

ANKASTRE KOMPOZİT KİRİŞTE GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME KONTROLÜ

Nihat AKKUŞ, Garip GENÇ¹

Marmara Üniversitesi, Tek. Eğt. Fak., Göztepe Kampüsü, 34722, İSTANBUL

¹Marmara Üniversitesi, T. B. M. Y. O., Göztepe Kampüsü, 34722, İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada, bir tarafı ankastre diğer tarafı kuvvet altında olan bir kompozit kirişin üzerindeki gerilmeye bağlı olarak ortaya çıkan birim şekil değiştirmenin optimizasyonu ve sonlu elemanlar analizi araştırılmıştır. Ankastre kompozit kirişlerde kuvvetin etki noktasına bağlı olarak kiriş boyunca gerilme değerleri değişmektedir. Pratik uygulamalarda kiriş boyunca değişen gerilme değerlerinin istenilen değerlere getirilmesi endüstriyel öneme sahiptir. Çalışmada, bir ucu ankastre diğer ucu kuvvet etkisi altında kalan kirişin elyaf reçine oranı değiştirilerek kiriş boyunca oluşan şekil değiştirmelerin, kirişin her noktasında aynı büyüklükte olması sağlanmıştır. Deneysel olarak cam elyaf + polyester reçine kullanılarak kompozit kiriş $3^K \times 7^D \times 330^B$ (Kalınlık, Derinlik, Boy) mm ölçülerinde imal edilmiştir. Kiriş boyunca matris içerisindeki elyaf sayısı kirişin mukavemeti bir ucundan diğer ucuna gidildikçe artacak şekilde değiştirilmiştir. İmalattan sonra kirişlerin eğilme deneyleri yapılarak birim şekil değiştirmeleri strain gage'ler yardımı ile ölçülmüştür. Ayrıca kirişlerin eğilme deneyleri sonlu elemanlar analizi yöntemi ile modellenerek simülasyonu yapılmıştır. Deney ve simülasyonlar sonucu bir ucundan yüklenen ve diğer ucundan ankastre edilen kirişlerde gerilme dağılımının elyaf sayısının değişkenliğine bağlı olarak dengelenebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: FRP Kompozit, Gerilme-Şekil değiştirme, optimizasyon, sürekli elyaf, sonlu eleman modeli, kompozit yapı elemanı

STRESS-STRAIN CONTROL IN A COMPOSITE CANTILEVER BEAM

ABSTRACT

In this paper, stress-strain variation of cantilever composite beam was examined and an FEA model to simulate the bending behavior of cantilever beam was proposed. The stress along a cantilever beam is variable depending on the distance between force and investigated point. It is preferable in industrial application to have a beam along which the strain is constant. Strain values along of a cantilever beam were controlled in this study by controlling the Young's modules of the composite material. This is done by optimization of volume fraction of composite which consist of resin and fibers. Composite beam, which used at the experiment, manufactured with fiberglass + polyester resin and it size 3 x 7 x 330 (thickness x depth x length). Beam, which was used in the experimental part of the study had rolled by hand lay - up in an open die. Along beam, fibers counting increase from one side to other side, because of to increase the resistance of beam. After manufacturing, stress - strain values are measured by strain gage under bending experiments. In addition, bending of beams was simulated by Finite Element Method (FEM). Experiment and simulation result indicated that strain values can be controlled by changing the number of fiber along the beam.

Key Words: FRP Composite, Stress-Strain Variation, Optimization, Continuous Fiber, Finite Element Method (FEM), Composite Structures Element

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde tasarımdan beklenen özellikler artık yeni boyutlar kazanmıştır. Bunlar estetiklik, ekonomiklik, dayanıklılık gibi kriterlerdir. Fakat bazı durumlarda bunlarda yetmeyecektir. Bazı tasarımlarda hafiflik, kolay montaj ve korozyona karşı dayanım daha

