

## GFRP Kutu Profil Aşınma Özelliklerinin Farklı Dayanımlardaki Betonlar ile Karşılaştırılması

Ferhat AYDIN

Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, Sakarya University, Turkey

### Özet

Rüzgar, yağmur ve su gibi çeşitli dış etkilerden dolayı yapı elemanlarında aşınmalar meydana gelmektedir. Aşınmaya maruz kalan yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin aşınma performansının bilinmesi kullanıcılar için büyük önem taşır. Bu çalışmada son yıllarda inşaat sektöründe kullanım oranı artan FRP (Fiber Reinforced Plastic) malzemelerden en çok tercih edilen GFRP (Glass Reinforced Plastic) profillerin aşınma davranışı deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu amaçla GFRP kutu profillerden hazırlanan numuneler Böhme aşınma test cihazında test edilerek, aşınma oranları liflere dik ve paralel olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu profillerin aşınma performansı 3 dayanım sınıfında üretilen beton numunelerin aşınma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. GFRP kutu profillerde lif yönü, beton numunelerde ise dayanımın sınıfının aşınmaya etkileri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** FRP, GFRP, aşınma, beton, dayanım

## Comparison of Wear Properties of GFRP Box Profiles and Different Strength Concretes

### Abstract

Structural elements wear due to external influences such as wind, rain and wear. Knowledge of the wear performance of building materials is important for users. Usage rate in the construction sector in recent years increasing FRP (Fiber Reinforced Plastic) material from most GFRP (Glass Reinforced Plastic) profiles are preferred. In this study wear behavior of GFRP profiles are determined experimentally. For this purpose, GFRP box profiles tested in Böhme tester, parallel and perpendicular to the fibers wear rates were determined. Also wear performance of GFRP profiles were compared with the results of the wear strength of concrete samples produced in class 3. Fiber orientation in GFRP box profiles and the effects of strength class in concrete wear are determined.

**Key words:** FRP, GFRP, wear, concrete, strength

### 1. Giriş

En çok kullanılan yapı malzemesi olan beton rüzgar, su gibi faktörlerin etkisiyle deforme olmakta, bu etkilerden dolayı beton yüzeyinde aşınmalar oluşmaktadır. Uzun zaman içerisinde gerçekleşen aşınma fiziksel ve mekanik bir olaydır. Malzemelerde aşınmanın etkilerinin anlaşılması için aşınma olayına etki eden ana faktörü yani aşınan malzemeyi ve aşındıran malzemeyi izafi hareketini ve yük durumunu da bilmek gereklidir [1]. Çoğunlukla betondan üretilen kaldırım,

döşeme, beton yollar, kıyı koruma yapıları, baraj, tünel, boru, köprü ayağı gibi yapı elemanları büyük oranda aşınmaya maruz kalmaktadır. Aşınma artarak devam ettiğinde taşıyıcı yapı elemanları için ciddi tehlike oluşturabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Aşınma Etkisinde yapı elemanları [2]

Beton gibi geleneksel malzemelere alternatif olarak kullanılmaya başlanılan Fiber Takviyeli Plastik (FRP) kompozitlerin yapı sektöründeki kullanımı her geçen gün artmaktadır. FRP kompozitler yüksek çekme dayanımı, hafiflik, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç, elektrik yalıtımı gibi birçok avantaja sahiptir [3]. Araştırmacılar mevcut inşaat uygulamaların büyük bir kısmında FRP kompozitlerin iyi bir çözüm olabileceği düşünmektedirler [4]. Yapılarda sıklıkla bu FRP kompozitler betonla birlikte kullanılmaktadır [5-9]. Farklı lif türlerinde üretilen bu malzemelerden ekonomik nedenlerle en çok Cam Fiber Takviyeli Plastik (GFRP) kompozitler tercih edilmektedir. Pultrüzyon yöntemiyle üretilen bu kompozit profiller üniform kesite sahip ve hem katı hem de içi boş olarak üretilmektedir (Şekil 2) [10].



Şekil 2. Lifli Kompozit Profil

Uçak ve uzay endüstrisinde 50 yılı aşan mükemmel performansı bu kompozitlerin inşaat sektörüne güvenilir şekilde girmesini sağlamıştır [11]. FRP kompozitler yapılarda güçlendirme, beton donatısı olarak kullanılmasının yanında farklı kesitlerde profiller olarak kule, köprü, konut gibi uygulamaları da artmaktadır (Şekil 3).



