

Lastik Agregalı Betonların Yük Altındaki Gerilme Davranışlarının İncelenmesi

M. Emiroğlu¹ M. Aydın² ve S. Yıldız³

¹Düzce Üniversitesi, Düzce/Türkiye, mehmetemiroglu@duzce.edu.tr

²Karabük Üniversitesi, Karabük/Türkiye, murataydin@karabuk.edu.tr

³Fırat Üniversitesi, Elazığ/Türkiye, syildiz@firat.edu.tr

Investigation of Stress Behaviour of Rubberized Concretes under Loading

Abstract—There have been various studies about evaluation of waste vehicle tires as aggregate in concrete. Composite material called rubberized concrete produced for the purpose of both recycling of the wastes and achieving more flexible concretes. The aim of this study is investigate the stress behavior of this composite obtained using a combination of flexible and rigid materials with finite element analysis.

Keywords—Rubberized concrete, Finite element analysis, Recycling.

I. GİRİŞ

Her yıl üretilen ve satışı yapılan taşıt sayısının artışına bağlı olarak atık taşıt lastikleri de artmaktadır. Ülkemizde 2000 yılında yılda yaklaşık 180 bin ton atık lastik biriktiği kaydedilmiştir (1, 2). Atık olarak biriken bu lastik yığınlarının yangın potansiyellerinin bulunması yanı sıra kemirgenler için beslenme alanları oluşturma ve estetik gibi problemlere neden oldukları bilinmektedir (3). Kontrolsüz olarak biriken bu atık lastiklerin yeniden ekonomiye kazandırılması amacıyla, kesilmiş lastiklerin kauçuk ve plastik üretiminde kullanılması, elektrik santrallerinde yakıt olarak değerlendirilmesi ve asfalt-beton gibi yapı malzemelerinde agrega olarak kullanılmasıyla ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır (4, 5).

Atık lastiklerin asfalt üretiminde kullanımı, kauçuklu asfaltın daha iyi kayma direnci göstermesi, yorulma çatlaklarını azaltması ve geleneksel asfalta oranla daha fazla servis ömrü sağladığı için başlangıçta ilgi çekmiştir. Ancak bu uygulamanın ilk maliyetinin geleneksel asfalta oranla %40 ile %100 daha fazla değişen oranlarda olması ve uzun vadede getireceği faydaların tam olarak bilinmemesi nedeniyle bu konudaki çalışmalar giderek azalmıştır (6-10). Diğer taraftan, atık lastiklerin beton içerisinde agrega olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Lastik agregalı beton üretimi, normal agreganın karışım içerisinde hacimsel ya da ağırlıkça lastik agregalar ile yer değiştirilmesi suretiyle daha ekonomik bir yöntemle yapılmaktadır. Lastik agregalı beton geleneksel betona göre daha düşük birim ağırlık ve yüksek tokluğa sahiptir. Ancak, lastik miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır (11, 12). Topçu ve Avcular yaptıkları çalışmada, iki farklı boyutta atık lastik içeren betonların

çarpma dayanımlarının normal betona oranla daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir (13). Khatib ve Bayomy beton içerisinde, ince ve iri agrega yerine iki farklı boyutta lastik agrega kullanılmasının lastik agregalı betonun dayanımını azalttığını, buna karşın tokluğunu arttırdığını belirlemişlerdir (14). Oliveras ve arkadaşları ortalama uzunlukları 12,5 mm olan atık lastik ve polipropilen lif kullanımının lastik agregalı betonların basınç dayanımlarını azalttığını belirlemişlerdir (15). Li ve arkadaşları, atık lastik agrega kullanarak ürettikleri betonların, duktıl bir kırılma sergilediğini, basınç ve eğilme yükleri altında daha fazla enerji soğurduklarını ve iyi bir titreşim yalıtımı sağladıklarını ifade etmişlerdir (16). Emiroğlu, Yıldız ve Keleştemur lastik agregalı betonlarda atık lastikler ile çimento harcı arasındaki aderansın normal agrega ile çimento harcı arasındaki mevcut aderansın daha az olduğunu ve bu nedenle lastik agregalı betonlarda basınç dayanımının azaldığını bildirmişlerdir (12). Segre ve Joekes atık lastik tozlarını sodyum hidroksit çözeltisi içerisinde yüzey işlemine tabi tutarak beton içerisinde kullanmışlar ve ürettikleri lastik agregalı betonların basınç dayanımları ile tokluklarının arttığını kaydetmişlerdir (17). Güneyisi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, silika katkılı ve silika katkısız lastik agregalı betonun mekanik özelliklerini belirlemişler ve silika füme katkısının lastik agregalı betonun basınç dayanımındaki düşüş oranını azalttığını kaydetmişlerdir (18).

