KARBON FİBER KOMPOZİT MALZEMELERİN PROTEZLERDE KULLANIMI

Ruşen Sözer[1]

1. GİRİŞ

Günümüzde karbon fiber kompozit yapılar yüksek teknoloji ürünü olarak pek çok alanda kullanılmakta ve gün geçtikçe gelişerek daha fazla alanda kullanımı olmaktadır. Bu kullanım alanlarından birisi de protez ürünleridir. Karbon fiber kompozit yapılar, sahip oldukları üstün özellikler sayesinde protez olarak kullanımında kullanıcıya konfor, güven ve üstün hareket kabiliyeti sağlamaktadır.

2. KARBON FİBER MALZEMELERİN AYAK PROTEZLERİNDE KULLANILMASI

Karbon fiber malzemelerin protez uygulamalarındaki bir Şekil 1'de karbon fiber kompozit kullanılarak üretilmiş olan bir sporcu protezi görülmektedir. Bu protez, ayak protezi olduğu için çok yüksek yüklere karşı dayanım gösterebilmeli ve ayrıca çok yüksek oranda enerji depolayarak sporcunun hareketlerini destekleyerek ona daha konforlu ve verimli bir spor kabiliyeti kazandırabilmelidir.

Bir karbon fiber protez ayak tasarımının, karbon ayak kullanıcısının bütün hareketleri düşünülerek yapılması gerekmektedir. Protez kullanıcısı gerektiğinde düz yolda rahatlıkla yürüyebilirken, aynı zamanda konforlu bir şekilde merdiven inip çıkabilmemlidir. Kullanıcı, bütün bu hareketleri yaparken konforlu olduğu kadar da güvende olmalıdır. Güvensiz bir protez ayak, kullanım sırasında kırılması halinde kullanıcısına ciddi zararlar verebilir. Şekil 2'de iki çeşit kullanım durumu görünmektedir. Merdiven inerken ve düz yolda yürürken ki durumları gösterilen bu iki protez ayak kullanıcısı için, özellikle merdiven gibi yükselti farkının olduğu durumlarda bu protez ayağın tamamen kırılması, kullanıcıyı düşürürerek geri dönüşü olmayan zararlara yol açabilmektedir.

Şekil 1. Karpon Fiber Sporcu Protezi

[1] Proted Protez Ortez ve Rehabilitasyon Ltd.Şti. - *rusen.sozer@proted.com.tr*

Şekil 2. Karbon Fiber Protez Ayak Kullanımı

3. KARBON FİBER AYAK PROTEZİ ÇALIŞMASI

Bu çalışmada; kullanıcının konforunun ve güvenliğinin en üste seviyede nasıl tutulabir araştırması yapılmıştır. Kullanıcıların güveni en üst seviyede tutulurken oluşabilecek kompozit protez ayağın aniden kırılmasının önüne geçerek, oluşabilecek bir kaza anında ayağın yavaş ve kademeli olarak kırılması ve kullanıcının düşme gibi risklerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Bir protez kullanıcısının en büyük isteği, kullanılan protez ürünün hafif ve sağlam olması ile kaybedilen uzuvun yerine kullanılacağından o uzuvun hareket kabiliyetini en iyi şekilde taklit edebiliyor olmasıdır. Karbon fiber kompozit malzemeler, kullanıldıkları protez ürüne enerji depolama kabiliyeti, hafiflik ve kozmetik görünüm olarak üstünlükler sağlamaktadır.