**Şekil 3.** GFRP Profiller ile Üretilmiş Yapılar

GFRP malzeme üzerinde yapılan aşınma performans çalışmaları [12-17] genellikle kullanılan test yöntemi ve malzeme türü farklı olmakla birlikte beton ile aynı test düzeneğinde karşılaştırma yapılmamıştır. Bu çalışmada farklı dayanımlara sahip beton numuneler ile GFRP kutu profil numuneler Böhme aşınma test yöntemi kullanılarak farklı lif yönlerinde test edilmiş ve grafik olarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

GFRP profiller sahip olduğu avantajlarla birlikte aşınma etkisine maruz beton yapı elamanlarına alternatif olarak düşünülmesi için aşınma performansının bilinmesi gereklidir. Bu amaçla farklı dayanımlarda üretilen beton numunelere ile aynı aşınma testine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Ham maddesi plastik olan bu kompozitler su ve nem geçirimsizliğinin yanı sıra aşınma performansı da kullanıcılar için önemli bir etkidir.

## 2. Malzeme ve Metot

GFRP profiller ile farklı dayanımdaki betonların aşınma performanslarının karşılaştırılması amacıyla Böhme aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. GFRP profillerde liflere paralel ve liflere dik olmak üzere her numune türünden 74x74x74 mm boyutlu 12 adet numune, toplam 24 adet numune test edilmiştir. Beton numunelerde ise C20, C30 ve C40 olmak üzere 3 dayanım sınıfında her dayanım sınıfından 6 adet olmak üzere toplam 18 adet beton numune 71x71x71 mm boyutlarında test edilmiştir. Tüm numunelerin ağırlıkça ve boyca aşınma kayıpları yüzde olarak belirlenmiştir.

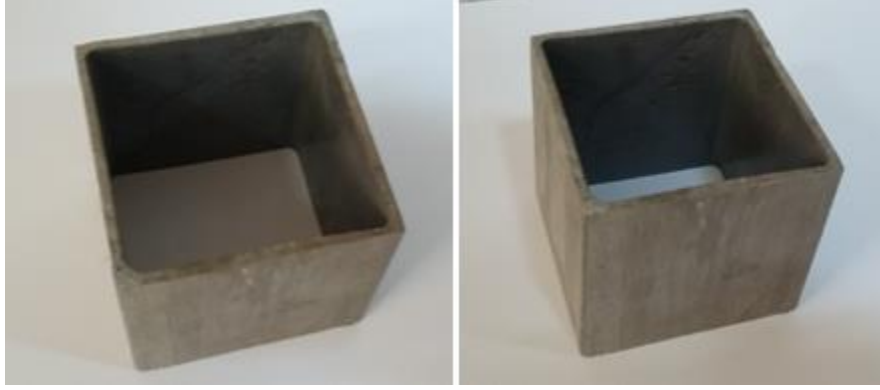
### 2.1. Malzeme

Aşınma testlerinde kullanılan GFRP profillerin (Şekil 4) fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Testler sonucunda GFRP malzemelerin Birim Ağırlık değeri  $1.75 \text{ g/cm}^3$ , Özgül Ağırlığı 1.81 olarak bulunmuştur. Bu profillerin lif doğrultusuna paralel Elastisite modülü (E)  $29344 \text{ N/mm}^2$  ve Çekme Dayanımı ise ortalama  $554 \text{ N/mm}^2$  bulunmuştur. Ayrıca GFRP profillerin fiber-matris hacim yüzdeleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** GFRP Profil Lif Oranı