öncelikli olacaktır. Örneğin kapalı spor salonlarının çatıları, futbol stadyumlarının kapalı bölümleri gibi konstrüksiyonlar genellikle çelik konstrüksiyondan yapılır. Bu konstrüksiyonların çok ağır olduğu, montajının çok fazla işçilik ve zaman gerektirdiği ve özellikle korozyona karşı ayrıca önlemler alınması gerektiği göz ardı edilmemelidir. Bu tür endüstriyel uygulamalarda alternatif malzemeden yapılmış yapı elemanlarının araştırmaları artarak devam etmektedir. Bu çalışmada alternatif bir malzeme geliştirilmiştir. Bu malzemenin en önemli özellikleri hafif, montaj kolaylığı ve korozyona karşı dayanımı olarak sıralanabilir. Reçine katkılı elyaf kiriş üretimini yapabilmek için özel bir kalıp tasarımı ve imalatı gerekmektedir. Kalıp öncelikle, kirişin farklı bölümlerinde farklı elyaf sarım sayılarına uygun olarak tasarlanmalıdır. Bu kirişte elde edilmesi hedeflenen en önemli özellik tabii ki üzerine binen yük karşısında kirişlerin göstereceği gerilme ve şekil değiştirmelerin her noktada aynı olmasıdır. Bir tarafı ankastre bir kiriş üzerine yükleme yapıldığı zaman en büyük gerilme ve şekil değiştirmenin kirişin ankastre olan tarafında olacağı basit olarak kuvvet x kuvvet kolu hesabı yapılarak hesaplanabilir. Buradan yola çıkılarak kirişin ankastre edilecek tarafına daha fazla sarım sayısı gerekeceği ve sarım sayısının yükün uygulandığı noktaya doğru gidildikçe azalması gerektiği düşüncesini açıkça ortaya koyacaktır.

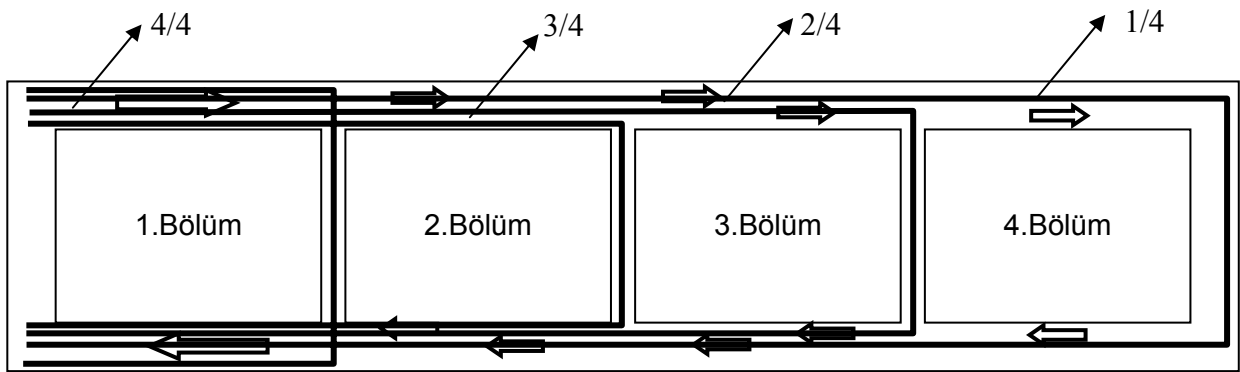
Bu çalışmayla ilgili olarak geçmiş çalışmalara bakıldığında; T. Sekido ve arkadaşları [1], Kamyon iskeleti için FRP uygulamaları ile ilgili elyaf kompozit malzemeler kullanmışlardır. Chen ve Tsai [2], Tek yönlü sürekli elyafları, kompozit yapıların dizaynında kullanıp analizi ve optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Tsai ve Liu [3], iki veya üç boyutlu, düşük maliyetli parçaların yapımı araştırmalarda bulunmuşlardır. N. Akkuş ve arkadaşları [4], reçine katkılı elyaf malzemelerin örülmesi üzerine çalışmış ve bu örgü yöntemi ile elde ettikleri kirişin düğümleri üzerinde gerçekleşen şekil değiştirmeler üzerinde çalışmışlardır. Yine Akkuş ve Kawahara [5], ince kompozit boruların boğumlarını elyaf malzemelerle güçlendirip düğüm davranışlarını ve mukavemetlerini incelemişlerdir. Ayrıca A. Hurez ve arkadaşları [6], elyaf katkılı polimer kirişlerin, birleşme noktalarını ve eğimli örülmüş kirişlerin gerilme-şekil değiştirme ve katılık formülasyonu üzerine çalışmışlardır.