Protez ayakların tasarım süreci büyük ölçüde, iteratif bir prototip oluşturma ve kullanıcı testleri süreçlerinden oluşmaktadır. Güvenilir ve tekrarlanabilir bir kullanıcı testi, prototip protez ayak geliştirmenin son basamağıdır. İlk basamak olan tasarım ve modellemede temel amaç, protez ayağın normal bir ayağı birebir oranda taklit edebilmesidir. Pasif bir enerji depolayıcı ve sönümleyici sistemlerin kullanılması amaçlanır ve çeşitli sertliklere ve enerji depolama kabiliyetlerine sahip olan protez ayaklar üretilir. İnsan doğası gereği, yavaş yürüyen, hızlı yürüyen, merdiven gibi yapılardan inebilen ve çıkabilen bir varlıktır. Üretimi yapılan protez ayak da bu hareketleri kullanıcının konforunu bozmadan taklit edebilmelidir. Bütün bu taklit yeteneğine sahip olacak bir karbon fiber kompozit protez ayak üretimi, istenilen konfor özellikleri arttıkça daha karmaşık bir hale gelmektedir. Tek başına mükemmel enerji depolama kabiliyetine sahip olan bir karbon fiber kompozit protez ayağın üretimi mümkündür; ancak bu protez ayak kısa yürüyüş sırasında kullanıcı için çok sert ve kullanışsız olmaktadır. Yine aynı şekilde çok yumuşak bir karbon fiber kompozit malzemeden protez ayak üretimi olanaklı iken, bu ayak da kullanıcı için uzun ve hızlı yürüyüşlerde çok fazla yorucu olmaktadır. Bu iki durumun optimum düzeyde sağlanması, karbon fiber elyaf serim yönleri ile olanaklı hale gelmektedir. Ancak, bütün bunlar

Şekil 3. Kırılmış Bir Protez Ayak

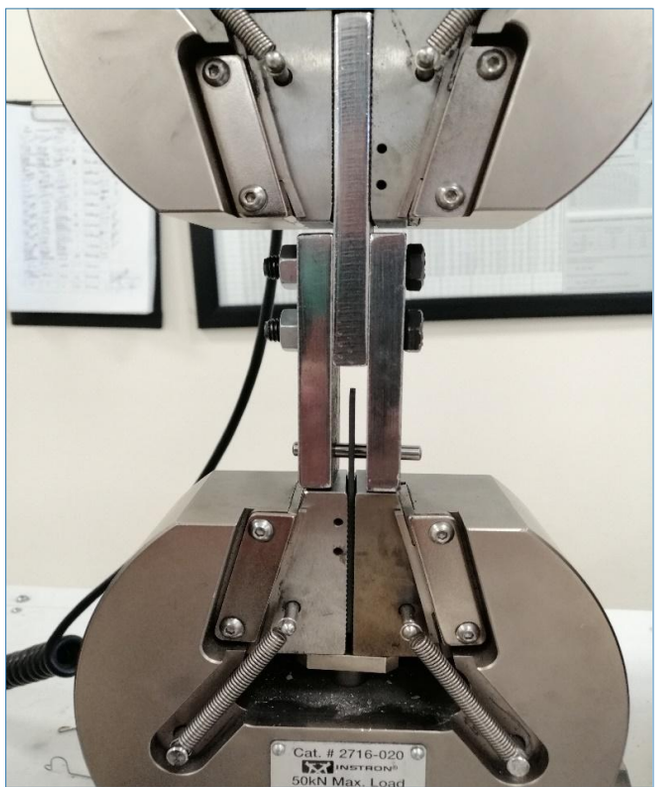
yapılırken, bir diğer önemli husus olan mekanik birleştirme de gözden kaçırılmamalıdır. Şekil 3'te mekanik bağlantı noktasından kırılmış bir protez ayak görülmektedir.

Hem konforlu ve hem de sağlam bir protez karbon ayak üretilmesi için birçok önemli unsurun dikkate alınması gerekmektedir. Karbon fiber kompozit parçaların (FEM) sonlu elemanlar metodu ile analizleri sırasında, olabilen en iyi katman sayısı ve en fazla enerji depolama yeteneği elde edebilmek amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar göstermiştir ki, en konforlu protez ayak enerji depolama kabiliyeti en yüksek protez kompozit ayak olmaktadır. Ancak, kullanıcının normal bir yürüyüş sırasında konforlu olarak kullandığı protez, zıplama gibi olası bir fazla yüklenme durumunda kırılabilmektedir. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurularak, hem hastayı çok konforlu hissettirecek enerji depolama kabiliyet yüksek, hem de hastanın olası bir fazla yüklenme durumunda kırılmayacak en fazla sağlamlıkta bir protez ayak üretilmesi amaçlanmıştır. Test numunelerinin hazırlanması için yapılan analiz çalışmalarında, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak en yakın katman açı dizilim değerleri hesaplanmış ve bu numuneler kontrollü bir şekilde üretilmiştir.

