

KARAYOLU TRAFİK DÜZENLEMESİNDE ALTERNATİF BİR SİSTEM: ARAÇSAYAR AKILLI BETON*

Nabi Yüzer¹, Zafer Kavak², Atıf Taftaf³,
Büşra Aktürk⁴, M. Mansur Tüfekçi⁵

Özet

Akıllı Ulaşım Sistemleri ulaşımında çevresel etkileri azaltacak şekilde hareketliliği ve güvenliğini arttırarak ulaşımı destekleyen gelişmiş bilgi ve iletişim teknoloji uygulamalarıdır. Bu sistemler yol üzeri trafik verilerini vermektedir. Verilerin sağlıklı bir şekilde elde edilmesi ve izlenmesinde manyetik döngülü sistemler kullanılmaktadır. Çalışmada, basınç altında elektrik akımı üreten kompozit piezoelektrik malzemeyi beton içinde kullanarak normal, yüksek ve ultra yüksek dayanımlı, çelik lif katkılı ve katkısız araçsayar akıllı beton serileri üretilmiştir. Beton numunelere, farklı yükleme hızlarında (0,05; 0,3; 0,5; 1,0 ve 2,0 MPa/s), hafif, orta ve ağır araç yüklerini temsil eden farklı yükler (5, 35 ve 60 kN) uygulanarak farklı gerilimler (volt) ölçülmüştür. Basınç, eğilme, yükleme boşaltma deneyleri sonucunda gömülü piezoelektrik malzemeden yük etkisinde en uygun değerlerin yüksek dayanımlı çelik lif katkısız betondan elde edildiği görülmüştür. Bu beton serisinin yola gömülerek araç sayımı yapılması sonucunda, araçsayar akıllı betonun araç türünü yüklerine göre ayırt edip sayabilen bir sistem olduğu, günümüzde trafik sayım sistemlerinde kullanılan algılayıcılara alternatif olabileceği düşünülmektedir.

1. GİRİŞ

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), farklı ulaşım modlarına ve trafik yönetimine dair yenilikçi hizmetler sunmayı amaçla-

yan, çeşitli kullanıcıları daha iyi bilgilendirmeyi olanaklı hâle getiren ve ulaşım ağlarının kullanımını daha emniyetli, daha koordine ve "akıllı" kılan ileri teknolojik uygulamalardır [1].

AUS'da kullanılan teknolojilerden biri de karayollarında kullanılan otomatik trafik sayım ve sınıflandırma sistemleridir. Bu sistemler yol bilgilerinin merkeze taşınmasında kullanılmaktadır. Trafik akım bilgileri; Planlama (fizibilite analizleri, kapasite analizleri, ihtiyaçların ve önceliklerin belirlenmesi), Mühendislik (geometrik projelendirme, üstyapı projelendirmesi, tünel havalandırma projeleri), İşletme (trafiğin izlenmesi, ücretlendirme, denetim, tıkanıklık yöntemi, enerji ve çevrenin korunması), Güvenlik (denetim, trafik ve kaza ilişkisi, kara noktaların çözümü, trafik güvenliği projeleri üretilmesi, eğitim), İstatistik (ortalama günlük trafik değerleri, yük ve yolcu taşıma mesafeleri, yük ve yolcu taşımacılığı), Politika geliştirme (gelir tahminleri, ücretlendirme, performans ölçümleri, yol boyu tesislerin yer seçimi, yük hareketleri eğilimi, hız limit politikaları, azami yük politikaları) ve diğer amaçlarla kullanılır.

Karayollarında trafik izlemede kullanılan algılayıcı (sensör) teknolojileri yol üzeri ve yol kenarı sistemleridir. Ülkemizde kullanılan yol üzeri sistemler; havalı hortumlu, manyetik döngülü, hareketli ağırlık ölçüm sistemler, yol kenarı

An Alternative System in Highway Management: Vehicle Counting-Smart Concrete

Intelligent Transport Systems are applications of information and communication technologies that support the transportation in a way to increase the mobility and safety and to decrease the environmental impact. These systems provide the data related to the traffic flow on the highway. Magnetic systems are used to obtain healthy data and to observe it. In this study, normal strength, high strength and ultra high strength concrete with and without steel fiber addition were produced, with piezoelectric material embedded. Different loading rates (0.05; 0.3; 0.5; 1.0 and 2.0 MPa/s), different loads (5, 35 and 60 kN) which represent the impacts of light, medium and heavy weight vehicles were applied and resultant voltage values were measured. According to the results of compressive and flexural strength and loading-unloading tests, the best results were obtained from high strength concrete without steel fiber addition. It was determined that this concrete can differentiate the vehicles with respect to their weights and count them separately. Thus, it can be a suitable alternative system to the currently used sensors for traffic monitoring.

1) nabiyyuzer@gmail.com, 3) atiftaftaf@gmail.com, 4) bucarkosar@gmail.com, 5) mansurtufekci@gmail.com, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul; 2) zkavak@isbak.com.tr, İSBK AŞ, İstanbul
(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

sistemler ise; el sayımları ve mikrodalga sistemlerdir. Karayolları Genel Müdürlüğü havalı hortumlu ve manyetik döngülü sistemleri kullanmaktadır. Ayrıca, otoyol ücret toplama sistemlerinden, trafik yönetim sistemlerinden ve bazı tünellerde kurulu cihazlardan da veriler elde edilmektedir [2].