	Boyuna Lif Oranı	Enine Lif Oranı	Matris
Lif Hacmi (%)	41.59	8.76	49.64

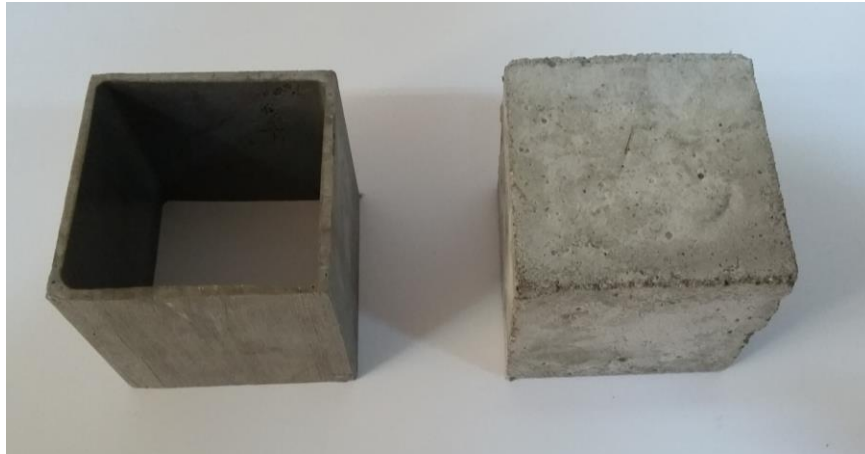
GFRP profil aşınma sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla 3 farklı dayanımda üretilen betonların karışım oranları (1000 dm<sup>3</sup>) Tablo 2’de verilmiştir. GFRP kutu profil ve beton aşınma numuneleri Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 4. GFRP Profil Numuneler

Tablo 2. Beton karışım oranları

(dm <sup>3</sup> )	C20/25	C30/37	C40/50
Su	170	158	146
Çimento	105	111	119
Akışkanlaştırıcı	-	2	4
Kum	336	338	339
I nolu mıcır	379	381	382
Hava	10	10	10
Toplam	1000	1000	1000

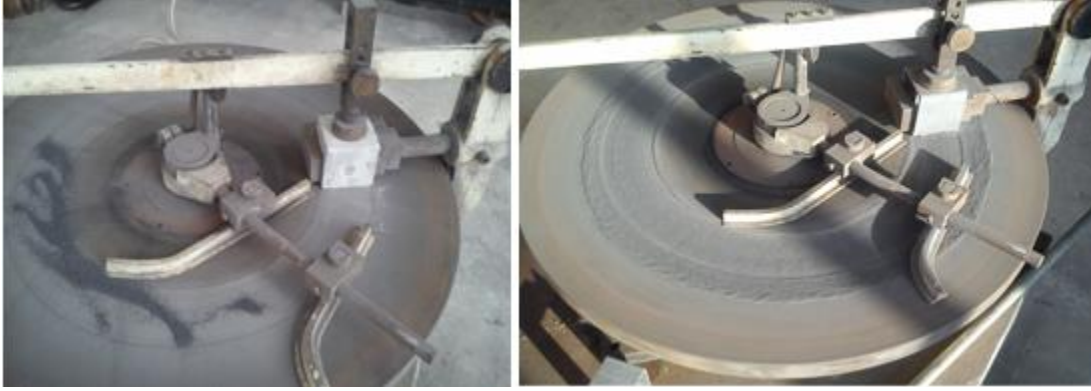


Şekil 5. GFRP Kutu Profil ve Beton Aşınma Numunesi

## 2.2. Metot

Böhme aşınma cihazı 750 mm çapındaki diske sahip, 30 devir/dk hızla dönen, her 22 devir tamamlandığında, cihazı otomatik olarak durduracak tertibata sahiptir. Cihaza yerleştirilecek numune boyutları 71x71x71 mm lik küp numunelerdir. Disk üzerine 20 gr zımpara tozu serpilerek toplamda  $22 \times 16 = 352$  devir sonunda ölçümler alınmıştır.

Yapılan testler sonucunda elde edilen veriler tablo ve grafik halinde hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Şekil 6'da beton ve GFRP kutu profillerin aşınma testleri görülmektedir.



Şekil 6. Böhme Test Cihazı

## 3. Deney Sonuçları

Aşınma testleri sonunda elde edilen değerler kullanılarak gerekli hesaplamalar yapıp, tablolar halinde % aşınma ortalamaları verilmiştir. Beton numuneler ile yapılan testlerde hesaplanan değerler C20, C30 ve C40 dayanım sınıfında Tablo 3-5'te görülmektedir.

