



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Tekstil Takviyeli Beton Üretiminde Kullanılmak Üzere Yüksek Performanslı Hibrit İplik Geliştirilmesi Ve Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu

High Performance Hybrid Yarn Development and Optimization of Production Parameters For Using In Textile Reinforced Concrete Production

Mutlu KURBAN*¹, Osman BABAARSLAN²

¹Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Adana, Türkiye

²Çukurova Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Aralık 2020 (30 December 2020)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Mutlu KURBAN, Osman BABAARSLAN (2020): Tekstil Takviyeli Beton Üretiminde Kullanılmak Üzere Yüksek Performanslı Hibrit İplik Geliştirilmesi Ve Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu, Tekstil ve Mühendis, 27: 120, 292- 298.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920202712009>

Arastırma Makalesi / Research Article

TEKSTİL TAKVİYELİ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILMAK ÜZERE YÜKSEK PERFORMANSLI HİBRİT İPLİK GELİŞTİRİLMESİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Mutlu KURBAN*¹ 

Osman BABAARSLAN² 

¹Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Adana, Türkiye
²Çukurova Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 14.07.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 18.12.2020

ÖZET: Tekstil Takviyeli Beton (TTB) yeni bir yapı malzemesidir ve son yıllarda cephe sistemleri, sandviç panel ve dış mekan mobilyaları gibi inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır. Genel olarak TTB'de yüksek performanslı cam, karbon, vb. filament iplikler üstün mekanik özellikleri ve korozyon direnci nedeniyle betonu güçlendirmek için kullanılmaktadırlar. Bu filamentlerin farklı polimerlerle kaplanması, TTB'nin dayanıklılığı için ekstra performans sağlamaktadır. Ancak, kaplama malzemelerinin maliyeti ve sertliği nedeniyle, TTB için kaplamanın kullanımı o kadar da avantajlı değildir. Bu nedenlerle yeni yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada TTB için yeni bir hibrit iplik tasarımı ve üretimi üzerinde durulmuştur. Alkali dayanımlı cam ve polipropilen filament, karıştırma (commingling) yöntemiyle hibrit iplik üretmek için kullanılmıştır. Taguchi ortogonal tasarımı ile karıştırma (commingling) iplik üretim parametrelerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Deneyler, Taguchi yaklaşımına göre L9 ortogonal matris kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada en iyi mukavemet değeri makine üretim hızının 50 m/dak, hava basıncının 6 bar ve besleme miktarının %2 olduğu üretim parametrelerinde elde edilmiştir. Deney sonuçlarını değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) ve sinyal / gürültü oranı kullanılmıştır. Analiz sonucunda kopma mukavemeti üzerindeki en büyük etkiyi makine üretim hızının sağladığı, en düşük etkiyi besleme miktarının sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tekstil takviyeli beton, hibrit iplik, karıştırma (commingling) yöntemi, taguchi tasarımı.

HIGH PERFORMANCE HYBRID YARN DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION PARAMETERS FOR USING IN TEXTILE REINFORCED CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT: Textile-Reinforced Concrete (TRC) is a new construction material and has been used in civil engineering applications such as façade systems, sandwich panel and outside furniture during the past several decades. Generally in TRC, glass, carbon filaments, etc. are used to reinforce concrete because these high-performance filaments have superior mechanical properties and corrosion resistance. Coating of these filaments with different polymers provide extra performance for TRC's durability. But, because of coating materials' cost and stiffness, using of coating for TRC is not so advantageous. For these reasons, new approaches are needed. In this study, a new hybrid yarn design and production for TRC are emphasized. AR-Glass and polypropylene filament were used for production of hybrid yarn by commingling method. It was aimed to optimize the parameters of commingling yarn production with Taguchi orthogonal design. The experiments were performed by using L9 orthogonal matrix with respect to Taguchi approach. The best strength value in the study was obtained in production parameters where the machine production speed is 50 m / min, the air pressure is 6 bar and the feeding amount is 2%. Analysis of variance (ANOVA) and signal/noise ratio were used to evaluate the experiment results. As a result of the analysis, it has been observed that the machine production speed has the greatest effect on the breaking strength and the feed amount has the lowest effect.

Keywords: Textile Reinforced Concrete, hybrid yarn, commingling method, taguchi design.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mkurbann@cu.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.7216/1300759920202712009> www.tekstilmuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

1.1. Tekstil Takviyeli Betonlar

Son 200 yılda inşaat malzemesi teknolojisinde ileri düzeyde gelişmeler meydana gelmiş olup ekonomik, güvenli ve işlevselliği yüksek yapılar ortaya konulmuştur[1]. Beton bunlardan biri olup, çimentonun keşfiyle beton kullanımı artmış ve günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olmuştur. Beton, yüksek basınç dayanımına sahip olması, maliyetinin düşük olması ve bol bulunması nedeniyle yapı mühendisliğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak betonun büzülme, çatlama, düşük çekme ve eğilme mukavemeti, zayıf tokluk, yüksek kırılgenlik ve düşük darbe direnci gibi dezavantajları da vardır [2-3].

