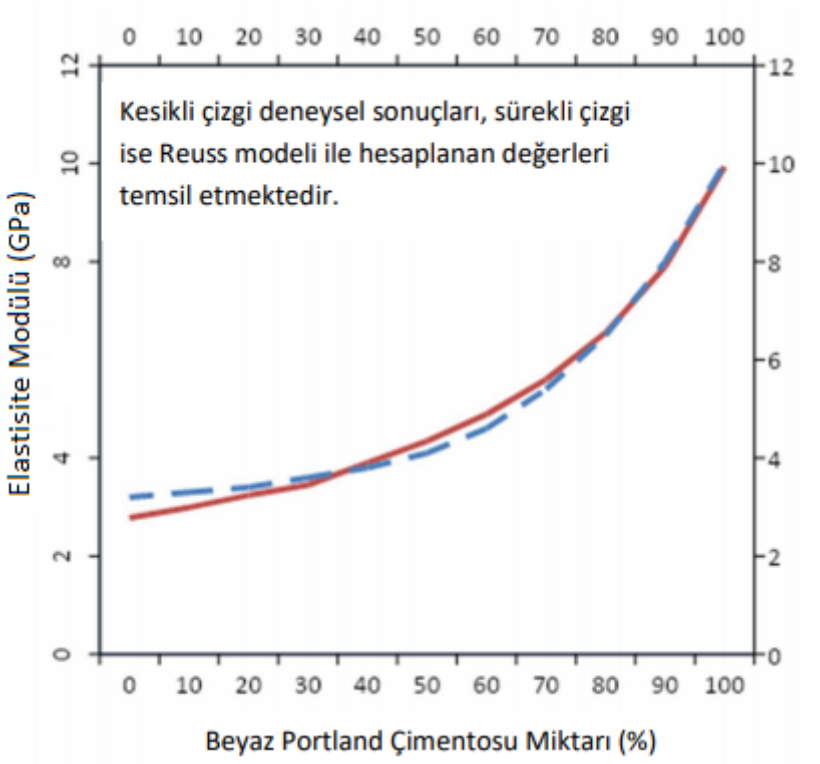
4.1. Alçı ve beyaz Portland çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Voigt$ modelinde hesaplanan değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.1: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Voigt$ modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

İstatiksel analiz sonuçlarından alçının elastisite modülünün $2.06\ GPa$, beyaz Portland çimentosunun ise $8.10\ GPa$ olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar gerçek değerlerden çok uzak olmamakla birlikte deneysel sonuçlara tam uyum sağlanamamıştır. Bu uyumsuzluk **Şekil 4.1** de görülmektedir. Korelasyon katsayısı 0.902 olduğu için böyle bir durumun ortaya çıkması doğaldır.

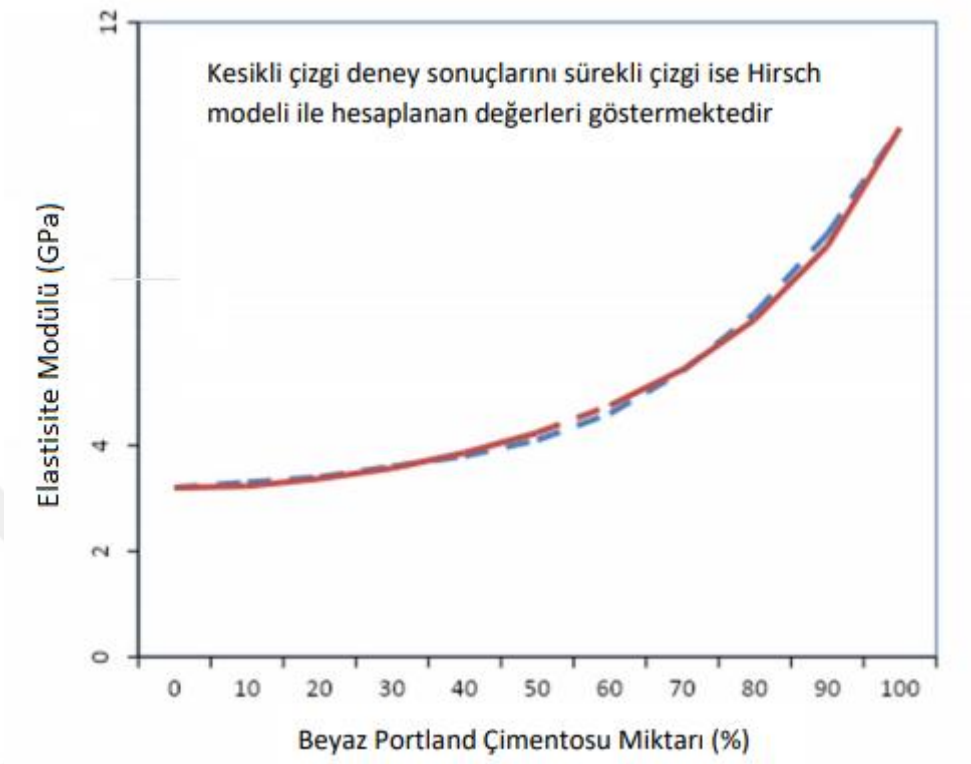
4.2. Alçı ve beyaz Portland çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların *Reuss* modelinde hesaplanan değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.2: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların *Reuss* modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