Basınç altında, malzemenin elektrik alan ya da elektrik potansiyel değiştirme yeteneği piezoelektrik özelliktir [3]. Bu özellik, malzemenin içindeki polarizasyon yoğunluğundaki değişimle doğrudan ilgilidir. Uygulanan gerilme, malzeme bir voltaj meydana getirir. Bu özellikten yararlanılarak "sesin oluşturulması ve algılanması", "yüksek voltajlar oluşturulması", "elektronik frekans yaratılması", "mikrobalans" ve "optik çevrimcilerin aşırı ince odaklanması" gibi çeşitli uygulama alanları oluşturulmuştur.

Piezoelektrik malzemelerin betonun farklı özelliklerini inceleme amacı ile kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır [4-12]. Beton yollardaki potansiyel alkali agrega reaksiyonlarının takibi [4], piezoseramik esaslı akıllı agregaların betonda kullanılması ile hidratasyon sürecinin takibi [5], yapı sağlığının incelenmesi [6-7] ile dayanım gelişimi süreci izlenmesi [8-11] başlıca çalışma konularıdır. Çimento esaslı piezoelektrik sensörler aracılığı ile trafik akışını belirlemeye yönelik yapılan bir deneysel çalışmada voltaj miktarının lineer olarak basınçla orantılı olarak arttığı görülmüştür. 10 ton tır ve 6,8 tonluk kamyonetle yapılan testlerde hareket halindeki ağırlık tahmin edilebilmiştir. 20-70 km/sa değişen hız aralıklarında yapılan ağırlık ölçümlerde 1 tondan daha az hata görülmüştür. Sensör ve ölçümlerin trafik akışı, araç hızı ve hareket hâlindeki ağırlığı belirlemede akıllı trafik izlemeleri için uygun olduğu belirtilmiştir [12].

Bu çalışmada, yapılan çalışmalardan farklı olarak piezoelektrik gömülü betonlarda, artan yükleme değerlerine bağlı olarak piezoelektrik malzemenin davranışı farklı yükleme hızlarında, farklı yüklerde ve farklı beton tiplerinde araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

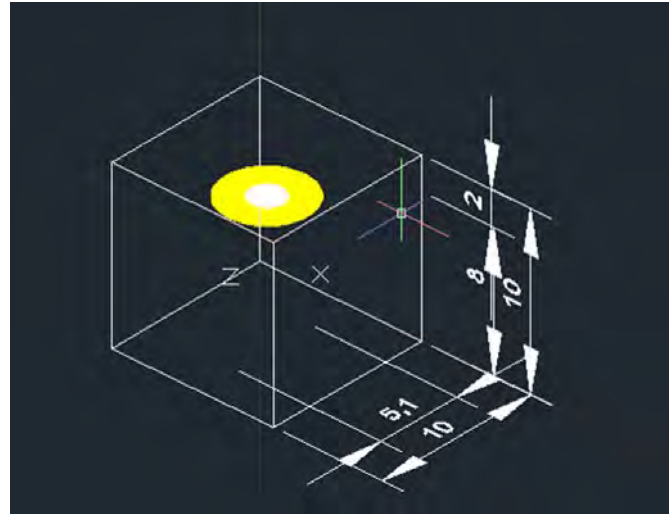
2.1 Ön Deneyler

Araçsaya Akıllı Beton (AAB) üretiminde kullanılacak olan piezoelektrik malzeme boyutlarına, yükleme hızlarına ve uygulanan yüklere karar verebilmek için bazı ön deneyler yapılmıştır. Deneylerde 20, 27 ve 41 mm çaplı piezoelektrik malzemeler (Lead Zirconate Titanate $Pb[Zr_{x}Ti_{1-x}]O_3$) kullanılmış, 27 ve 41 mm çaplı piezoelektrik malzemeler tek şeritli kablolarla lehimlenmiş, üst kısımları sıcak silikonla yalıtılmış-

tır. C30/37 dayanım sınıfına sahip normal dayanımlı beton üretimi için CEM I 42,5 R tipi çimento, granüle yüksek fırın cürufu, maksimum tane çapı 22,4 mm olan kalker esaslı agregası kullanılmıştır. S3 kıvam sınıfını elde etmek için modifiye polikarboksilat esaslı polimer süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

2.1.1 Yükleme deneyi

Piezoelektrik malzemeler 10x10x10 cm'lik küp numunelere yüzeyden 2 cm aşağıda, kenarlardan ortaları olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 1). İlk 1 saat ve 1., 7., 28. ve 56. gün gerilim değerleri ölçülmüştür. 20 mm çaplı üzeri silikon kaplı olmayan piezoelektrik malzeme içeren numuneden veri alınamamıştır. 41 ve 27 mm çaplı malzemelerin ise değişen salınım gerilim değerleri gösterdiği görülmüştür.