Betonun bu dezavantajları nedeniyle tarihin ilk dönemlerdeki gibi harcın takviyelendirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Çimento matrisi ile tekstil yüzeylerinin oluşturduğu kompozit yapılar üzerine yapılan çalışmalar son 25 yılda yoğunluk kazanmıştır. Tekstil takviyeli betonlar olarak adlandırılan bu malzemeler yaklaşık son 20 yıldır yapı malzemesi olarak kullanılan kompozit materyallerdir. Tekstil takviyeli betonlar beton yapıların kullanım alanlarının genişlemesine imkan vermektedir. Tekstil takviyeli betonlar mükemmel özelliklere sahip yenilikçi yapı malzemeleridir ve çok yönlü tasarım imkanları sunmaktadır. Yenilikçi malzemelerin kullanımı yük taşıma kapasitesinin artırılmasının yanında tasarım çeşitliliği de sunmaktadır. Alkali dayanımlı tekstil yapıları yüksek dayanımlı ve korozyon dayanımına sahip tekstil filamentlerinden meydana gelmektedir. Kullanılan bu filamentlerin çeliğe göre korozyon riskinin olmaması ve daha az beton kullanılmasını sağlamaktadır. Bu da daha dayanımlı ve daha ince beton yapıların eldesine olanak vermektedir. Bu malzemeler yeni yapılarda ve güçlendirme çalışmalarında ince yapıların eldesine imkan sağlamaktadır[4-7]. Genel tanımlamayla tekstil takviyeli betonlar ince tanecikli beton matris ile yüksek performanslı alkali dayanımlı cam, karbon veya polimerik filamentlerden elde edilen kompozit yapılardır. Bu yapıların en büyük avantajı yüksek çekme mukavemeti ve yarı sünük özelliği sayesinde deformasyon toleransının yüksek olmasıdır. Bu yüksek mekanik özelliklere sahip malzemeler yeni yapıların eldesinde veya eski yapıların güçlendirilmesinde kullanılabilir[8-11].

Modern mimaride farklı şekillere sahip dış cepheler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yapıların eldesinde metalik olmayan yüksek mukavemete sahip ve şekil alabilen tekstil yapıları kullanılmaktadır. Yüksek çekme dayanımına sahip tekstillerin beton içerisinde kullanımı ile karmaşık şekillerin oluşturulması, ince yapıların tasarlanması ve paslanmayan yapıların inşası gibi seçenekler ortaya çıkmaktadır. Özgün tasarımların eldesi tekstil takviyeli betonlarla mümkün olabilmektedir. Böylece tekstil takviyeli betonlar yüksek dayanım yanında tasarım özgürlüğü de sağlamaktadır [12-13].

Tekstil takviyeli betonların eldesinde kullanılan tekstil yapılarının beton içerisindeki yüksek alkaliye karşı uzun süre dayanımları tam olarak kestirilememektedir. Tekstil bileşeni olarak çoğunlukla alkali dayanımlı cam filamentler kullanılmakta olup bu

filamentlerin alkali ve çekme dayanımını bir kat daha artırmak adına çeşitli maddelerle kaplanması son dönemlerde artış göstermiştir [14].

Kaplama materyallerin maliyetli ve kaplama prosesinin karmaşık olması nedeniyle tekstil teknolojisinde alternatif yöntemlere gidilmiş ve takviye bileşeni ile termoplastik materyalin bir araya getirildiği hibrit iplik teknolojileri üzerinde yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir[15].

1.2. Hibrit İplik Üretimi

Kompozit yapılarda yükler takviye elemanı tarafından taşınmakta olup matrisin görevi ise bu yükleri takviye elemanı içerisinde aktarmak ve takviye elemanını dış etkilere karşı korumaktır. Bu nedenle matrisin takviye elemanını homojen bir şekilde saracak şekilde yapılar oluşturulmalıdır. Termoplastik kompozitler termoset kompozitlere göre birçok avantaj sunmasına karşın, termoplastiklerin eriyik haldede sahip olduğu viskoziteye bağlı olarak aktarılmalarında zorluklar yaşanabilmektedir. Bu da kompozit üretiminde işlemleri zorlaştırmakta ve maliyetleri yükseltmektedir. Bu problemlerden dolayı takviye bileşeni ve matris olarak kullanılacak termoplastik bileşenin katı olarak birleştirilmesi fikri ortaya çıkmıştır. Hibrit yapılar olarak isimlendirilen bu yapılar birleşmeden sonra basınç altında ısı ile işleme tabi tutulmaktadır. İşlem sonrası termoplastik bileşen takviye bileşen ile birlikte homojen bir yapı oluşturmaktadır. Gerekli karıştırma işlemi için farklı metodlar kullanılmakta olup termoplastik matris bileşeni çözelti, eriyik, folyo veya toz halinde takviye bileşenine aktarılmakta ve bir takım son işlemlerle kompozit yapılara dönüştürülmektedirler. Bu yöntemlerle kompozit yapılar oluşturulduktan sonra tekstil materyalleri işlem öncesi sahip oldukları dökümlülük ve bükülebilirlik gibi özelliklerini kaybederler. Dokuma ve örme gibi klasik tekstil yüzeyleri kullanılarak takviye elemanları ve matris materyalleri birleştirilebilmektedir. Ancak bu tarz bir birleşme homojen bir yapı oluşturmaya yetmeyeceği için takviye elemanı ve matris materyalin iplik formunda iken birleştirilmesinin daha iyi sonuçlar vereceği görülmüştür. Daha sonrasında sırasıyla uygulanan ısıtma ve presleme işlemleriyle termoplastik yapı erimekte ve tek adımda takviye bileşeni ile birlikte şekil almaktadır. Takviye elemanı ve matris bileşenini birleştirip hibrit iplik üretimini gerçekleştirecek birçok üretim tekniği geliştirilmiş, patenti alınmış, bilimsel çalışmalar yürütülmüş ve günümüzde de yürütülmeye devam edilmektedir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın hedeflenen, takviye bileşeni ve matris bileşenin ısı ile işlem sonrası istenen mekanik özellikleri sağlayacak şekilde birleştirilmesidir[15-20].