Yapılan çalışmalar sonucunda beton içerisinde lastik agrega kullanımının temel sorunu olarak; lastiklerle harç fazı arasındaki aderans yokluğu ile lastik, normal agrega ve çimento harcının yükleme altındaki mekanik davranışlarının farklı olması gösterilmektedir. Bu çalışmanın amacı kurulacak sonlu eleman modeli ile yükleme altında bu farklı kompozitin gerilme davranışını analiz etmektir.

II. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Tabiatta karşılaşılan her hadise fizik kanunları yardımıyla ve matematik diliyle anlaşılmalı çalışılır. Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla büyük oranda ifade edilebilir. Karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır hale getirilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir (19).

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde

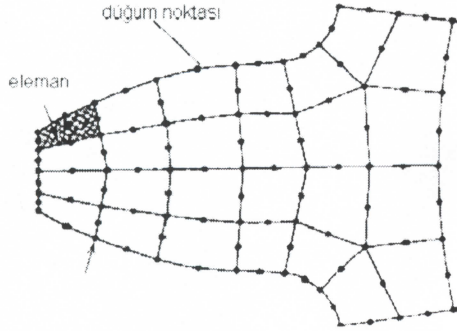
çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir (19).

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirilerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir. Bir elemana ait denklemlerin elde edilmesinde değişik metotlar kullanılabilir. Bu metotlar, direkt yaklaşım, varyasyonel yaklaşım, ağırlıklı kalanlar yaklaşımı, enerji dengesi yaklaşımı olarak sınıflandırılırlar (19).

Sonlu elemanlar metodunda temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın düğüm noktalarındaki (nod) değerler kullanılarak enterpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler nodlardaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının nodlardaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi Eşitlik 1'deki gibidir.

$$[K] \cdot [D] = [R] \quad (1)$$

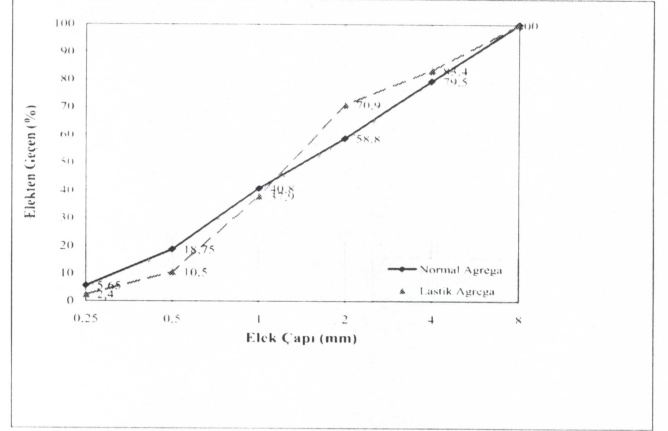
Burada [D] büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör, [R] bilinen yük vektörü ve [K] ise bilinen sabitler matrisidir. Gerilme analizinde [K] rijitlik matrisi olarak bilinmektedir (20). Sonlu elemanlar analizinde düğüm noktaları ve elemanları gösteren temsil Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanlar.

III. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA

Lastik agregalı beton üretiminde kullanılan agregalar, ince ve iri (doğal agreg) ile atık lastik (yapay agreg) agregadan oluşmaktadır. Her iki tip agregaya ait tane dağılımları Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2: Yapay ve doğal agregaya ait elek analizi sonuçları.

Karışımlarda CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış ve su/çimento oranı (0,55) sabit tutulmuştur. Üretilen lastik agregalı beton karışımlarında, lastik agregalar normal agreg ile hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yer değiştirilmiştir. Elde edilen beton karışımları 15x15x15 cm boyutlarındaki küp ve 10x10x50 cm boyutlarındaki dikdörtgen prizma kalıplara dökülmüştür. Numuneler kalıba yerleştirildikten bir gün sonra kalıplardan alınarak numuneler 28 gün boyunca kür tankında bekletilmiştir. Kür işlemi ardından numuneler üzerinde, birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Lastik agregalı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Lastik agregalı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler

Deneyler	Numuneler				
	(%0)	%5	%10	%15	%20
Birim Ağırlık, (kg/m ³)	2260	2190	2120	2050	1980
Basınç Dayanımı, (N/mm ²)	45,69	42,49	37,30	26,96	23,91
Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)	4,75	5,34	4,74	4,89	4,29
Yarmada Çekme, Dayanımı (N/mm ²)	4,191	3,741	3,141	2,676	2,238

Beton içerisinde lastik agreg kullanımı ile betonun basınç ve yarmada çekme dayanımlarında lastik içeriği arttıkça bir azalma meydana gelmektedir. Ancak %5 lastik agreg içeren betonun eğilme dayanımında bir miktar iyileşme gözlemlendiği Tablo 1'de görülmektedir.