Şekil 1. Piezoelektrik malzemelerin konumları

Gerilim ölçümleri sonrasında numuneler deney gününe kadar iklimlendirme dolabında $22 \pm 2^\circ C$ ve $\%95 \pm 5$ bağıl neme maruz bırakılmıştır. Numunelerin 7. günlük basınç dayanımı ortalama 18,4 MPa'dır. Kullanılacak piezoelektrik malzemelerin çapına ve uygulanacak yükleme hızlarına karar vermek için yükleme deneyleri 2 farklı universal test cihazında (35 ve 60 ton kapasiteli) yapılmıştır. Piezoelektrik malzeme gömülü beton numuneler 1, 2 ve 15 mm/dk yükleme hızlarında, hafif, orta ve ağır araç yükünü temsil eden 5, 35 ve 60 kN yüklerde, piezoelektrik malzemenin konumu numune yüzeyinin 2 ve 8 cm altında olacak şekilde yükleme deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda 41 mm çapındaki piezoelektrik malzemenin gömülü olduğu beton numunenin ön deneylerde kullanılmasına karar verilmiştir.

Daha sonra piezoelektrik malzeme yüzeyin 2 cm altında olacak şekilde 60 kN'a kadar basınç etkisine maruz bırakılmış, yük kalktıktan hemen sonra gerilim değerlerinde maksimum artış gözlemlenmiştir. Farklı yükleme hızlarında, piezoelektrik malzeme alt ve üstte olmak üzere yükleme sonrasında elde edilen maksimum değerler ölçülmüştür. 1mm/dk yükleme hızında 5 ve 35 kN gerilim değerleri belirlenememiştir. Maksimum gerilim değerlerinin yüke, yükleme hızına ve piezoelektrik malzemenin numunedeki konumuna bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Uygulanacak yüklerin 5, 35 ve 60 kN olmasına karar verilmiştir. Piezoelektrik malzemenin her iki konumunda da aynı yükleme hızlarında, yükün artması ile gerilim değerleri de artmıştır. Yükleme anında artan gerilim değerlerinin de benzer bir salınımda olduğu görülmüştür. Salınımların piezoelekt-

rik malzemenin her iki konumunda da benzer olduğu, yükleme hızına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Aynı yükleme hızı için farklı yüklerde benzer salınım değerleri görülmüştür.

2.1.2 Yükleme-Boşaltma Deneyi

41 mm piezoelektrik malzeme barındıran 10x10x10 cm'lik küp numunelerde yapılmıştır. Numune üzerine vuruşlar 5.000 N olacak şekilde toplam 5 vuruş yapılmıştır. Yükün başladığı andan itibaren ölçülen ve uygulanan yükün sıfırdan maksimuma ulaşması için geçen süre olan yükleme süresi 125 ms, 250 ms ve 500 ms olarak seçilmiştir. Yük tekrarlama periyodu 3 s'dir. Yükleme süresine bağlı olarak değişen boşaltma, toplam yükleme süreleri, frekans ve yükleme sıklığı değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yükleme değerleri

Yükleme Süresi (ms)	Boşaltma Süresi (s)	Toplam Yükleme Süresi (ms)	Frekans (Hz)	Yükleme Sıklığı (ms)
125	125	250	4	3.000
250	250	500	2	3.000
500	500	1.000	1	3.000

Ön deneyler sonucunda piezoelektrik malzemenin türüne, beton içerisindeki konumuna karar verilmiş, farklı yükleme hızlarında, farklı yükler altında, farklı gerilim değerleri alınabileceği görülmüş, AAB'nin trafik izleme sistemi için kullanılabileceği tespit edilmiştir. Performansın daha iyi belirlenebilmesi için aşağıda açıklanan farklı beton tiplerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

2.2. Deneyler

Piezoelektrik malzemenin farklı beton tiplerindeki davranışının araştırıldığı deneyler için Normal Dayanımlı Beton (NDB), Yüksek Dayanımlı Beton (YDB) ve Ultra Yüksek Dayanımlı Beton (UYDB) tipleri; Çelik Lif (ÇL) katkılı ve katkısız olmak üzere toplamda 6 seri beton üretilmiştir.

Beton üretimlerinde CEM I 42,5 R çimentosu, uçucu kül, silis dumanı, agrega olarak kırma taş kumu, I numaralı mıcır, doğal kumu ve kuvars tozu (Çizelge 2-3), istenilen kıvamı sağlamak için Sika-ViscoCrete-PC 15 (polikarboksilat esaslı polimer) yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Üretimde ayrıca özellikleri Çizelge 4'te verilen çelik lifler ile özellikleri Çizelge 5'te verilen 20, 27 ve 41 mm çaplarında piezoelektrik malzemeler (Şekil 2) kullanılmıştır.

Çizelge 2. Çimentonun özellikleri

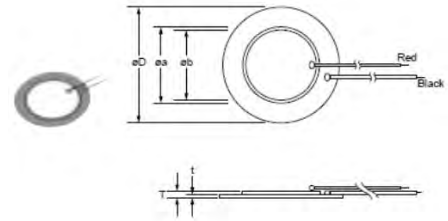
SiO ₂	%19,23
Al ₂ O ₃	%4,16
Fe ₂ O ₃	%3,44
CaO	%63,37
MgO	%1,55
SO ₃	%2,83
Çözünmeyen Kalıntı	%0,55
Kızdırma Kaybı	%2,95
Serbest Kireç	%1,63
Toplam Alkali (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	%0,35
Özgül Ağırlık	3,16