Kompozit yapılarda bileşenlerin homojen olarak yapıda bulunmaları mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir[21]. Karıştırma (commingling) tekniği iplik eksenini boyunca takviye ve matris bileşenin homojen bir şekilde karışmasına imkan vermesi ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle kompozit iplik üretiminde büyük bir potansiyele sahiptir[21-22]. Bu yöntemde üretimde kullanılacak filament bileşenler hava jeti bulunan bir kanaldan geçirilmekte ve bu sırada basınçlı hava yardımıyla

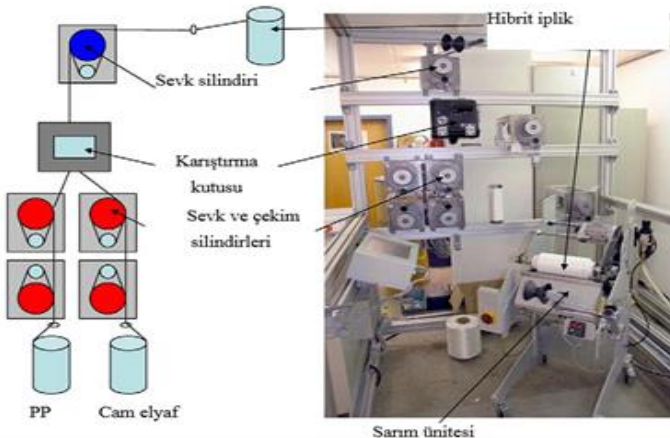
karışmaları sağlanmaktadır. Aktarılan hava akımı yardımıyla oluşan girdap filamentlerin birbiri içerisinde karışmasını ve birbiri üzerinden dolanmasını sağlamaktadır. Oluşan girdap sayesinde iplik boyunca bağlantı noktaları oluşmakta bu da yapıyı daha sağlam bir hale getirmektedir. Bu yöntemle elde edilen iplikler, diğer hibrit iplik üretim yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilen ipliklere göre daha iyi homojenite ve mekanik özellik sağlamaktadır [15, 21, 23]. Karıştırma (commingling) tekniğinde üretim parametreleri makine üretim hızı, hava basıncı ve filament besleme oranıdır. Kullanılacak üretim parametreleri ham madde olarak kullanılan filamentlerin özelliklerine göre belirlenmektedir [24].

Çalışmada taguchi tasarım yönteminden faydalanılarak öncelikle karıştırma (commingling) hibrit iplik üretim parametreleri sınır değerleri belirlenmiş ve deney tasarımına uygun üretim yapılarak bunların analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında analiz sonucunda optimum üretim parametreleri belirlenerek üretim gerçekleştirilmiş ve en sonunda doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada hibrit iplik üretimi karıştırma (commingling) yöntemi ile RWTH Aachen Üniversitesi Institut für Textiltechnik (ITA) Enstitüsü'nde bulunan commingling üretim makinesinde gerçekleştirilmiştir. Hibrit iplik eldesi için takviye bileşeni olarak tekstil takviyeli beton yapımında en yaygın kullanılan alkali dayanımlı cam filament iplik kullanılırken, matris bileşen olarak da termoplastik polipropilen iplik kullanılmıştır. Çalışmadaki amaç cam filament yapıyı ve polipropilen filament ipliği karıştırma (commingling) yöntemi ile homojen karıştırmak ve tekstil ürünü eldesinden sonra ısı işleme tabi tutarak termoplastik yapının erimesini sağlamaktır. Eritme işlemi sonrası polipropilen filamentin cam elyafı çevresinde kaplama malzemesi benzeri bir etki yaratması beklenmektedir.