Bu çalışmada ise, reçine katkılı elyaf kompozit kullanılarak, farklı sarım sayılarına sahip bir kiriş dizaynı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bir ucundan ankastre edilmiş kirişin diğer ucuna uygulanan yük karşısında kiriş boyunca gerilmelerin yaklaşık olarak aynı kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca bu veriler ışığında, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan analizlerde bu çalışmayı desteklemiştir.

2. KALIP TASARIMI ve İMALATI

Üretilcek kalıbın, istediğimiz kiriş özelliklerini oluşturmaya uygun olması gerekmektedir. Kirişte oluşturmak istediğimiz özellikler; dört bölümden meydana gelmeli ve her bölümdeki sarım sayısı farklı olmalı şeklinde sıralanabilir. Kiriş ölçüleri 3 x 7 x 330 (Kalınlık, Derinlik, Boy) mm olarak tasarlanmıştır.

Şekil 1’de görülen kirişin her bölümü 82,5 mm boyundadır. Kirişin birinci bölümü 8 turluk sarım sayısına, ikinci bölümü 6 turluk sarım sayısına, üçüncü bölümü 4 turluk sarım sayısına ve dördüncü bölümü 2 turluk sarım sayısına sahip olacaktır. Bu sarım sayılarının bu şekilde farklı olması, yükün uygulanması ile kiriş üzerinde oluşan birim şekil değiştirme değerlerinin,



Şekil 1. Açık kalıp ve kalıp içerisindeki değişken elyaf sayısı oranları

kiriş boyunca sabit kalması amaçlanmasından dolayıdır. Farklı sarım sayıları farklı elyaf-reçine oranına neden olacağından, sonuç olarak aynı kiriş üzerinde farklı elastik modülüne sahip bir kiriş elde edilecektir. Üretilcek kirişin tamamı aynı sarım sayılarına sahip olursa, buna bağlı olarak kiriş üzerindeki birim şekil değiştirme değerleri, kirişin yük altındaki tarafından ankastre edildiği tarafa doğru artarak değişecektir. Bu değişimi de kuvvet x kuvvet kolu bağıntısı ile açıklamak mümkündür. Ayrıca kalıp, kirişin sarımı gerçekleştirildikten sonra kirişin soğumasına yardımcı olmalıdır. Bu kriterlere göre tasarlanan kalıbın üretimi gerçekleştirilmiştir.

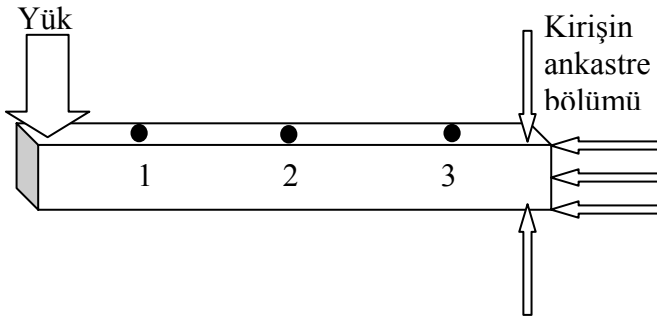
2.1. KALIBIN HAZIRLANMASI VE KİRİŞİN SARIMI

Kompozit kiriş için cam elyaf (GFRP) + reçine (polyester) malzeme kullanılmıştır. Kullanılan cam elyafın demetinde çapı 15 μm olan 24000 adet elyaf bulunmaktadır. Kiriş sarımına başlamadan önce bir kap içerisine polyester reçine ve katılaştırıcı katkı maddesi konur. Sarım için kullanılacak cam elyaf, kap içerisinde hazırlanan polyester reçine içerisinden geçirilerek sarım işlemine başlanır. Sarım işlemi elle gerçekleştirilmiştir.