Tablo 3. C20 Beton Numunelerin Aşınma Sonuçları

Numune	İlk Boy (mm)	2. Boy (mm)	İlk Ağırlık (gr)	2. Ağırlık (gr)	Boy Kaybı %	Ağırlık Kaybı %
1	70.9	70.1	868	862.5	1.13	0.63
2	71.6	70.6	838	832.5	1.40	0.66
3	71.5	70.3	877	871.5	1.68	0.63
4	71.9	70.9	854	846.5	1.39	0.88
5	72.1	70.8	879	874.5	1.80	0.51
6	71.0	70.1	878	871.5	1.27	0.74
<b>Ortalama</b>					<b>1.44</b>	<b>0.67</b>

**Tablo 4.** C30 Beton Numunelerin Aşınma Sonuçları

Numune	İlk Boy (mm)	2. Boy (mm)	İlk Ağırlık (gr)	2. Ağırlık (gr)	Boy Kaybı %	Ağırlık Kaybı %
1	70.6	69.8	856.5	850.8	1.13	0.67
2	71.0	70.2	840.2	835.7	1.06	0.53
3	71.6	70.9	870.2	863.9	1.05	0.72
4	71.3	70.4	866.2	860.9	1.26	0.61
5	71.2	70.3	842.6	838.9	1.26	0.45
6	70.7	69.9	854.5	849.9	1.13	0.54
<b>Ortalama</b>					<b>1.15</b>	<b>0.59</b>

**Tablo 5.** C40 Beton Numunelerin Aşınma Sonuçları

Numune	İlk Boy (mm)	2. Boy (mm)	İlk Ağırlık (gr)	2. Ağırlık (gr)	Boy Kaybı %	Ağırlık Kaybı %
1	71.8	71.1	861.6	856.8	0.97	0.56
2	70.6	69.8	850.2	845.7	1.13	0.53
3	71.6	70.8	846.7	843.0	1.12	0.44
4	70.9	70.2	853.3	849.2	0.99	0.49
5	71.4	70.6	861.5	858.5	1.12	0.35
6	70.5	69.8	862.4	858.4	0.99	0.47
<b>Ortalama</b>					<b>1.05</b>	<b>0.47</b>

Farklı dayanımlarda test edilen beton numunelerin Böhme aşınma test sonuçlarına göre C20 dayanım sınıfında ortalama boy kaybı %1.44 ve ağırlık kaybı %0.67 bulunmuştur. C30 dayanım sınıfında boy kaybı %1.15 ve ağırlık kaybı % 0.59, C40 dayanım sınıfında ise boy kaybı %1.05 ve ağırlık kaybı % 0.47 hesaplanmıştır. Beton boy aşınma oranlarına göre C20 dayanım sınıfındaki betonlara göre C30 betonlar %20, C40 betonlar %27 daha az boy kaybına sahiptir. Beton ağırlık kayıp oranlarına göre C20 betonlara göre C30 betonlar %12, C40 betonlar yaklaşık %30 daha az ağırlık kaybına sahip olduğu hesaplanmıştır. C40 betonlar C30 betonlara göre boyca %9 ağırlıkça %20 daha az aşınma kaybına uğramıştır. Dayanım sınıfı arttıkça betonlardaki aşınmanın azaldığı tespit edilmiştir. GFRP kutu profillerin liflere paralel aşınma test sonuçları Tablo 6'da, Liflere dik aşınma sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

GFRP profil liflere paralel aşınma test sonuçlarına göre boy kaybı %0.79 ve ağırlık kaybı %3.35 bulunmuştur. Liflere dik aşınma sonuçlarına göre ise boy kaybı %0.82 ve ağırlık kaybı % 4.53'tür. GFRP profillerin liflere paralel ve dik boyca aşınma sonuçları %0.79 ve %0.82 çok yakın çıkmıştır. Ağırlık kayıplarında liflere dik aşınma liflere paralel aşınma oranına göre %35 daha fazla aşınmıştır. Liflere dik aşınma miktarının fazla olmasının nedeni olarak aşınma esnasında cam liflerin de polimer ile birlikte aşındığı fikrini ortaya çıkarmıştır.