İstatistik analiz sonuçlarından alçının elastisite modülü $2.78\ GPa$, beyaz Portland çimentosunun ise $9.93\ GPa$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler gerçek sonuçlara oldukça yakındır. Korelasyon katsayının 0.995 olması *Reuss* modeli ile hesaplanan değerlerin deneysel sonuçlara mükemmel uyum sağladığını göstermektedir. Bu mükemmel uyum **Şekil 4.2** de görülmektedir.

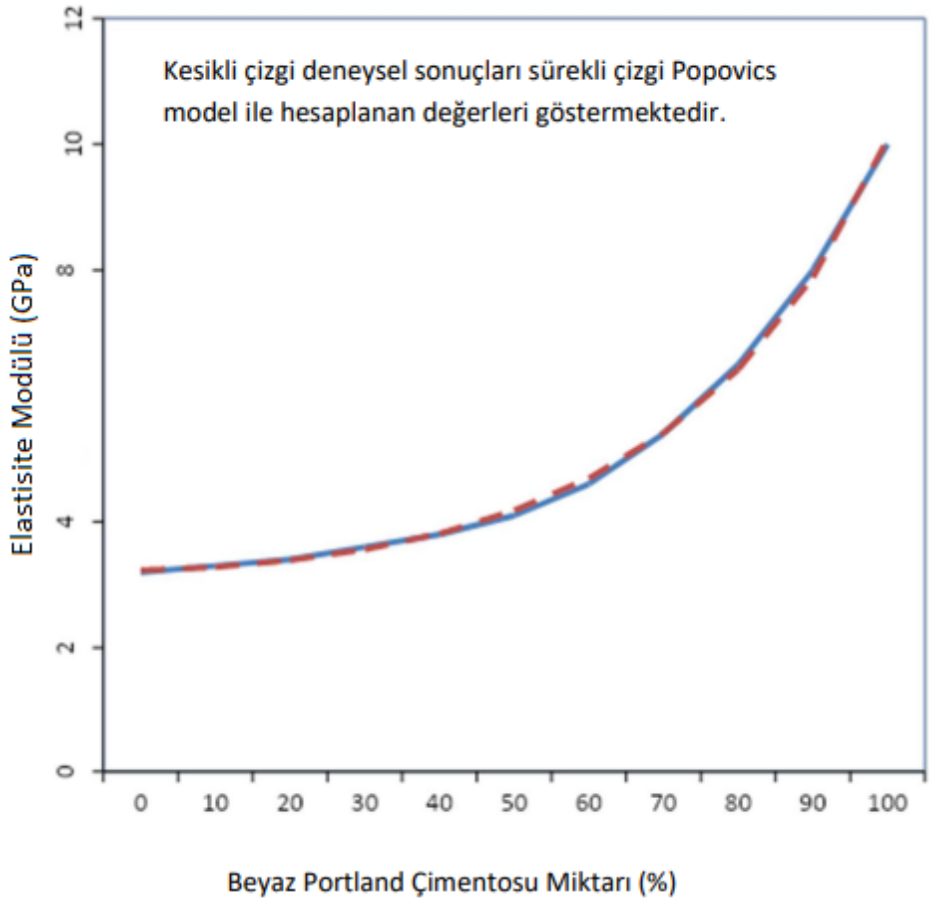
4.3. Alçı ve beyaz Portland çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Hirsch$ modelinde hesaplanan değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.3: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların $Hirsch$ modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