IV. LASTİK AGREGALI BETONLARIN SONLU ELEMAN MODELİ

Atık lastiklerin beton içerisinde agreg olarak değerlendirilmesi ile numunelerin basınç dayanımlarında azalma meydana gelmektedir (Tablo 1). Bu durumu araştırmak üzere ANSYS paket programı kullanılarak bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Analizde lastik agregalı betonları temsil etmesi açısından ince agreg ve çimentodan oluşan çimento hamuru, iri agreg ve lastik agreg olmak üzere üç farklı faz kullanılmıştır. Modelde bir kenar uzunluğu 1 mm olan ince bir yüzey tabakası kullanılarak kontrol

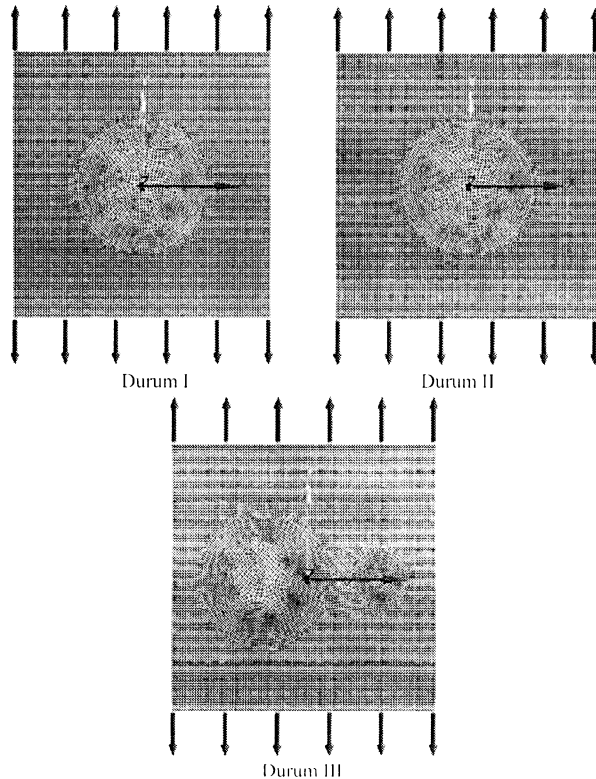
numunesini tensil etmek üzere hiç lastik agrega içermeyen, iri agregası tamamen lastik agregadan oluşan ve hacimsel olarak %5 lastik agregalı betonlar 3 farklı durum incelenmiştir (Şekil 3).

Sonlu elemanlar modelinde, üç farklı durum göz önüne alınarak modellenen kompozit yapı düzlem gerilme olarak ele alınmıştır. Modeli oluşturan parametreler Tablo 2’de özetlenmiştir (21).

Tablo 2: Modeldeki eleman sayıları ve sınır şartlar.

Parametre	Durum I		Durum II		Durum III		
	Çim.	Agr.	Çim.	Last.	Çim.	Agr.	Last
Eleman Sayısı	8059	2122	8059	2122	8010	2263	435
Düğüm Noktası	24727	6525	24727	6525	24635	6940	1368
Elastisite Modülü (GPa)	20	75	20	0.005	20	75	0.005
Poisson Oranı	0.3	0.15	0.3	0.45	0.3	0.15	0.45
Gerilme (MPa)	1.00						

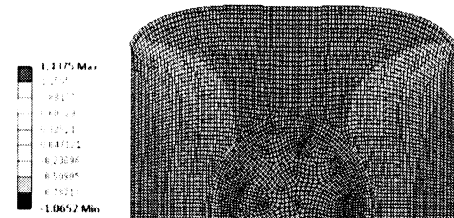
Tablo 2'deki malzeme karakteristikleri ve sınır şartlarına uygun olarak hazırlanan sonlu elemanlar modelinin genel yapısı Şekil 3'de verilmektedir.