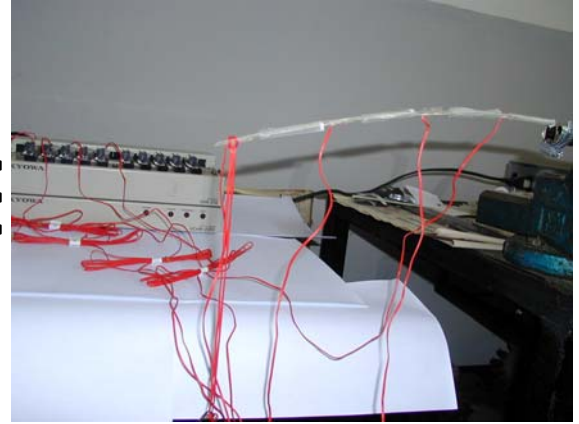
Şekil 1’de de gösterildiği gibi kiriş dört bölümden oluşmaktadır. Kirişin başlangıç noktasından itibaren bitiş noktasına gidildikçe sarım sayısı azalacaktır. Kirişin birinci bölümündeki sarım sayısı 8 tur, ikinci bölümünde 6 tur, üçüncü bölümünde 4 tur ve dördüncü bölümünde 2 tur olacak şekilde sarım işlemi gerçekleştirilir. Sarım işlemi tamamlandıktan sonra sarılan cam elyafın üzerine tekrar polyester reçine dökülür. Kalıp kapatılıp reçinenin sertleşmesi için 120 °C sıcaklıktaki fırın içerisinde 4 saat bekletilir. Kompozit kiriş kalıp içerisinde çıkarılıp temizlenir. Sarım işlemi tamamlanan kiriş üzerinden deney için kullanılacak numune kiriş, Şekil 1’de siyah renkte gösterildiği gibi kesilir. Böylece 3 x 7 x 330 (Kalınlık, Derinlik, Boy) mm ölçülerinde ve her bölümde farklı malzeme mekanik özelliklerine sahip bir kiriş üretilmiş olur.

2.2. ANKASTRE KİRİŞ DENEYİ

Kirişin üzerinden şekil değiştirme ve gerilme değerlerini ölçmek için kullanılan üç adet strain gage Şekil 2’de görüldüğü gibi kirişin üst yüzeyine paralel olarak yapıştırılmıştır. Strain gage’ler kiriş üzerine Şekil 1’de görülen her bir kalıp bölgesinin orta yerine bir strain gage gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Strain gage’lerin yapıştırıldıkları yerler ve ankastre kirişin yüklenmesi Şekil 2’de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2. Kiriş eğilme deneyi ve strain gage'lerin şematik yerleştirilmesi

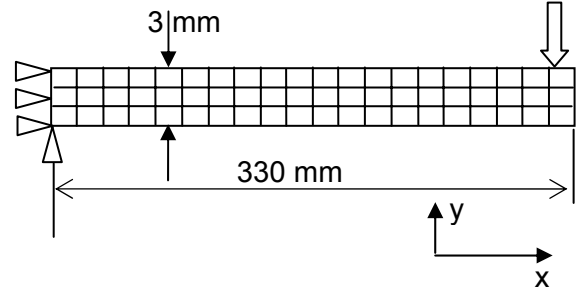


Şekil 3. Deney parçası ve strain gage'ler ile ölçüm

Kiriş, Şekil 3’te görüldüğü gibi x ve y yönlerinde hareketsiz kalacak şekilde ankastre edilmiştir. Bir tarafı ankastre olan kirişin diğer tarafına yük uygulanır. Yükler 100 gr, 200 gr ve 250 gr şeklinde sırayla düzenli arttırılarak uygulanmıştır. Uygulanan yükler karşısında kirişin farklı sarım sayılarına sahip bölgelerinden ölçümler alınmıştır. Bu veriler her bir aşama için oluşan birim şekil değiştirme değerleri olarak kayıt edilmiştir. Birim şekil değiştirme değerleri KYOWA-UCAM 21 sistemi ile ölçülerek bir bilgisayara kaydedilmiştir.