Çalışmada takviye bileşeni olarak cam filament iplik ve matris bileşeni olarak termoplastik polipropilen filament iplik kullanılmış olup teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu birleşmede kullanılan hibrit iplik karıştırma (commingling) makinasında birleşme şekli ve düzeneği resmi Şekil 1'de verilmiştir.

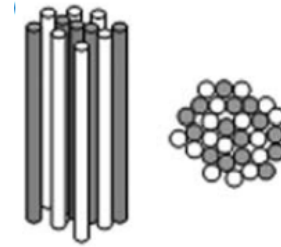


Şekil 1. Hibrit iplik üretim düzeneği[24]

Tablo 1. Çalışmada kullanılan materyal özellikleri

	Takviye bileşeni	Matris bileşen
Ham madde	Cam filament	Polipropilen
Tedarikçi	Owens Corning	Polisilk SA
Liner yoğunluk	640 tex	400 tex
Yoğunluk	2,68 g/cm ³	0,9 g/cm ³
Elastik modül	72 GPa	3500 MPa
Kopma dayanımı	1700 MPa	550 MPa

Şekil 1'de görüldüğü gibi hibrit iplik karıştırma (commingling) makinesi iki filamentin basınçlı hava akımıyla karıştırılmasına imkan veren bir düzenekten meydana gelmektedir. Hibrit iplik oluşum aşamasında öncelikle, yapıyı oluşturacak takviye ve matris bileşeni filament iplikler bobinlerinden alınarak sevk ve çekim (godet) silindirlerden geçirilir. Belirlenen oranlardaki besleme miktarları godet silindirlerin hızları değiştirilerek ayarlanır. Godetlerden çıkan bileşenler tam bir karışmanın sağlanması için hava jetinin bulunduğu karıştırma kutusuna (sound box) gelir. Bu bölümde iki bileşen kutunun merkezinde bulunan hava jetinden geçirilir. Çalışma sırasında jete beslenen basınçlı hava ile filamentlerin karışması sağlanır. Karıştırma kutusundan çıkan karışmış iplik sevk silindirinden geçerek sarım ünitesine gelir ve bobinlere sarılır. Üretilen ipliğin boyuna ve enine kesit görüntüsünün Şekil 2'deki gibi olması hedeflenmektedir.



Şekil 2. Karıştırma (commingling) yöntemiyle üretilen hibrit ipliğin boyuna ve enine kesiti[15]

İki bileşenin hava yardımıyla karıştırılmasıyla hibrit iplik elde edilen makinada; makine hızı, hava basıncı ve besleme miktarı olmak üzere üç adet kontrol parametresi bulunmaktadır. Çalışmadaki temel yaklaşım, bileşenlerin homojen karışması olduğu için iyi bir karışım elde edilmesine olanak kılan parametrelerin alt ve üst sınırları belirlenmiştir. Parametrelerin çalışma aralığı ve alt-üst sınır değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Alt ve üst sınırlar belirlendikten sonra hangi parametre değerlerinin kullanılacağına karar vermek için Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır.

Taguchi deney tasarım yöntemi bir tür kesirli faktöriyel tasarım yöntemidir. Bu yöntem sayesinde deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesine gerek kalmadan, en iyi performans değerini veren faktör seviyeleri ortogonal dizinleri kullanılarak mevcut kombinasyonların sadece bir bölümünün kullanılması ile elde edilebilmektedir [25-27]. Bu yöntemden faydalanarak numune üretimleri gerçekleştirilmiş, elde edilen ipliklerin kopma mukavemetlerine bakılmış ve tekstil takviyeli beton üretiminde kullanılması için yüksek mukavemetli ipliğin üretimi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen alt ve üst sınırlar içerisinde hangi değerlerin bizim için en uygun olduğuna Taguchi deney tasarımıyla kolaylıkla karar verilmesi amaçlanmıştır. Her biri üç seviye

olarak belirlenen üç üretim parametresinin iplik kopma mukavemeti üzerindeki etkisini belirlemek için 27 adet numune üretimine ihtiyaç duyulurken Taguchi deney tasarımı ile bu sayı 9 ile sınırlandırılmıştır. Böylece daha az numune üretimi gerçekleştirilerek, iplik üretim parametrelerinin iplik mukavemeti üzerindeki etkileri, kısa sürede ve düşük maliyette elde edilmiştir.

Tablo 2. Karıştırma (commingling) makinası üretim parametrelerinin çalışma aralığı ve optimum çalışma aralığı

Parametre	Birim	Çalışma aralığı	Optimum çalışma aralığı
Makine hızı	metre/dakika	30-100	30-50
Hava basıncı	bar	3-9	6-8
Besleme miktarı	%	0-10	2-7

Tablo 3. Taguchi deney tasarımı için üretim parametreleri seviyeleri

Parametre	Birim	Seviye değerleri		
		I	II	III
Makine hızı	metre/dakika	30	40	50
Hava basıncı	bar	6	7	8
Besleme miktarı	%	2	4	7

Taguchi deney tasarımı sayesinde yukarıda belirtilen her parametre için seçilen 3 seviye ile birlikte 9 adet numune hazırlanmıştır.