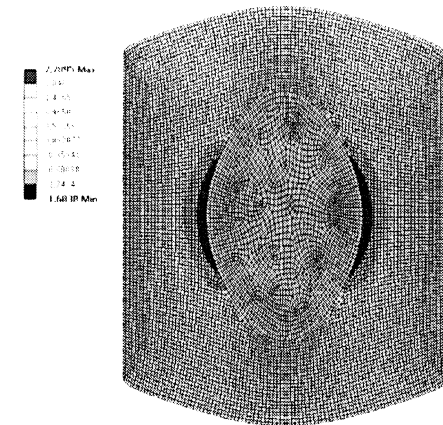
Şekil 3. Sonlu elemanlar modelinin genel yapısı

Çimento harcı, normal agrega ve lastik agrega fazlarından oluşan kompozit yapı üç farklı durum göz önüne alınarak ve sınır şartları sağlayacak şekilde sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Yüklemeye, y doğrultusunda düzgün dağılımı 1 MPa değerindeki çekme gerilmesi şeklinde uygulanmıştır.

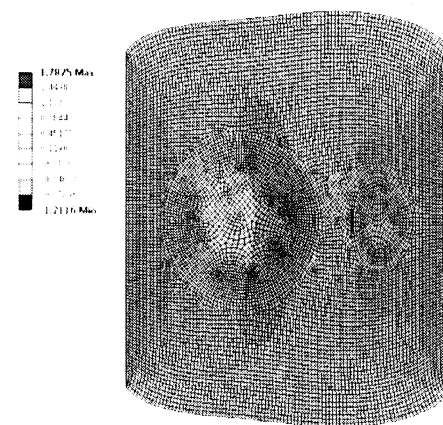
Yükleme ve sınır şartlara uygun olarak oluşturulan sonlu elemanlar modeline ait sonuçlar Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 4: Durum I için y-yönündeki normal gerilme dağılımı

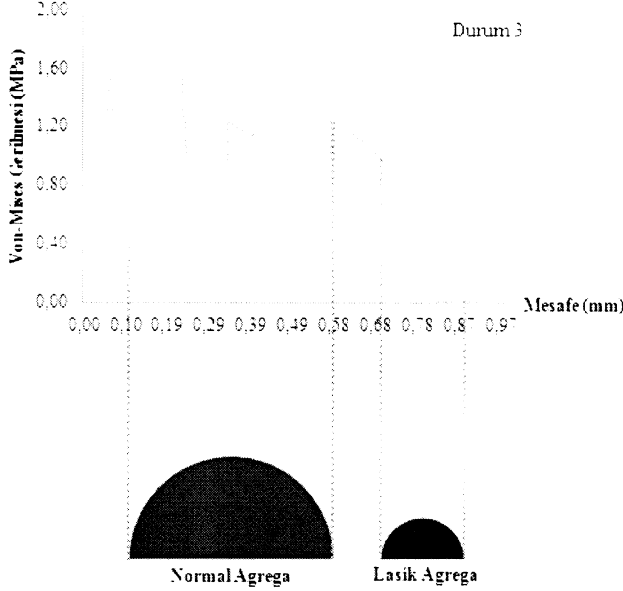


Şekil 5: Durum II için y-yönündeki normal gerilme dağılımı



Şekil 6: Durum III için y-yönündeki normal gerilme dağılımı

III için çimento, lastik agregası ve normal agregası fazları için idealize edilmiş gerilme dağılımları Şekil 7'de, toplam deformasyon ile normal ve asal gerilme değerleri ise Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 7: Durum III için normal gerilme dağılımı

Tablo 3. Sonlu elemanlar analizi deney sonuçları

Durum No	Normal Gerilme (MPa)		Asal Gerilme (MPa)	Deformasyon (mm)
	σ_x	σ_y	σ_1	δ_1
I	0,590	1,438	1,454	$1,6355e^{-5}$
II	1,816	2,290	2,625	$5,0835e^{-5}$
III	0,718	1,783	1,783	$2,0203e^{-5}$

Daha rijit yapıda bulunan normal agregası çimento harcı ile hemen hemen benzer gerilme dağılımı göstermesine rağmen, esnek yapıdaki lastik agregaları gerilmeyi absorbe ederek çimento ile arasındaki taneler arası geçiş bölgesinde gerilme yoğunlaşmaları meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu durum literatürde belirtildiği üzere lastikler ile çimento harcı arasındaki zayıf aderans sonucu mukavemete azalmaya neden olmaktadır (12).