Çizelge 3. Agregaların özellikleri

Agregalar	Kırmaş Kumu (0-5 mm)	I No.lu Mıcır (5-12 mm)	Doğal Kum (0-4 mm)	KuvarsTozu (0-1 mm)
Birim Ağırlık (g/cm ³)	1,50	1,37	1,34	1,42
Görünür Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	2,77	2,7	2,66	2,7
Su Emme Oranı (%)	3,1	0,6	1,5	2,8
İncelik Modülü	3,0	*	2,4	2,3

Çizelge 4. Çelik lifin özellikleri

Lif Adı	Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik	Çekme Dayanımı (MPa)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
OL 6/16	Mezo	6	0,16	37,5	2.250	7,85
ZP 305	Makro	30	0,55	55	1.100	7,15

Şekil 2. Piezoelektrik Malzeme**Çizelge 5.** Piezoelektrik malzeme özellikleri

Piezoelektrik Malzeme Kodu	Çapı (mm)	Rezonans Frekansı (kHz)	Rezonans Impedansı (ohm)	Kapasitans (nF)
7BB-20-6L0	20	6,3 ± 0,6kHz	1.000 maks.	10,0 ± 30% [1kHz]
7BB-27-4L0	27	4,6 ± 0,5kHz	300 maks.	20,0 ± 30% [1kHz]
7BB-41-2L0	41	2,2 ± 0,3kHz	300 maks.	30,0 ± 30% [1kHz]

Beton üretimlerinde kullanılan gerçek malzeme miktarları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Beton üretiminde kullanılan gerçek malzeme miktarları

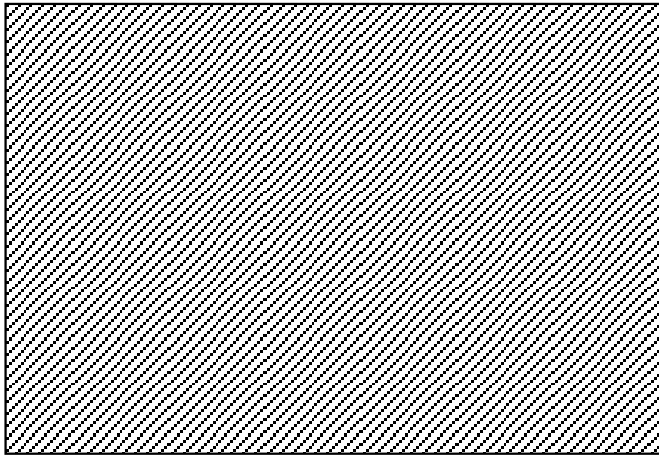
Beton Tipi	NDB	NDB+ÇL	YDB	YDB+ÇL	UYDB	UYDB+ÇL
Çimento (kg)	350	350	400	400	650	650
Yüksek Fırın Cürufu (kg)	0	0	40	40	100	100
Silis Dumanı (kg)	0	0	20	20	200	200
Uçucu Kül (kg)	0	0	0	0	100	100
Su/Bağlayıcı oranı (%)	0,6	0,6	0,38	0,38	0,18	0,18
Süper Akışkanlaştırıcı (%)	0,5	0,8	1	1	5	5
Çelik Lif OL 6/16 (kg)	0	25,1	0	35,9	0	78,5
Çelik Lif ZP 305 (kg)	0	51,0	0	39,3	0	71,5
Kırmaş Kumu (0-5 mm) (kg)	416,8	416,8	448,5	448,5	0	0
I No.lu Mıcır (5-12 mm) (kg)	985,7	985,7	1.060,4	1.060,4	0	0
Doğal Kumu (0-4 mm) (kg)	245,5	245,5	263,7	263,7	562,6	538,0
Kuvars Tozu (0-1 mm) (kg)	0	0	0	0	571,1	544,1

Kür havuzunda ve iklimlendirme dolabında $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ve %95 ± 5 bağıl nemde saklanan altı farklı seride basınç, eğilme dayanımları ve gerilim (V) değerlerini belirlemek için toplamda 54 adet numune üretilmiştir. Basınç dayanımı TS EN 12390-3'e göre 15x15x15 cm'lik küp numuneler, eğilme dayanımı ise 12390-5'e göre 10x10x50 cm'lik numuneler kullanılarak belirlenmiştir.

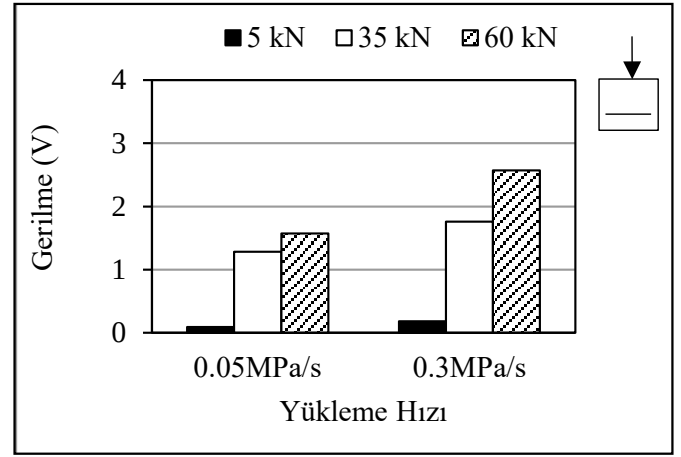
2.2.1 Normal Dayanımlı Beton

NDB'ler üzerinde 28 günlük basınç ve eğilme deneyleri yapılmış, gerilim (V) pik değerleri belirlenmiştir.