2.3. KOMPOZİT MALZEMENİN SONLU ELEMANLAR MODELİ

Eğilme kuvveti altındaki kompozit kirişin nümerik modellemesi için paket yazılımlardan MSC.MARC-Mentat sonlu elmanlar yazılım paketi kullanılmıştır. Bu yazılımın kompozit yapı elemanları ile ilgili problemlerin çözümünde takip ettiği çözüm tekniği ve yaklaşım esasları referans [7,8] de verilmektedir. Burada sadece fiziksel büyüklük ile ilgili modelleme ve malzeme modeli üzerine bilgi verilecektir. Nümerik modelleme için Mentat arayüzey yazılımı kullanarak Şekil 5 şematik gösterimi verilen eğilme gerilmesinin 2-D modeli yaratılmıştır. Kompozit kiriş $3^K \times 7^D \times 330^B$ (Kalınlık, Derinlik, Boy) mm ölçülerinde olmasına karşın, modelleme $3^K \times 330^B$ ölçülerinde 2-D olarak hazırlanmış ve 7 mm'lik derinlik sayısal olarak girilmiştir. Modellemede 4 düğümlü, düzlem gerilme element tercih edilmiştir.



Şekil 5. Sonlu Elemanlar modelinin şematik gösterimi

Simülasyonda kiriş 2 serbestlik derecesine sahip 10 nolu MARC elementi kullanılarak 60 element ile bölünmüştür. Kiriş Şekil 5'de görüldüğü üzere X ve Y eksenine doğrultusunda hareket etmemesi için sol tarafından sıfır deplasman ile sabitlenmiştir. Yük ise -Y doğrultusunda yüklenmiştir. Saf cam elyaf malzemenin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi cam elyaf-reçine karışım oranı 1 olarak alınmıştır. Bu çalışmamızda cam elyaf-reçine karışım oranı sarımı gerçekleştirilen kompozit kirişin her bölümünde farklı alınmıştır. Tablo 1'de kullanılan, V_f ; cam elyaf-reçine karışım oranı, E_x, E_y ; X ve Y yönündeki elastiklik modülleri, ν_{xy}, ν_{yz} ; XY ve YZ yönündeki poisson oranı, G_{xy} ve G_{yz} ; yine aynı yönlerdeki kayma modülünü ifade etmektedir.

Tablo 1. Cam elyaf ve reçinenin mekanik özellikleri

V_f	Elyaf		Reçine	
1	E_{fx}	187	E_{mx}	3,1
	E_{fy}	13,5	E_{my}	3,1
	ν_{xy}	0,29	ν_{xy}	0,25
	ν_{yz}	0,0209	G_{xy}	3,4
	G_{xy}	4,5		
	G_{yz}	72,481		

Karışım oranı, birinci bölümde 0.8, ikinci bölümde 0.6, üçüncü bölümde 0.4 ve dördüncü bölümde 0.2 olarak alınmıştır. Değiştirilen bu karışım oranları sonucu oluşan malzeme değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

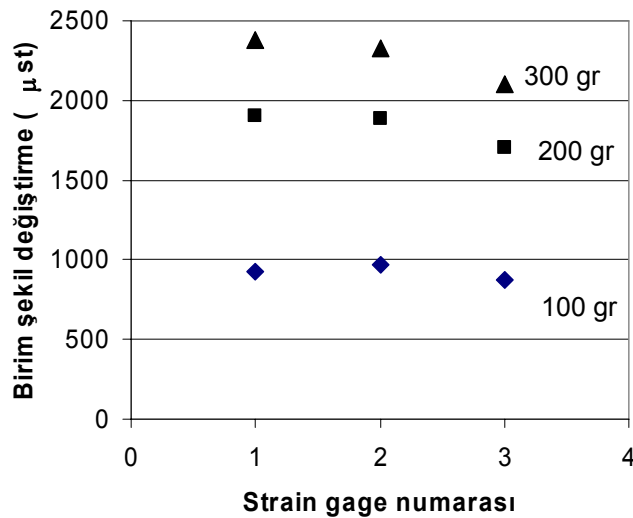
Tablo 2. Farklı cam elyaf – reçine karışım oranına sahip kompozit malzeme değerleri

	Malzeme 1	Malzeme 2	Malzeme 3	Malzeme 4
V_f	0,8	0,6	0,4	0,2
E_x	69,42	52,84	36,26	19,68
E_y	10,70	8,80	6,90	5,00
ν_{xy}	0,29	0,29	0,29	0,29
ν_{yz}	0,04469	0,04829	0,05518	0,07367
G_{xy}	12,52	10,24	7,96	5,68