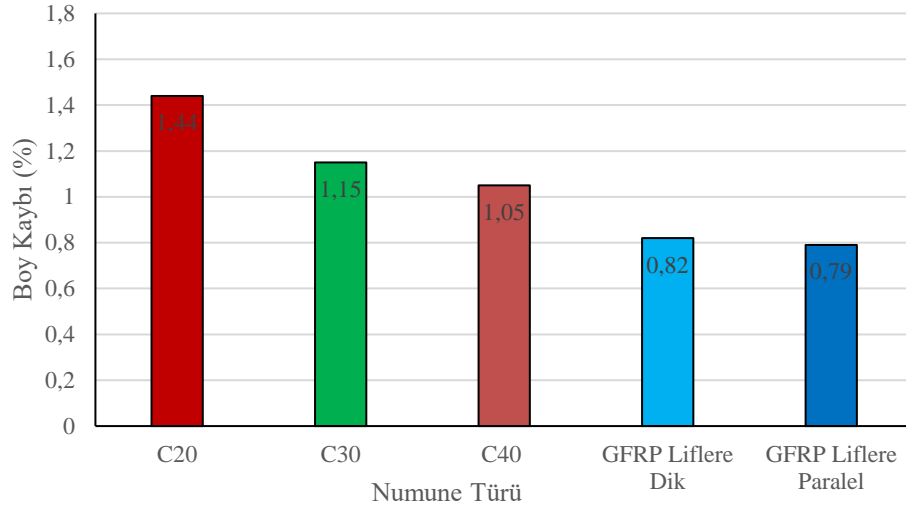
**Tablo 6.** GFRP Profil Liflere Paralel Aşınma Sonuçları

	İlk Boy (mm)	2. Boy (mm)	İlk Ağırlık (gr)	2. Ağırlık (gr)	Boy Kaybı %	Ağırlık Kaybı %
1	73.95	73.25	126.20	122.05	0.95	3.29
2	74.27	73.58	125.65	122.30	0.93	2.67
3	74.21	73.66	136.50	131.75	0.74	3.48
4	74.17	73.55	132.35	127.85	0.84	3.40
5	73.86	73.31	132.55	128.35	0.74	3.17
6	74.29	73.76	124.45	120.10	0.71	3.50
7	74.27	73.77	134.75	129.65	0.67	3.78
8	74.07	73.39	127.15	123.20	0.92	3.11
9	74.02	73.41	130.90	125.70	0.82	3.97
10	74.36	73.86	127.05	123.25	0.67	2.99
11	74.22	73.63	135.20	130.75	0.79	3.29
12	73.88	73.37	128.10	123.55	0.69	3.55
	<b>Ortalama</b>				<b>0.79</b>	<b>3.35</b>

**Tablo 7.** GFRP Profil Liflere Dik Aşınma Sonuçları

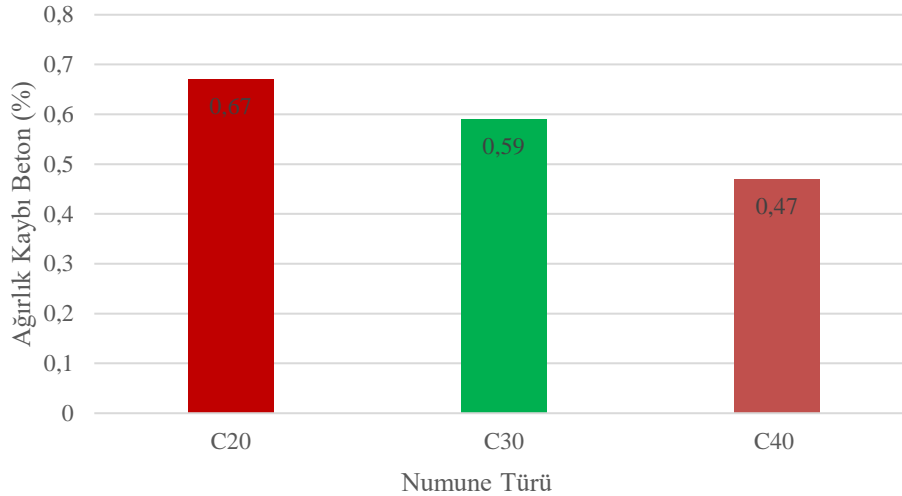
	İlk Boy (mm)	2. Boy (mm)	İlk Ağırlık (gr)	2. Ağırlık (gr)	Boy Kaybı %	Ağırlık Kaybı %
1	73.91	73.34	122.10	116.70	0.77	4.42
2	74.29	73.76	115.45	110.80	0.71	4.03
3	73.88	73.26	130.60	124.15	0.84	4.94
4	74.33	73.76	124.95	118.85	0.77	4.88
5	74.35	73.81	121.35	115.70	0.73	4.66
6	73.96	73.35	114.45	108.05	0.82	5.59
7	73.83	73.25	122.20	116.85	0.79	4.38
8	74.27	73.65	118.15	113.45	0.83	3.98
9	74.11	73.44	122.15	115.35	0.90	5.57
10	74.41	73.75	116.25	112.20	0.89	3.48
11	74.19	73.48	123.15	117.90	0.96	4.26
12	73.79	73.18	116.75	111.85	0.83	4.20
	<b>Ortalama</b>				<b>0.82</b>	<b>4.53</b>