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Katı bir atık olan kullanılmış araç lastikleri beton agregası olarak beton içerisinde değerlendirilerek bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Buna göre;

- Lastik agregaların yükleme altında izolatör görevi yaptığı ve bir miktar enerji sönümlediği,
- Hem çimento harcı hem de normal agregaya göre daha esnek olan lastiklerin betonun daha fazla deformasyon yaparak geleneksel betona oranla daha

sünek özellik gösterdiği ve eğilme dayanımında gözlenen iyileşmenin bu durumdan kaynaklandığı.

- Lastik (yumuşak, esnek), çimento harcı ve normal agregası (sert, rijit) parçacıkların birlikte kullanımı ile meydana gelen gerilme dağılımındaki değişimin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca bundan sonra yapılacak çalışmalarda, lastikler ile çimento harcı arasındaki taneler arası geçiş bölgesinin davranışının incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Emiroğlu, "Atık Taşı Lastiğin Beton İçerisinde Kullanımı ve Betonun Karakteristiklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [2] B. Batur, "Türkiye İçin Kullanılmış Lastik Yönetimi" Araştırması", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [3] M. W. Tantal, J. A. Lepore, and I. Zandi, "Quasi-Elastic Behavior of Rubber Included Concrete", 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management, 1996.
- [4] M. Nehdi, and A. Khan, "Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications", Cement and Concrete Aggregates, CCA GDP, Vol. 23, No. 1, June pp. 3-10, 2001.
- [5] R. Siddique, and T. R. Naik, "Properties of Concrete Containing Scrap-Tire Rubber- an Overview", Waste Management, 24, 563-569, 2004.
- [6] O. N. Celik, "The Fatigue Behaviour of Asphaltic Concrete Made With Waste Shredded Tire Rubber Modified Bitumen", Turk. J. Engin. Environ. Sci., 25, 487-495, 2001.
- [7] H. B. Takallou and R. G. Hicks, "Development of Improved Mix and Construction Guidelines for Rubber-Modified Asphalt Pavements", Transportation Research Record, 1171, 1988.
- [8] J. L. McQuillen Jr., H. B. Takallou, R. G. Hicks, and D. Esch, "Economic Analysis of Rubber-Modified Asphalt Mixes", Journal of Transportation Engineering, Vol. 114, 1988.
- [9] D. C. Esch, "Construction and Benefits of Rubber-Modified Asphalt Pavements", Transportation Research Record 860, 1982.
- [10] G. Dore, J. M. Konrad, M. Roy, and N. Rioux, "The Use of Alternative Materials in Pavement Frost Protection: Material Characteristics and Performance Modeling", Transportation Research Record No. 1481, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 63-74, 1995.
- [11] M. Emiroğlu, S. Yıldız, ve E. Özgan, "Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün DeneySEL ve Teorik Olarak İncelenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 24, No 3, 469-476, 2009.
- [12] M. Emiroğlu S. Yıldız and M. H. Keleştemur, "An Investigation on ITZ Microstructure of the Concrete Containing Waste Vehicle Tire", Computers and Concrete, Vol. 5, No. 5, 503-508, 2008.
- [13] E. B. Topçu, ve N. Ayvazlar, "Collosion Behaviours of Rubberized Concretes", Cement and Concrete Research, 27, 1893-1898, 1997.
- [14] Z. K. Khatib and E. M. Bayomy, "Rubberized Portland cement concrete", J. Mater. Civ. Eng., 11 (3) 206-213 1999.
- [15] E. H. Olivares, G. Barluenga, M. Bollati, and B. Witoszek, "Static and dynamic behavior of recycled tyre rubber-filled concrete", Cement and Concrete Research, 32 (10) 1587-1596, 2002.
- [16] Z. Li, F. Li, and J. S. L. Li, "Properties of concrete incorporating rubber tyre particles", Magazine of Concrete Research, 50, 297-304, 1998.
- [17] N. Segre and I. Joekes "Use of tire rubber particles as addition to cement paste", Cement and Concrete Research, 30 (9) 1421-1425, 2000.
- [18] E. Güneş, M. Gecioğlu, and T. Öztürk, "Properties of Rubberized Concretes containing Silica Fume", Cement and Concrete Research, 34, 2309-2317, 2004.
- [19] M. Topçu, S. Taşgetiren, Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, PAÜ Mühendislik Fakültesi matbaası, Ders kitapları Yayın No: 007, ISBN 975-6992-03-4, 1998.
- [20] E. Madenci, I. Güven, The Finite Element Method and Applications in Engineering Using Ansys, Springer, ISBN-10: 0-387-28289-0, 2006.
- [21] B. Huang, G. Li, S. S. Pang, J. Eggers, Investigation into Waste Tire Rubber-Filled Concrete, ASCE, 16 (3) 187-194, 2004.