Tablo 4. Hazırlanan numunelerin parametre değerleri

Numune no	Makine hızı (m/dak)	Hava basıncı (bar)	Besleme miktarı (%)
1	30	6	2
2	30	7	4
3	30	8	7
4	40	6	4
5	40	7	7
6	40	8	2
7	50	6	7
8	50	7	2
9	50	8	4

Tablo 4'de parametre değerleri verilen numuneler hazırlanmış, daha sonra da TS 244 EN ISO 2060 standardına göre iplik numara tayini ve TS 245 EN ISO 2062 standardına göre Textechno firmasına ait STATIMAT 4U test cihazında iplikte

Tablo 5. Üretilen ipliklerin kopma mukavemeti ve S/N değerleri

Numune no	İplik numarası (tex)	Makine hızı (m/dak)	Hava basıncı (bar)	Besleme miktarı (%)	Kopma uzaması (%)	Kopma mukavemeti (N)	S/N
1	1132,9	30	6	2	3,07	162,61	44,22
2	1134,2	30	7	4	2,53	150,97	43,58
3	1126,9	30	8	7	2,56	145,17	43,24
4	1126,4	40	6	4	2,4	192,03	45,67
5	1126,5	40	7	7	2,2	161,76	44,18
6	1121,4	40	8	2	2,06	188,66	45,51
7	1127,9	50	6	7	2,2	201,33	46,08
8	1114,9	50	7	2	2,16	197,93	45,93
9	1126,4	50	8	4	2,21	169,54	44,59

kopma mukavemeti tayini gerçekleştirilmiştir. Taguchi deney tasarımına göre yapılan üretimlerin testleri yapıldıktan sonra elde edilen değerlerden yararlanılarak mukavemet değeri en yüksek olacak ipliği üretecek üretim parametreleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Kopma Mukavemeti Sonuçları ve S/N Değerlerinin Hesaplanması

Taguchi yöntemine göre hazırlanan tasarımlardan elde edilen veriler değerlendirme yapmak amacıyla sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmekte ve desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemde, sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değer sinyal değeri ile ifade edilirken, ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını ise gürültü faktörü ile temsil edilmektedir. S/N oranının hesaplanmasında farklı formüller kullanılmakta olup, hesaplanacak değere göre küçük değer iyi, büyük değer iyi veya nominal değer iyi değerlendirmelerin yapıldığı formüller kullanılmaktadır. Kopma mukavemeti değerinin yüksek olması hedeflenen durum olduğu için S/N değerinin hesaplanması için büyük değer iyi formülü kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

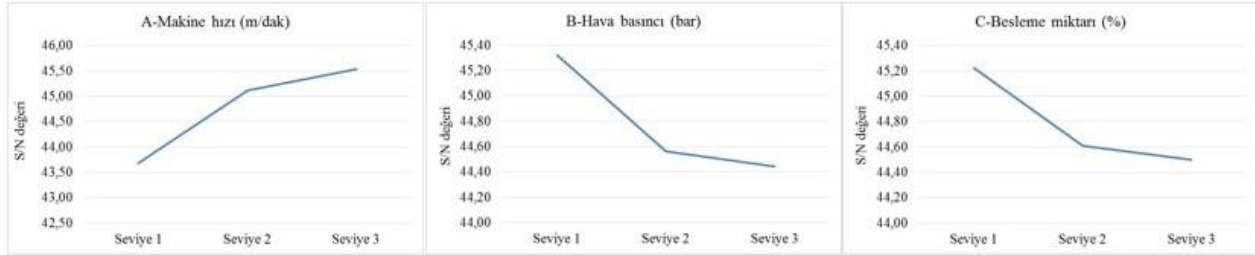
Burada; n; deney sayısı, y_i ise her bir gözlemin ölçülen değeridir. Testler sonucu elde edilen değerler ve kopma mukavemeti değerlerinden yararlanılarak hesaplanan S/N değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Daha sonraki aşamada ise her faktörün üç seviyedeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için Tablo 5'de verilen S/N oranlarının ortalaması her faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Örnek olarak; besleme miktarı türünün %4 olduğu ikinci seviyeye ait oranı belirlemek için 2, 4 ve 9 numaralı denemeler için hesaplanan S/N oranlarının ortalaması alınmıştır. Tablo 6'da tüm faktörler ve seviyeler için bu şekilde hesaplanmış ortalama S/N oranları verilmiştir.

Tablo 6'da bulunan parametrelerin büyük değerlerinin sahip olduğu seviye, o parametrenin en iyi seviyesine, yani kopma mukavemetinin en yüksek olduğu deney sonucuna işaret etmektedir. Hesaplanan bu değerler her bir parametre için Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 6. Her bir üretim parametresi ve her seviye için ortalama S/N değerleri

Üretim Parametreleri	Ortalama S/N		
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A-Makine hızı (m/dak)	43,68	45,12	45,53
	30 m/dak	40 m/dak	50 m/dak
B-Hava basıncı (bar)	45,32	44,56	44,45
	6 bar	7 bar	8 bar
C-Besleme miktarı (%)	45,22	44,61	44,50
	% 2	% 4	% 7



Şekil 3. Her bir faktörün üç seviyedeki S/N değerleri

Şekil 3 incelendiğinde; makine hızının kopma mukavemeti değeri üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğu görülmekte olup, genel olarak faktör etkileri birbirlerine yakın değerdedir. Sonuç olarak, S/N oranlarının en yüksek olduğu değerler optimum tasarımı vermekte olup, söz konusu bu tasarım A3B1C1 olarak belirlenmiştir.