Boy kayıplarına göre beton numuneler ve GFRP kutu profiller aşınma sonuçları aynı grafik üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Tüm Numuneler Boy Kayıpları

Boy kayıplarına göre GFRP profil liflere dik ve paralel aşınma oranları tüm beton dayanım sınıfları aşınma oranından düşük çıkmıştır. GFRP profillerde liflere paralel aşınma değerleri C40 betonlara göre %38, C30'a göre %31 ve C40 betonlara göre %25 daha az aşınma oranına sahiptir. Liflere dik boy kayıpları liflere paralel boy kayıplarına çok yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Numune ağırlık kayıpları Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.

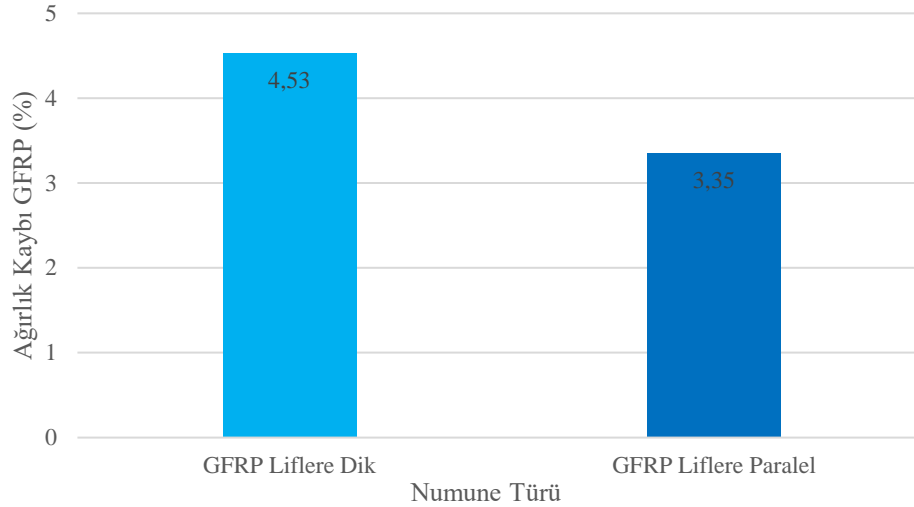


Şekil 8. Beton Numune Ağırlık Kayıpları

Ağırlık kayıpları beton ve GFRP profiller için ayrı grafikler halinde verilmiştir. Beton numunelerde ilk ağırlık 850-900 gr civarında olduğundan yüzde oranları betonun yoğunluğuna bağlı olarak düşük çıkmaktadır. GFRP profillerde ise içi boş profil ve düşük yoğunluktan dolayı beraber karşılaştırma yapmak yanıltıcı olmaktadır. Tüm numune türleri için birim alandaki hacim kayıpları değerlendirildiğinde GFRP profil liflere dik ortalama aşınma  $0,06 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , liflere paralel  $0,04$



$\text{cm}^3/\text{cm}^2$  hesaplanmıştır. Betonlarda C40 için  $0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , C30 için  $0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  ve C20 için  $0,05 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  bulunmuştur.