Çelik lif katkısız ve katkılı NDB'lerin ortalama basınç dayanımları sırası ile 41,3 ve 42,7 MPa, eğilme dayanımları ise 3,6 ve 4,1 MPa'dır. Yükleme-Boşaltma deneyi sonucuna göre, farklı yük etkisinde farklı gerilim (V) değerleri elde edilmiştir. Yük arttıkça gerilim değerleri de artmış, aynı yük etkisinde artan yükleme hızlarında gerilim değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Piezoelektrik malzemenin konumuna bağlı olarak aynı yük ve yükleme hızlarındaki gerilim değerlerinin yüzeye yakın olan yerlerde daha fazla olduğu gözlemlenmiş, çelik lif katkılı olan numunelerde katkısız olanlara göre daha düşük gerilim değerleri görülmüştür (Şekil 3-4).

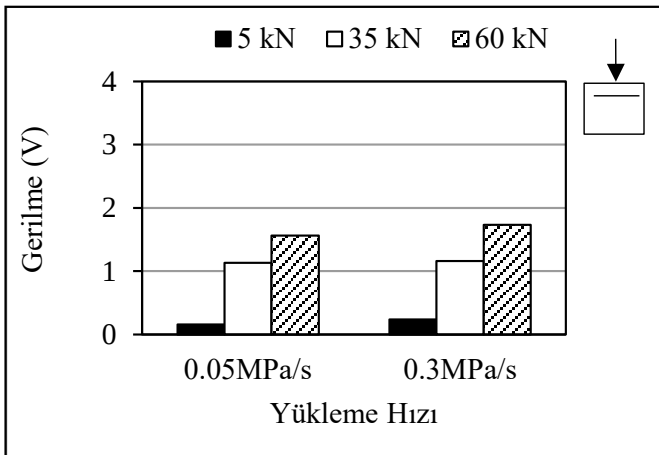


a) Piezoelektrik malzeme 2 cm altında

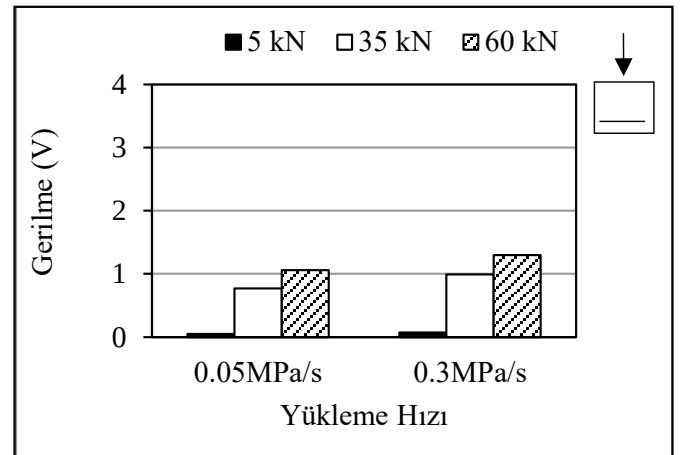


b) Piezoelektrik malzeme 8 cm altında

Şekil 3. Normal dayanımlı beton pik değer grafikleri



a) Piezoelektrik malzeme 2 cm altında



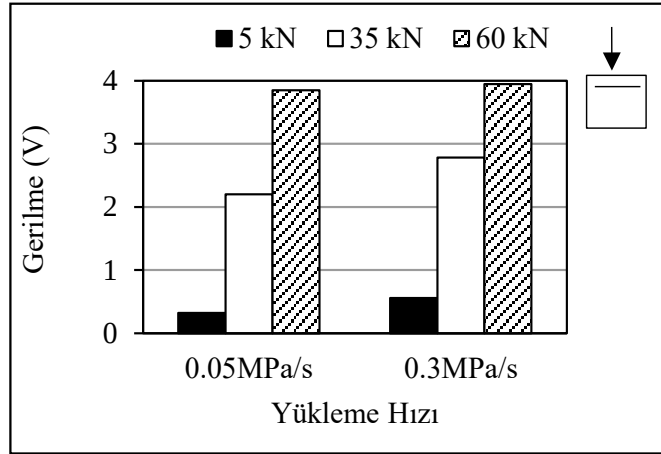
b) Piezoelektrik malzeme 8 cm altında

Şekil 4. Normal dayanımlı çelik lifli beton pik değer grafikleri

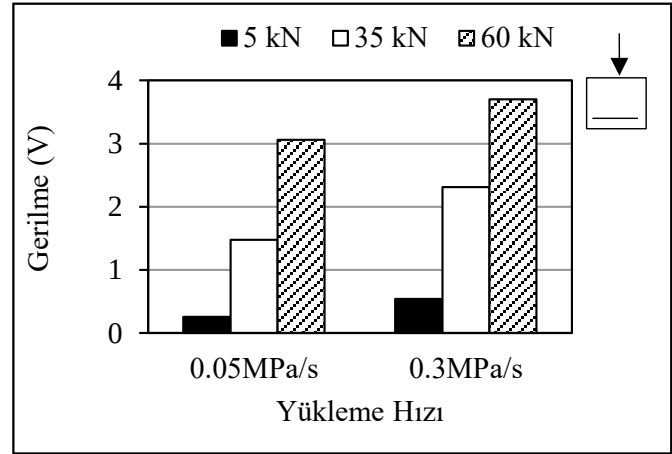
2.2.2 Yüksek Dayanımlı Beton

Çelik lif katkısız ve katkılı YDB'lerin ortalama basınç dayanımları sırası ile 67,7 ve 71,4 MPa, eğilme dayanımları ise 4,8 ve 4,9 MPa bulunmuştur. Farklı yük etkisinde farklı gerilim (V) değerleri elde edilmiş, yük arttıkça gerilim değerleri de artmıştır. Aynı yük etkisinde artan yükleme hızlarında gerilim

değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Piezoelektrik malzemenin konumuna bağlı olarak aynı yük ve yükleme hızlarındaki gerilim değerlerinin yüzeye yakın olan yerlerde daha fazla olduğu gözlemlenmiş, çelik lif katkılı olan numunelerde katkısız olanlara göre daha düşük gerilim değerleri görülmüştür (Şekil 5-6).