Yapılan istatiksel hesaplarda alçının elastisite modülü 3.2 GPa, beyaz Portland çimentosunun elastisite modülü ise 10 GPa olarak alınmıştır. Korelasyon katsayısının 0.9987 olması $Hirsch$ modeli ile hesaplanan değerlerin deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğunu gösterir. **Şekil 4.3** te deneysel sonuçlarla $Hirsch$ modeli ile hesaplanan değerler arasındaki mükemmel uyum görülmektedir. Ancak $Hirsch$ modelindeki A katsayısının -0.5358 gibi bir negatif değer alması modelin fiziksel manasını ortadan kaldırmaktadır.

4.4. Alçı ve beyaz Portland çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların *Popovics* modelinde hesaplanan değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.4: Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların *Popovics* modeli ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

İstatiksel analizde alçının elastisite modülü $3.2\,GPa$, beyaz Portland çimentosunun elastisite modülü ise $10\,GPa$ olarak alınmıştır. Hesaplamalar *Popovics*'in $E_C^{ÜST}$ modeli ile yapılmıştır. Korelasyon katsayısının 0.9995 oldukça yüksek olması deneysel sonuçlarla *Popovics* modeli ile hesaplanan değerler arasında mükemmel bir uyumun olduğunu gösterir. **Şekil 4.4** te bu uyum görülmektedir. Ancak *Hirsch* modelinde olduğu gibi A katsayısı -0.405573 gibi negatif bir değer olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç modelin fiziksel manasını ortadan kaldırmaktadır. B katsayısı ise 1.413768 olarak bulunmuştur. Aslında A ve B katsayılarının değerlerinin 0 ve 1 arasında değişmesi gerekir.

4.5. Kireç – Alçı – Beyaz Portland Çimentosu karışımları için elde edilen deneysel sonuçların önerilen model ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

Önerilen model ile hesaplanan değerler $\%\,10$ kireç $-\,\%\,40$ alçı $-\,\%\,50$ beyaz portland çimentosu ve $\%\,10$ kireç $-\,\%\,50$ Alçı $-\,\%\,40$ Beyaz Porland çimentosu için elde edilen deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplamalarda kirecin elastisite modülü $1.2\,GPa$, alçının elastisite modülü $3.2\,GPa$ ve beyaz Porland çimentosunun $10\,GPa$ olarak alınmıştır. **Çizelge 4.1** de teorik ve deneysel sonuçlar verilmiştir. Yapılan karşılaştırmada teorik ve deneysel sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır. Karışımdaki beyaz Portland çimentosu miktarı artıkça kompozitin elastisite modülü artmaktadır. Diğer karışımlarda birim hücre modelinin düzenlemesi ve teorik hesapların yeniden yapılması gerekir. Bu nedenle bu karışımlar test edilmemiştir.

Çizelge 4.1: Önerilen modelle elde edilen teorik hesaplamaların deneysel değerler ile karşılaştırılması

Karışım oranı (%)			**Teorik değerler (GPa)**	**Deneysel sonuçlar (GPa)**
Kireç	**Alçı**	**Beyaz Portland Çimentosu**		
0	0	50	2.977	2.798
0	0	40	2.158	2.057