Şekil 9. GFRP Profil Ağırlık Kayıpları

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan aşınma testleri sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- C20 dayanım sınıfında boy kaybı %1.44 ve ağırlık kaybı %0.67 bulunmuştur. C30 dayanım sınıfında boy kaybı %1.15 ve ağırlık kaybı %0.59, C40 dayanım sınıfında ise boy kaybı %1.05 ve ağırlık kaybı %0.47 hesaplanmıştır.
- Boy kaybı aşınma oranlarına göre C20 dayanım sınıfındaki betonlara göre C30 betonlar %20, C40 betonlar %27 daha az boy kaybına sahiptir.
- Ağırlık kayıp oranlarına göre C20 betonlara göre C30 betonlar %12, C40 betonlar yaklaşık %30 daha az ağırlık kaybına sahip olduğu hesaplanmıştır. C40 betonlar C30 betonlara göre boyca %9 ağırlıkça %20 daha az aşınma kaybına uğramış ve beton dayanımı arttıkça betonlarda aşınması azalmaktadır.
- GFRP profil liflere paralel aşınma test sonuçlarına göre boy kaybı %0.79 ve ağırlık kaybı %3.35 bulunmuştur. Liflere dik aşınma sonuçlarına göre ise boy kaybı %0.82 ve ağırlık kaybı %4.53'tür. GFRP profillerin liflere paralel ve dik boyca aşınma sonuçları %0.79 ve %0.82 çok yakın çıkmıştır.
- Ağırlık kayıplarında liflere dik aşınma liflere paralel aşınma oranına göre %35 daha fazla aşınmıştır. Bunun nedeni olarak liflere dik aşınmada cam liflerin de polimer ile birlikte aşındığı düşünülmektedir.
- Boy kayıplarına göre GFRP profil liflere dik ve paralel aşınma oranları tüm beton dayanım sınıflarından aşınma oranı düşük çıkmıştır. Liflere paralel aşınma değerleri C40 betonlara göre %38, C30'a göre %31 ve C40 betonlara göre %25 daha az aşınma oranına sahiptir.

- Birim alandaki hacim kayıpları değerlendirildiğinde GFRP profil liflere dik ortalama aşınma  $0,06 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , liflere paralel  $0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  hesaplanmıştır. Betonlarda C40 için  $0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , C30 için  $0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  ve C20 için  $0,05 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  bulunmuştur.
- GFRP profiller hafiflik, çekme ve korozyon dayanımı gibi özelliklerin yanı sıra yeterli aşınma performansına sahiptir. Dolayısıyla bu kompozitlerin aşınma ve su etkisine maruz kıyı yapıları, köprü ayakları, rıhtımlar gibi uygulamalarda kullanılması önerilmektedir.

## 5. Kaynaklar

- [1] Binici H., Bahşude, E. G. Durgun, M. Y. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Mekanik Aşınma ve Su Geçirimsizliği, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010.
- [2] www.forumyapısal.net
- [3] Aydın F. Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton ile Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, 2011.
- [4] Cripps, A. Fiber Reinforced Polymer Composites In Construction, Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), February, 2002.
- [5] Hadi, M.N.S. Behaviour of FRP Wrapped Normal Strength Concrete Columns Under Eccentric Loading, Composite Structures, 72 503–511, 2006.
- [6] Teng, J.G., Chen, Jf, Smith, St., Lam, L. FRP Strengthened RC Structures, John Wiley, 2002.
- [7] Clarke, J.L., Strengthening Concrete Structures With Fibre Composites, Struct Build;156(1):49-50, 2003.
- [8] Koksall, H.O. Doran, A. and Turgay, T. A Practical Approach For Modeling FRP Wrapped Concrete Columns, Construction and Building Materials, 23(3), 1429–1437, 2009.
- [9] Weijian, Y. and Hung, H. Experimental Study On The Flexural Behavior of Beams Strengthened With CFRP Laminates, Proc. of the International Conference on FRP, Composites in Civil Engineering, Hong Kong, China, pp. 399-405. 12-15 December 2001.
- [10] Halliwell, S.M. Polymer Composites in Construction, BRE Centre for Composites in Construction, London, 2000.
- [11] Ayman, M. Composites: Construction Materials For The New Era, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), pp.45-58, 2004.
- [12] V.K. Srivastava, S. Wahne Wear and friction behaviour of soft particles filled random direction short GFRP composites Materials Science and Engineering A. 458. 2007, 25–33.
- [13] L. Lasri a, M. Nouari, M. El Mansori, Wear resistance and induced cutting damage of aeronautical FRP components obtained by machining, Wear 271 2011, 2542–2548.
- [14] V.K. Srivastava, Effects of wheat starch on erosive wear of E-glass fibre reinforced epoxy resin composite materials, Materials Science and Engineering A, 435–436 2006, 282–287.
- [15] Hasim Pihitli, An experimental investigation of wear of glass fibre–epoxy resin and glass fibre–polyester resin composite materials European Polymer Journal, 45 2009, 149–154.
- [16] Jumahat, S. Kasolang, M.T. Bahari, Wear properties of nanosilica filled epoxy polymers and FRP composites A. Jurnal Tribologi, 6 2015, 24-36.
- [17] Chandru B G. and G S Shivashankar. Preparation and Evaluation of Mechanical and Wear Properties of Hybrid FRP Composites, Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. 2012.