3.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Hibrit iplik üretim parametrelerinin kopma mukavemeti üzerindeki etkisi tespit etmek için S/N oranlarından faydalanılarak SPSS 22 programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Tablo 7). Tablo 7'deki p değerinin 0,05'den küçük olması faktörün istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterdiğinden A (Makine hızı) faktörünün kopma mukavemeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Tablodaki etki büyüklüğü (%) sütunu incelendiğinde her bir hibrit iplik üretim parametresinin kopma mukavemeti üzerindeki etki yüzdesi görülmektedir. Makine hızının kopma mukavemeti üzerindeki etkisi %62,6 iken, hava basıncının %15,4 ve besleme miktarının ise %9,6'dır.

3.3. Doğrulama Deneyleri

Taguchi tasarımına göre, incelenen her faktör için optimum performansa (en yüksek kopma mukavemetine) ulaşılmasını sağlayacak olan seviyeler, S/N oranları içerisinde her faktör için en büyük değerin olduğu seviyenin alınması ile A3B1C1 olarak tespit edilmiştir. Ancak deney tasarımı içerisinde bu noktada deney yapılmamıştır. Matematiksel olarak bu seviye için beklenen S/N oranı ile kopma mukavemeti değeri hesaplanabilmektedir. Eşitlik(2) kullanılarak yapılan bu hesaplamada her faktörün optimum seviyesi için hesaplanan S/N oranı (η_i), tüm deney sonuçlarının ortalaması alınarak bulunan S/N oranından (η_m) çıkartılarak o faktörün optimum seviyesi ile oluşan değişim hesaplanmıştır. Daha sonra bu değerlerin ortalama S/N oranı ile toplanması, teorik olarak hesaplanan ve optimum seviyelerin kombinasyonundan beklenen S/N oranını vermektedir.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (2)$$

Burada; j = kontrol faktörlerinin sayısı, η_{opt} = tahmin edilen optimum S/N oranı, η_m = S/N değerlerinin aritmetik ortalaması, η_i = i sayılı faktörün optimum seviyesinin ortalama S/N oranı'dır. A3B1C1 optimum seviyesi için hesaplanan S/N oranı;

$$\eta_{opt} = \eta_m + (\eta_{A3} - \eta_m) + (\eta_{B1} - \eta_m) + (\eta_{C1} - \eta_m) \quad (3)$$

η_{A3} = A faktörünün 3.seviyesine ait S/N oranlarının aritmetik ortalaması

η_{B1} = B faktörünün 1.seviyesine ait S/N oranlarının aritmetik ortalaması

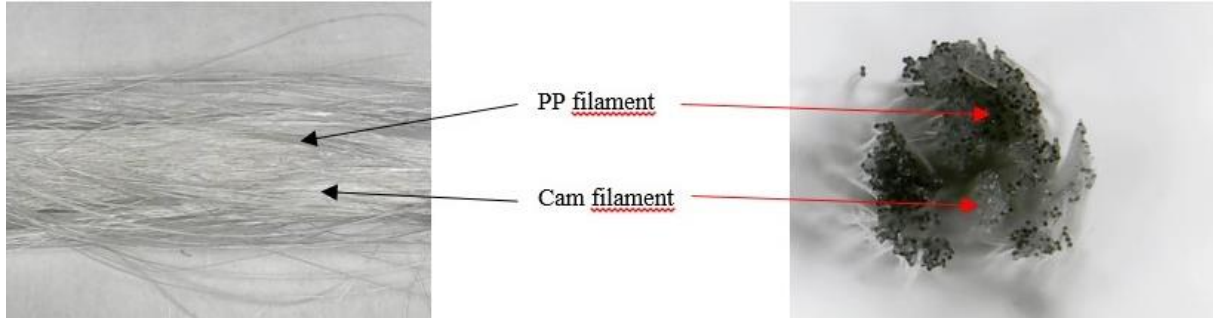
η_{C1} = C faktörünün 1.seviyesine ait S/N oranlarının aritmetik ortalaması olmak üzere

η_{opt} = 46,52 (dB) olarak bulunur.