3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

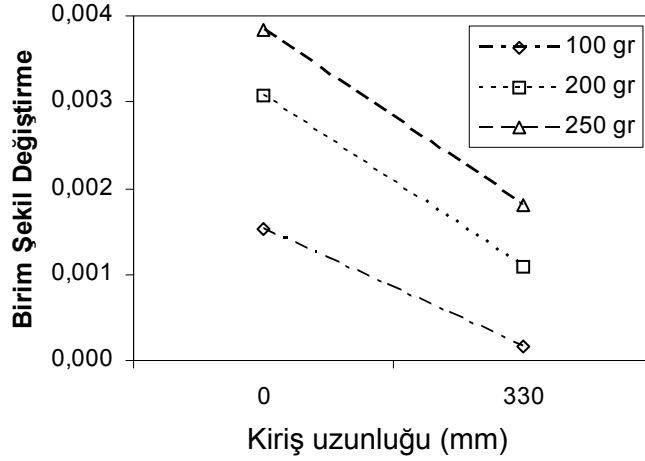
Özellikle eğilme gerilmelerine maruz kalan ince uzun yapı elemanlarında etki eden kuvvetin etki noktasına ve ankastre noktasına bağlı olarak kiriş boyunca değişken gerilme değerleri ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu değişken gerilmeler yine kiriş üzerinde farklı birim şekil değişimlere neden olmaktadır. Tasarım ve konstrüksiyon esaslarına göre dizayn edilen bir yapı elemanında tüm dayanım hesapları en zayıf noktalar esas alınarak yapılacağından daha az zorlamalar maruz kalan kiriş bölümlerindeki fazla malzeme sistemde ekstra ağırlık olarak yer almaktadır. Bunun önüne geçmek için bu araştırmada değişken elastik modüllü kompozit kiriş uygulaması araştırılmış ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6'da $3^K \times 7^D \times 330^B$ mm ölçülerinde hazırlanmış kompozit kirişe 100, 200 ve 250 gr'lık yüklerin yüklenmesi ile ortaya çıkan şekil değiştirme değerlerini göstermektedir. Bu şekilden



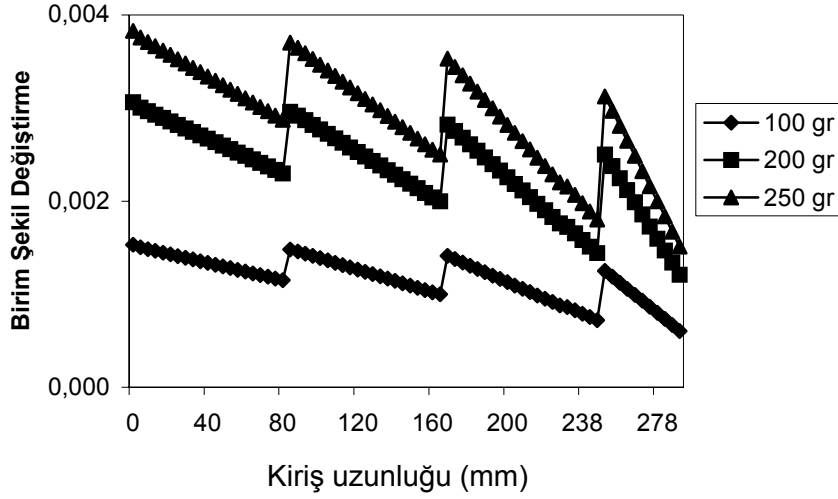
Şekil 6. Değişken elastik modüllü kompozit kiriş için birim şekil değiştirme değerleri

de anlaşılacağı üzere kiriş uzun eksenini boyunca ortaya çıkan şekil değiştirme değerleri belirli bir aralık içerisinde kalabilmektedir. Eğer kiriş boyunca sabit elastiklik modülüne sahip bir yapı olsaydı kiriş eksenini üzerinde çıkması muhtemel şekil değiştirme değerleri yine aynı ağırlık büyüklükleri için Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7’den de takip edileceği üzere, sabit elastiklik modülüne sahip bir yapı elamanını için kuvvetin etki noktasından uzaklaştıkça artan bir şekil değiştirmenin görülmesi doğaldır.