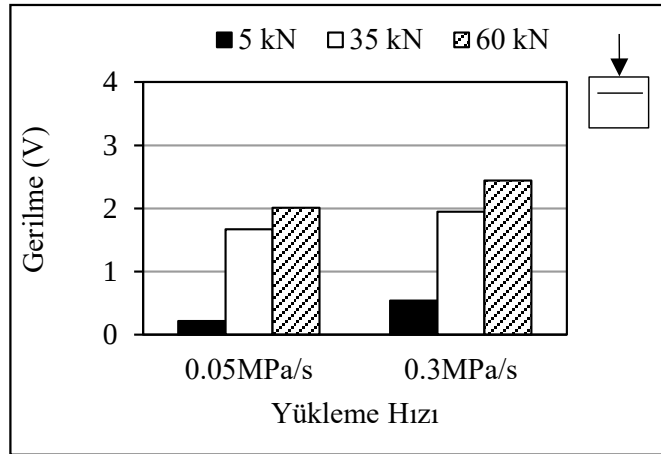


a) Piezoelektrik malzeme 2 cm altında

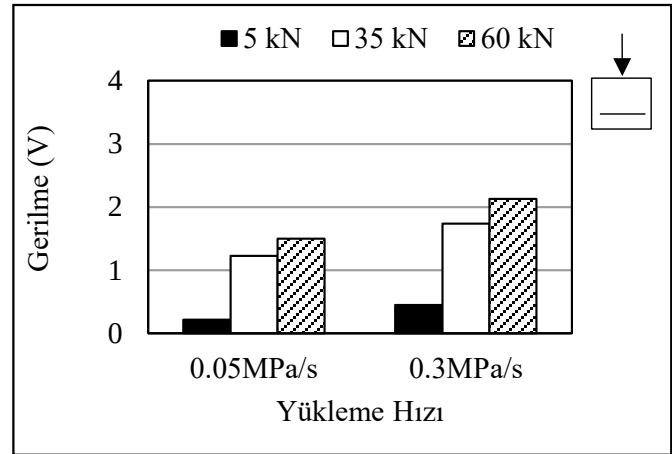


b) Piezoelektrik malzeme 8 cm altında

Şekil 5. Yüksek dayanımlı beton pik değer grafikleri



a) Piezoelektrik malzeme 2 cm altında



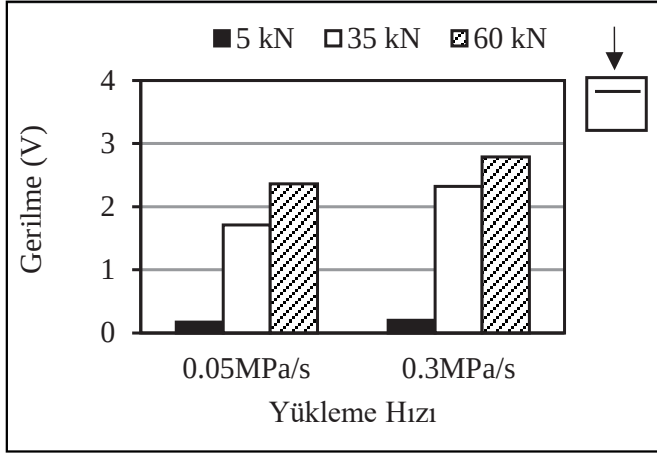
b) Piezoelektrik malzeme 8 cm altında

Şekil 6. Yüksek dayanımlı çelik lifli beton pik değer grafikleri

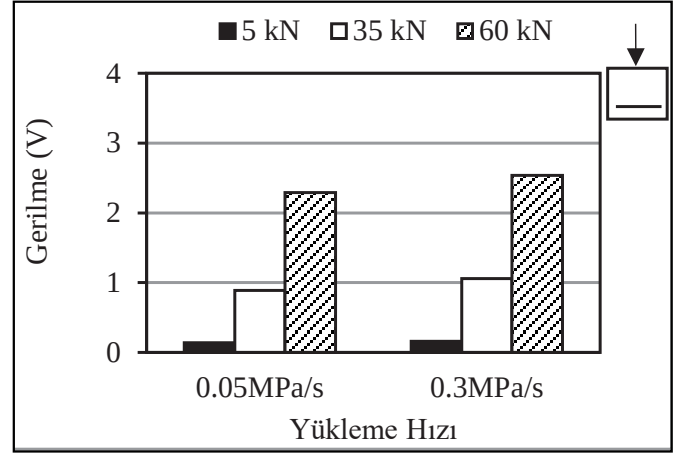
2.2.3 Ultra Yüksek Dayanımlı Beton

Çelik lif katkısız ve katkılı UYDB'lerin ortalama basınç dayanımları sırası ile 119,7 ve 127,3 MPa, eğilme dayanımları ise 11,2 ve 20,8 MPa bulunmuştur. Farklı yük etkisinde farklı gerilim (V) değerleri alınmış, yük arttıkça gerilim değerleri de artmıştır. Aynı yük etkisinde artan yükleme hızlarında gerilim değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

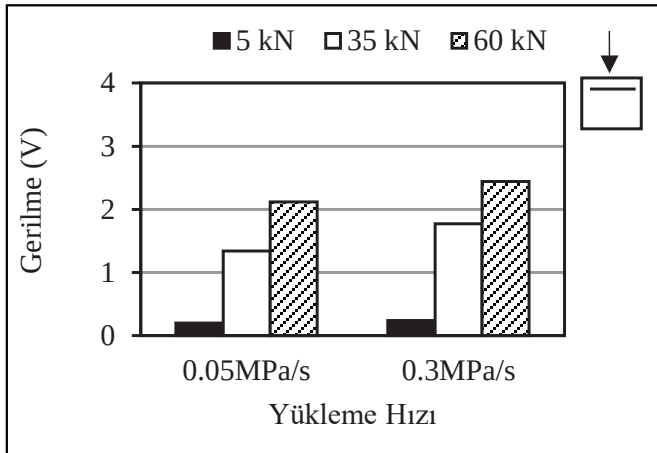
Piezoelektrik malzemenin konumuna bağlı olarak aynı yük ve yükleme hızlarındaki gerilim değerlerinin yüzeye yakın olan yerlerde daha fazla olduğu gözlemlenmiş, çelik lif katkılı numunelerde katkısız olanlara göre daha düşük gerilim değerleri görülmüştür (Şekil 7-8).