Eğer S/N değerleri biliniyorsa geriye dönük olarak yapılacak işlemlerle beklenen performans değeri hesaplanabilmektedir. Söz konusu değer (46,52), eşitlik(1)'e yerleştirildiğinde elde edilen sonuç 211,84 N olmaktadır. Yani, tahmin edilen S/N oranı üzerinden yapılan hesaplama ile optimum deney kombinasyonu için tespit edilen (tahmin edilen) optimum kopma mukavemeti 211,84 N'dur. Aynı formül ile deney yapılmayan diğer kombinasyonlar için de teorik olarak beklenebilecek olan kopma mukavemeti değerleri hesaplanabilmektedir. Tespit edilen optimum tasarım olan A3B1C1'e uygun olarak iplik üretimi gerçekleştirilmiştir (50 metre/dakika hızda, 6 bar basınçlı hava ve %2 beslemeli). Söz konusu ipliğin kopma mukavemeti değerleri ortalaması 216,38 N olarak belirlenmiştir. Bu deneysel sonuç aynı tasarımın Taguchi yöntemiyle elde edilen tahminine oldukça yakındır. Üretilen ipliğin 40 kat büyütülmüş boyuna ve enine kesitleri Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 7. ANOVA tablosu

Faktör	Kareler toplamı	Serbestik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	p	Etki büyüklüğü (%)
A	5,673	2	2,836	5,323	0,047	62,6
B	1,362	2	0,681	0,544	0,606	15,4
C	0,912	2	0,456	0,344	0,722	9,6
Artık	0,922	2	0,461	-	-	12,4
Toplam	8,869	8	-	-	-	100

**Şekil 4.** Üretilen hibrit ipliğin boyuna ve enine kesit görüntüleri**Tablo 8.** Optimum ve doğrulama üretimleri için mukavemet değerleri

Numune no	İplik numarası (tex)	Makine hızı (m/dak)	Hava basıncı (bar)	Besleme miktarı (%)	S/N	Kopma mukavemeti (hesaplanan) (N)	Kopma mukavemeti (deneysel) (N)
1	1115,4	50	6	2	46,52	211,83	216,38
2	1124,24	50	7	4	45,15	180,92	178,22
3	1126,22	50	8	7	44,92	176,21	172,62

Optimum tasarımın elde edilmesinden sonra doğrulama amaçlı farklı parametrelerde üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu üretimlerin teorik mukavemet değerleri eşitlik(1) yardımıyla hesaplanmış ve deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8 incelendiğinde deneysel olarak ölçülen ve Taguchi tasarımına göre hesaplanan değerlerin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Değerlerin birbirine yakın çıkması Taguchi metodunun doğruluğunu ortaya koymaktadır. Bu sayede üretim yapmadan bile elde edilebilecek değer, tahmini olarak hesaplanabilmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, tekstil takviyeli beton üretiminde takviye bileşeni olarak kullanılacak hibrit iplik, karıştırma (commingling) yöntemiyle Taguchi deney tasarımından yararlanılarak en yüksek mukavemet değerini veren üretim parametreleri belirlenmiş ve üretilmiştir. Hibrit iplik üretim parametrelerinin kopma mukavemeti üzerindeki etkisini görmek için 27 farklı numune üretmek gerekirken Taguchi yöntemi ile 9 numune üretilerek sonuca ulaşılmıştır. Taguchi yöntemi, hızlı ve ekonomik bir üretim sağlamıştır. Elde edilen deney sonuçlarından sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmüş ve optimum hibrit iplik üretim parametreleri belirlenmiştir. Buna göre makine üretim hızının 50 m/dak,