BÖLÜM 5

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Kompozitler genellikle bağlayıcı-lif veya bağlayıcı-agrega karışımında oluşan malzemelerdir. Bu tür malzemelerin elastisite modülünü tahmin etmek için çok sayıda matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modeller farklı türde bağlayıcı içeren kompozitlerin elastisite modülünü tanımlamak üzere kullanılabilir. Ancak mevcut modeller alçı – beyaz Portland çimentosu gibi ikili sistemlerin elastisite modüllerini tahnin etmeye daha uygundur. Nitekim yapılan bu çalışmada $Reuss$, $Hirch$ ve $Popovics$ modelleriyle oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber $Hirch$ ve $Popovics$ modelleri katsayı içerdiğinden tahmin işlemi zorlaşmaktadır. Çünkü katsayıların belirlenmesi için deney sonucuna ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle alçı – beyaz Portland çimentosu karışımları için en uygun model katsayı içermeyen $Reuss$ modeli olmaktadır. Mevcut modeller kireç – alçı – beyaz Portland çimentosu gibi üçlü sistemlerin elastisite modüllerini tahmin etmek üzere kullanılamaz. Diğer taraftan bu çalışmada önerilen modelle üçlü sistemlerin elastisite modüllerine oldukça yakın teorik hesaplamalar yapılmıştır. Ancak tahmin işlemindeki başarı kompozitin karışım oranlarına bağlıdır. Oranlar değiştiğinde birim hücre modelinin yapısı değişir. Bu durumda modelin toplam şekil değiştirme prensibine göre yeniden çıkarılması gerekir.

KAYNAKLAR

Dainel, I.M. & Ishai, O.(2006) Engineering Mechanics of Composite Materials, Oxford University Press, New York, 52.

Dolezelova, M., Svora, P., & Vimmrova, A. (2017) Ternary gypsum-based materials:Composition, properties and utilization, *IOP Conf. Series:Materials Science and Engineering*, 251, 012036.

Hirsch, T.J. (1962) Modulus of elasticity of concrete affected by elastic modulus of cement paste matrix and aggregate, *ACI Journal Proceedings.*59, 427-451.

Jacquet, E. Trivaudey, F. & Varchon D. (2000) Calculation of the tranverse modulus of a unidirectional composite material and of the modulus of an aggregate: Application of rule of mixtures. *Compos. Sci. Technol.* 60, 345-350.

Popovis, S. & Erdey, M.R.A,(1970) Estimation of the modulus of strength of concrete-like composite materials, Mareiaux et Constructios, 3(16), 253-260.

Reuss, A. (1929) Berechnung der Fliessgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitats bedingung für Einkristalle. *Zeitschrift für angewendte Mathematik and Mechanik.* 9(1), 49-58.

Shaffer, B.W.(1964) Stress-strain relations of reinforced plastics paralel and normal to their internal filaments, *AIAA Journal* 2(2),348.

Timoshenko, S.& Goodier, J.N. (1951). *Theory of Elasticity.* McGraw-Hill Book Company Inc. New York.

Voigt, W. (1928). Lehrbuch der Kristallphysik Teubner, Leipzig und Berlin. 716-761.

ÖZGEÇMİŞ

Yahya Kemal EKŞİ

Eğitim ve Akademik Durumu

İlköğretim	**:**	Hacı Selim Ağa İ. Ö. O. – Üsküdar/İSTANBUL
		Sultantepe İÖO – Üsküdar/İSTANBUL
Lise	**:**	Halide Edip Adıvar Lisesi – Üsküdar/İSTANBUL
Önlisans	**:**	İnşaat Teknikerliği – Zonguldak Karaelmas Üniv. MYO.
Lisans	**:**	İnşaat Mühendisliği – Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi
Yabancı Dil	**:**	İngilizce
Tecrübe	**:**	

Şantiye Şefi – Tekirdağ Rüstempaşa Camii Restorasyon	(3 yıl)
Şantiye Şefi – Edirne Kapalı Spor Salonu	(3 yıl)
Şantiye Şefi – Malkara Evrenbeyi Köyü Taşkın Koruma Tesisi	(2 yıl)
Şantiye Şefi – Edirne Belediye Kültür merkezi Hizmet binası	(devam ediyor)
Şantiye Şefi – Avcılar Ambarlı Mah. Heyelan Önleme Çalışması	(1 yıl)
Şantiye Şefi – Çatalca Hükümet Konağı İnşaatı	(2 yıl)