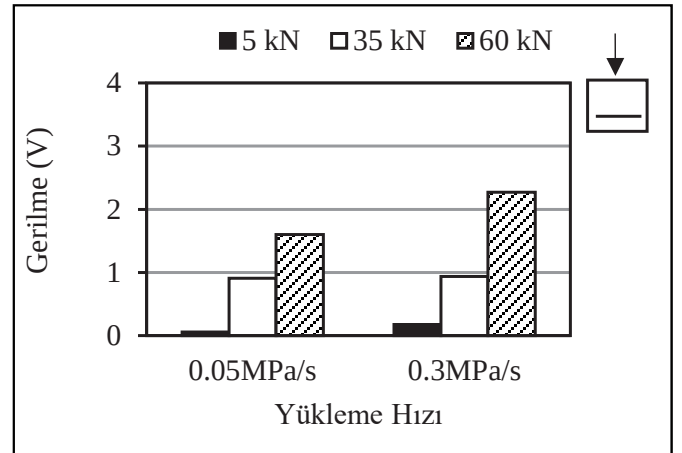
a) Piezoelektrik malzeme 2 cm altında



b) Piezoelektrik malzeme 8 cm altında

Şekil 7. Ultra yüksek dayanımlı beton pik değer grafikleri

a) Piezoelektrik malzeme 2 cm altında



b) Piezoelektrik malzeme 8 cm altında

Şekil 8. Ultra yüksek dayanımlı çelik lifli beton pik değer grafikleri

2.3 Araçsaya Akıllı Betonun Yol Uygulaması

Yapılan deneysel çalışma sonucunda çelik lif katkısız yüksek dayanımlı beton serisinin araç sayımı için yol uygulamasında kullanılmasına karar verilmiştir.

Gerilim değerlerini sayısal veriler hâlinde zamanla kayıt altına almak için mikro işlemci devre, teker yükünü yol üzerinden beton numunelere ileten çelik kiriş ve numuneleri çelik kirişe sabitlemek için epoksi kullanılmıştır. Tiva™ C Series EK-TM4C123GXL Geliştirme Kiti ile devre oluşturularak gerilim değerlerinin düzenli olarak okuması yapılmıştır.

Yol üzerinde yapılacak testler öncesinde yüksek dayanımlı beton numuneler çelik kirişe epoksi yardımıyla sabitlenmiş, daha sonra gömülerek üzeri soğuk asfalt ile kaplanmıştır.

Çelik kirişe sabitlenen numuneler yol üzerine araçların sık geçebileceği bir konum belirlenerek gömülmüştür (Şekil 9).