hava basıncının 6 bar ve besleme miktarının %2 olduğu üretim parametreleri optimum üretim parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerde yapılan üretim sonucunda en yüksek mukavemetli ve homojen filament dağılımına sahip iplik elde edilmiştir. Seçilen üretim parametreleri kırılmalı yapıya sahip cam filament için en uygun parametrelerdir. Yapılan doğrulama çalışmalarında, deney sonucunda elde edilen mukavemet değerleri ile sinyal/gürültü (S/N) oranlarından elde edilen tahmini değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu da metodun doğruluğunu göstermektedir. Hibrit iplik üretim parametrelerinin kopma mukavemeti üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, en büyük etkiye %62,6 ile makine hızı sahipken, hava basıncı %15,4'lük ve besleme miktarı da %9,6'lık bir etki düzeyine sahip olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ERASMUS+ Öğrenim Hareketliliği programı ile yurt dışında çalışma imkanı sağlayan Çukurova Üniversitesi'ne ve çalışmada üretimin gerçekleştirilmesine ve gerekli testlerin yapılmasına imkan sunan RWTH Aachen Üniversitesi Institut für Textiltechnik (ITA) Enstitüsü yönetimine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bakis, C.E., Bank, L.C., Brown, V.L., Cosenza, E., Davalos, J.F., Lesko, J.J., Machida, A., Rizkalla, S.H., Triantafillou, T.C., (2002), Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction-State of the Art Review, *Journal of Composites for Construction*, 6(2): 73-87.
- Bagherzadeh, R., Sadeghi, A.H., Latifi, M., (2011), Utilizing polypropylene fibers to improve physical and mechanical properties of concrete, *Textile Research Journal*, 82(1): 88-96.
- Yao, W., Li, J., Wu, K., (2003), Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction, *Cement and Concrete Research*, 33: 27-30.
- Hartig, J., Häußler-Combe, U., Schicktanz, K., (2008), Influence of bond properties on the tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete, *Cement & Concrete Composites*, 30: 898-906.
- Chudoba, R., Vorechovsky, M., Konrad, M., (2006), Stochastic modeling of multi-filament yarns. I. Random properties within the cross-section and size effect, *International Journal of Solids and Structures* 43: 413-434.
- Hausding, J., Engler, T., Franzke, G., Köckritz, U., Cherif, C., (2006), Plain Stitch-Bonded Multi-Plies for Textile Reinforced Concrete, *AUTEX Research Journal*, Vol.6, No.2: 81-90.
- Dilthey, U., Schleser, M., Feldmann, M., Pak, D., Geßler, A., (2008), Investigation of punctiform, plane and hybrid joints of textile-reinforced concrete parts, *Cement & Concrete Composites*, 30: 82-87.
- Bramshuber, W., (2006), Textile Reinforced Concrete, In State-of-the-art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France.
- Barhum, R., Mechtcherine, V., (2010), Effect of short fibres on fracture behaviour of textile reinforced concrete, *Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures -High Performance, Fiber Reinforced Concrete, Special Loadings and Structural*, Korea Concrete Institute, South Korea.
- Butler, M., Mechtcherine, V., Hempel, S., (2009), Experimental investigations on the durability of fibre-matrix interfaces in textile-reinforced concrete, *Cement & Concrete Composites*, 31: 221-231.
- Mechtcherine, V., Lieboldt, M., (2011), Permeation of water and gases through cracked textile reinforced concrete, *Cement & Concrete Composites*, 33: 725-734.
- Funke, H., Gelbrich, S., Ehrlich, A., (2013), Development of a new hybrid material of textile reinforced concrete and glass fibre reinforced plastic, *Procedia Materials Science*, 2: 103 - 110.
- Stolyarov, O., Quadflieg, T., Gries, T., (2015), Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements, *Textile Research Journal*, vol. 85, 18: 1934-1945.
- Scheffler, C., Gao, S.L., Plonka, R., Mäder, E., Hempel, S., Butler, M., Mechtcherine, V., (2009), Interphase modification of alkali-resistant glass fibres and carbon fibres for textile reinforced concrete I: Fibre properties and durability. *Composites Science and Technology*, 69: 531-538.
- Golzar, M., Brünig, H., Mäder, E., (2007), Commingled Hybrid Yarn Diameter Ratio in Continuous Fiber-reinforced Thermoplastic Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 20, 17-25.
- Kaplan, M., (2016), Termoplastik Kompozitler için Hibrit İplik Üretimi. *Tekstil ve Mühendis*, 23: 101, 61-79.
- Svensson, N., Shishoomerk, R., Gilchrist, M., (1998), Manufacturing of Thermoplastic Composites from Commingled Yarns- A Review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 11: 22-56.
- Mankodi, H., Patel, P., (2009), Study The Effect of Commingling Parameters on Glass/Polypropylene Hybrid Yarns Properties. *AUTEX Research Journal*, Vol. 9, No:3, 70-73.
- Alagirusamy, R., Ogale, V., (2004), Commingled and Air Jet-textured Hybrid Yarns for Thermoplastic Composites. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 33, No. 4, 223-243.
- Alagirusamy, R., Fanguero, R., Ogale, V., Padaki, N. (2006), Hybrid Yarns and Textile Preforming for Thermoplastic Composites. *Textile Progress*, 38:4, 1-71.
- Lauke, B., Bunzel, U., Schneider, K., (1998), Effect of hybrid yarn structure on the delamination behaviour of thermoplastic composites, *Composites Part A*, 29A: 1397-1409.
- Mountasir, A., Hoffmanna, G., Cherif, C., Löserb, M., Mühlb, A., Großmannb, K., (2013), Development of non-crimp multi-layered 3D spacer fabric structures using hybrid yarns for thermoplastic composites. *Procedia Materials Science*, 2: 10 - 17.
- Ogale, V., Alagirusamy, R., (2007), Tensile properties of GF-polyester, GF-nylon, and GF-polypropylene commingled yarns, *The Journal of The Textile Institute*, 98:1, 37-45.
- Kravaev, P., Stolyarov, O., Seide, G., Gries, T., (2014), Influence of process parameters on filament distribution and blending quality in commingled yarns used for thermoplastic composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 27(3): 350-363.
- Thakur, S., Chauhan, S.R., (2014), Friction and sliding wear characteristics study of submicron size cenosphere particles filled vinylester composites using Taguchi design of experimental technique, *Journal of Composite Materials*, Vol. 48 (23): 2831-2842.
- Wang, S., Su, T.L., (2014), Taguchi Optimization to Determine Optimal Denier of the Polyester Fibre, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 472, 688-692.
- Fu, S., (2012), Optimization of process parameters for injection molding based on Taguchi technique, *Advanced Materials Research*, Vols. 538-541: 170-1174.