Üretilen numuneler ASTM D953[i] standartlarına göre su jeti kullanarak kesilmiştir. Üretilen bu numuneler Şekil 4'te görülmektedir.

Standartlara uygun olarak üretimi yapılan bu numunelerin, kullanım amacına uygun olarak test edilebilmesi için ayrıca bir test aparatı tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen bu aparat Şekil 5'de görülmektedir.

Şekil 4. ASTM D953'e Göre Standart Test Numuneleri



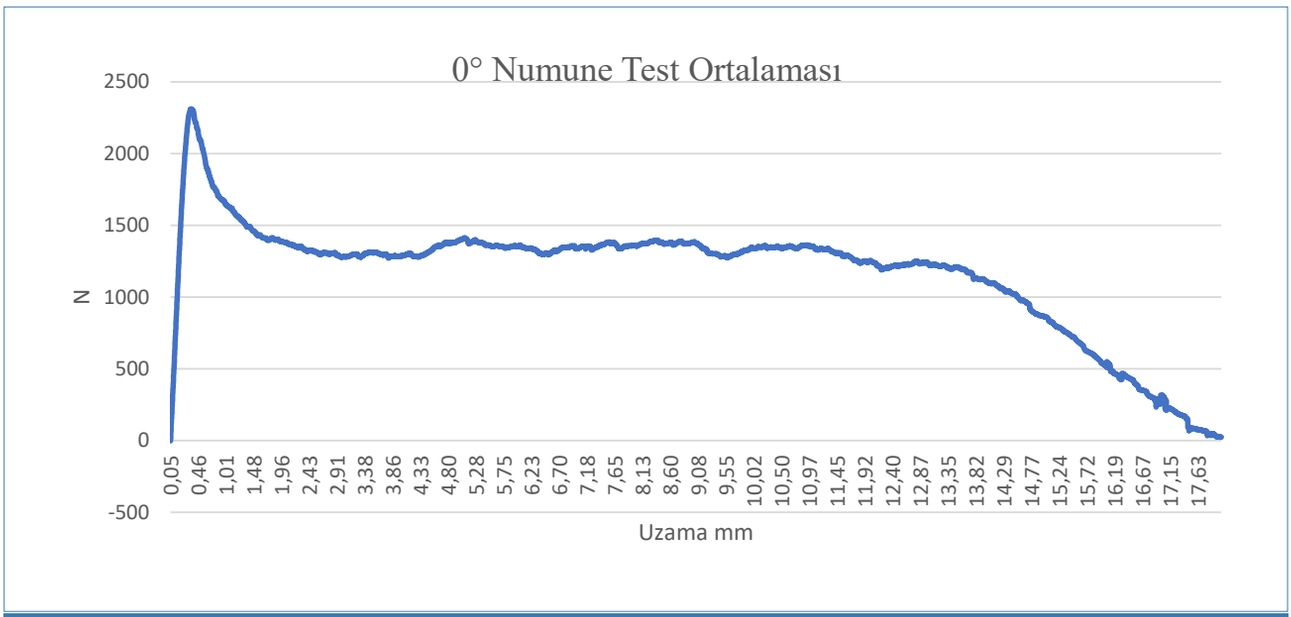
Şekil 5. ASTM D953'e Uygun Olarak Üretilmiş olan Test Aparatı

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Toplamda 96 adet numune üretilmiş olup herbir numune kendi grubundaki 12 adet numune ile test edilmiştir. Çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1 0° Derece Numune Grubu