İlk olarak orta yüklü araçları temsilen 1,5 ton ağırlığında "Dacia Lodgy" marka binek araç sabit 30 km/sa ve 50 km/sa hızlarda yoldan geçmiştir ve gerilim değerleri okunmuştur. Aracın yol üzerinden her geçişinde veri alınabilmiş, 30 km/sa sabit hızda 0,28 V, 50 km/sa sabit hızda ise 0,39 V gerilim değerleri kaydedilmiştir. Geçiş hızı arttıkça okunan gerilim değerlerinin arttığı görülmüştür. Daha sonra, ağır yüklü araçları temsilen 4 ton ağırlığında itfaiye aracından yararlanılmış, sabit 30 km/sa hızda 2,02 V gerilim değeri alınmıştır. Farklı yüklerdeki araçların aynı sabit hızlarda farklı gerilim değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 9. Beton numunelerin yol uygulaması

3. SONUÇLAR

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Beton numunelerin üretiminde normal dayanımlı, yüksek dayanımlı ve ultra yüksek dayanımlı beton tipleri tercih edilmiş, gömülü piezoelektrik malzemeden yük etkisinde en yüksek değerlerin yüksek dayanımlı çelik lifsiz betonda elde edildiği görülmüştür. Yola uygulanacak AAB serisinin yüksek dayanımlı olması gerektiğine karar verilmiştir.
- Numunelere araç hızlarını temsilen 0,05 ve 0,3 MPa/s yükleme hızları ve araç yüklerini temsilen 5, 35 ve 60 kN yükler uygulanmış, artan yükleme hızlarında ve yüklerde gerilim değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Farklı ağırlıklarda bulunan araçların, türlerine göre tespit edilebileceği, hareket halindeki araçların farklı hızlarda farklı gerilim değerleri verebileceği görülmüştür. Ayrıca yol ayırımlarında farklı yollara yerleştirilen sensörlerde araç aynı gerilim değerini vermeye devam edeceği için seyir halindeki aracın nereye dönüş yaptığının tespit edilebilir olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar ışığında, günümüzde trafik sayım sistemlerinde kullanılan algılayıcıların çabuk hasar görmesi ve bu sistemlerin daha pahalı olması nedeni ile araçsayar akıllı betonun araç türünü yüklerine göre ayırt edip sayabilen bir sistem olduğu ve kullanılan diğer algılayıcılara iyi bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

2241/A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında yürütücü Lisans öğrencisi Atıf Taftaf, Akademik Danışman Prof. Dr. Nabi Yüzer, Sanayi Danışmanı Zaffer Kavak ve deneysel çalışmalara katkı sağlayan Araştırma Görevlileri Büşra Aktürk ve Mansur Tüfekçi, desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

1. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council, On The Framework For The Deployment Of Intelligent Transport Systems in the Field of Road Transport and For Interfaces with Other Modes of Transport, 7 July 2010.

2. Terzioğlu, Y., "Karayollarında Kullanılan Otomatik Trafik Sayım ve Sınıflandırma Sistemler", *Akıllı Ulaşım Sistemleri Çalıştayı*, İstanbul, 25 Mayıs 2012.

3. An, Y-K., Kim, M. K., Sohn, H. *Sensor Technologies for Civil Infrastructures*, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Birleşik Krallık, 2014.

4. Lytton, R.L. "The role of Pavement Mechanics in the Future of Pavement Design, Construction, Performance, and Management", *Conference: Pavement Mechanics Symposium*, 2002.

5. Kong, Q., Hou, S., Ji, Q., Mo, Y.L. and Song, G. "Very Early Age Concrete Hydration Characterization Monitoring Using Piezoceramic Based Smart Aggregates", *Smart Materials and Structures*, No.22, 2013.

6. Cahill, P., O'Kee, R., Jackson, N., Mathewson, A., Pakrashi, V. "Structural Health Monitoring of Reinforced Concrete Beam Using Piezoelectric Energy Harvesting System", *7th European Workshop on Structural Health Monitoring*, La Cité, Nantes, France, 2014.

7. Dongyu, X., Shifeng, H., Lei, Q., Lingchao, L., Xin, C. "Monitoring of Cement Hydration Reaction Process Based on Ultrasonic Technique of Piezoelectric Composite Transducer", *Construction and Building Materials*, No.35, pp. 220-226, 2012.

8. Kim, J.W., Lee, C., Shin, E.S., Park S., "Early-age Concrete Strength Gain Monitoring for Advanced Construction Process Management of Smart City Infrastructures", *SINCE2013, Singapore International NDT Conference & Exhibition*, 2013.

9. Tawie, R., Lee, H.K. "Piezoelectric-based Non-destructive Monitoring of Hydration of Reinforced Concrete as an Indicator of Bond Development at the Steel-concrete Interface", *Cement and Concrete Research*, No. 40, pp.1697-1703, 2010.

10. Shin S. W., Oh, T.K. "Application of Electro-mechanical Impedance Sensing Technique for Online Monitoring of Strength Development in Concrete Using Smart PZT Patches", *Construction and Building Materials*, No.23, pp.1185-1188, 2009.

11. Chen, J., Li, P., Song, G., Ren, Z. "Piezo-based Wireless Sensor nNetwork for Early-age Concrete Strength Monitoring", *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, No.127, pp. 2983-2987, 2016.

12. Zhang, J., Lu, Y., Lu, Z., Liu, C., Sun, G., Li, Z. "A New Smart Traffic Monitoring Method Using Embedded Cement-based Piezoelectric Sensors", *Smart Materials and Structures*, No.24, 2015.