Şekil 7. Normal bir kompozit kiriş için birim şekil değiştirme değerleri

Uzun eksenini doğrultusunda değişken elastik modüllü kirişin eğilme gerilmesi altındaki davranışını araştırmak için yapılan sonlu elemanlar modellemesinden alınan gerilme ve şekil değiştirme eğrileri Şekil 8 gösterilmektedir. Deneyler için imalatı yapılan deney parçası yapısında uzun eksenini boyunca her 82.5 mm de farklı sayıda elyaf bulundurmaktadır. Farklı elyaf sayısına bağlı olarak her 82.5 mm boyunca sabit olan elastiklik modülü bir sonraki 82.5 mm’lik kısma geldiğinde farklı bir büyüklükte olmaktadır. Bu nedenle her 82.5 mm’lik kısmın kendi içerisinde kuvvete olan mesafenin değişimine bağlı olarak şekil değiştirmeler artmaktadır. Ancak bir sonraki bölgeye geçildiğinde şekil değiştirme yine bir önceki kısmın alt değerine düşmektedir. Bu kısımlar arası elastiklik modülü dengesinin bulunduğunu ancak her kısmın kendi içerisindeki elastiklik modülü optimizasyonun yapılmadığını da açık olarak göstermektedir. Değişken elastik modüllü kompozit kirişin gerilme ve şekil değiştirme eğrilerinin bu şekilde temel cisimlerin dayanı bilgilerine paralel değerler göstermesi de yapılan modellemenin başarılı olduğunu ve daha değişik kirişlerin simülasyonu için temel teşkil edebilecek bir model olduğunu göstermektedir. Ancak her kısmın kendi içerisindeki şekil değişiminin sabit kalması için bu çalışmada 82.5 mm alınan kısım uzunluklarının çok daha kısa alınması optimizasyonun daha hassas olması bakımından önem arz etmektedir.



Şekil 8. FEA göre uzun eksenli boyunca farklı sarım sayılarına sahip bir kompozit kiriş için birim şekil değiştirme değerleri

4. SONUÇ

İnce uzun kirişlerin eğilme kuvvetleri altında kalmaları durumunda ortaya çıkan farklı gerilmelere bağlı farklı şekil değiştirme miktarlarının belirli bir şekli değiştirme aralığında tutulabilmelerine olanak sağlamak amacıyla yeni bir yöntem teklif edilmiştir. Elyaf ve reçineden oluşan FRP kompozit malzemede, bir kiriş eksenli boyunca farklı elyaf ve reçine karıştırma oranlarına bağlı olarak farklı elastiklik modülü esasına dayanan malzeme deneysel olarak üretilmiş ve sonlu elemanlar analizi ile simülasyonu yapılmıştır. Deneysel ve simülasyon sonuçları böyle bir kiriş imalatının mümkün olabileceğini göstermiştir.

5. REFERANSLAR

- [1]. Sekido.T., "FRP Application to Truck Bodies" , Proceedings of 7th Euro – Japanese Symposium on Composite Materials and Transportation, 1999, pp 302-307
- [2]. Chen.H., and Tsai,S.W., "Analysis and Optimum Design of Composite Grid Structure" , J. of Composite Materials, Vol. 30, 1996, pp, 503
- [3]. Liu, K.K.S., and Tsai,S.W., " Low Cost Square Composite Grid" , Stanford University, Unpublished work.
- [4]. Akkus, N., Verchery,G., Kanemoto, Y., Kawahara,M., and Hurez, A., "Inter-Laced Fibers / Light – Curing resin Composite Structures", In: Proceedings of ACCM-2000 Conference, Kyongju, Korea, August 2000, p.211-216.
- [5]. Akkus, N., Kawahara,M., "Bending Behaviors of Thin Composite Pipes with Reinforcing Nodes", Materials Science Research International, Vol. 6, No. 2, pp. 131-135, June 2000
- [6]. Hurez, A., Akkus, N., Verchery,G., and Kawahara,M., "Design and Analysis of Composite Structures with Interlaced Fibres", Composites: Part A 32 , 1455-1463, 2001
- [7]. MARC User's Guide, Volume A – Theory and User Information, MARC Analysis Research Corporation, 1996.
- [8]. MARC User's Guide, Volume B-Element Library, MARC Analysis Research Corporation, 1996, 33- 43.