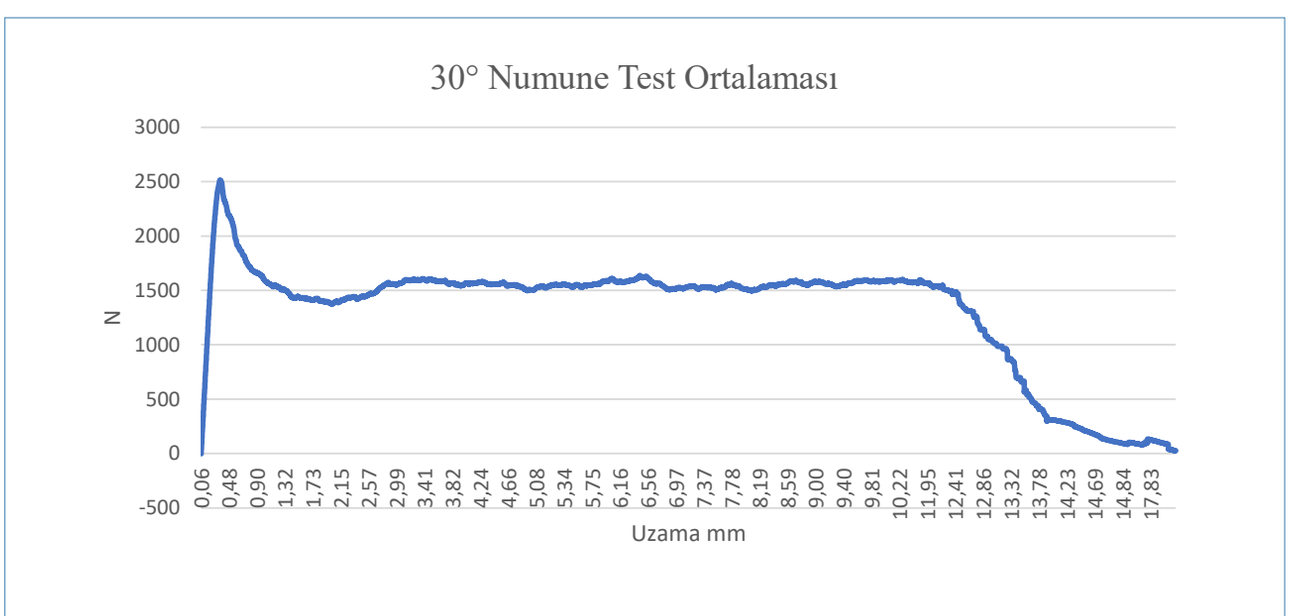
Bu değerlere ait olan kuvvet-uzama grafiği, Şekil 6'da görülmektedir. Numunede, serim açıları yayılımları iki adet çekme yönünde olan kumaş uzantısı, 2adet çekme yönüne paralel bir şekilde serim yapılmış kumaş açısı ve dört adet her iki yöne de eşit açı farkları ile serim işlemi yapılmış kumaşlar sayesinde ortalama olarak 2334 N bir değerde çekme kuvvetine ulaşılmıştır. Uzama grafiğinde ise, ortalama olarak 1380 N kuvvet değerinde bir seyir ve 18 mm değerinde tamamen kopma gözlemlenmektedir. Kopma uzamasındaki sabit 1380 N kuvvet durumu yaklaşık olarak 12,7 mm sürmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi, laminat plakanın kopma eğilimi 7,4 mm de düşük bir ivme ile gerçekleşmiştir.



Şekil 6. 0° Test Numuneleri Ortalama Kuvvet-Uzama Grafiği

4.2 30° Numune Grubu

Bu numunelere ait olan kuvvet-uzama grafiği Şekil 7'de görülmektedir. Numunelerdeki serim açıları yayılımlarının hiçbir numunede çekme yönünde olmayışı, test numunesinin çekme yönünde çizgisel uzamasını azaltmıştır. Ortalama çekme kuvveti 2512 N iken, tamamen kopma uzaması 19,2 mm dir. Ancak ortalama kopma uzamasındaki sabit 1518 N durumu yaklaşık olarak 10,8 mm sürmektedir. Bu durum karbon fiber dizilim açılarının tamamen kuvvet uygulama yönünde hiçbir dizilimin olmamasından kaynaklanmaktadır.



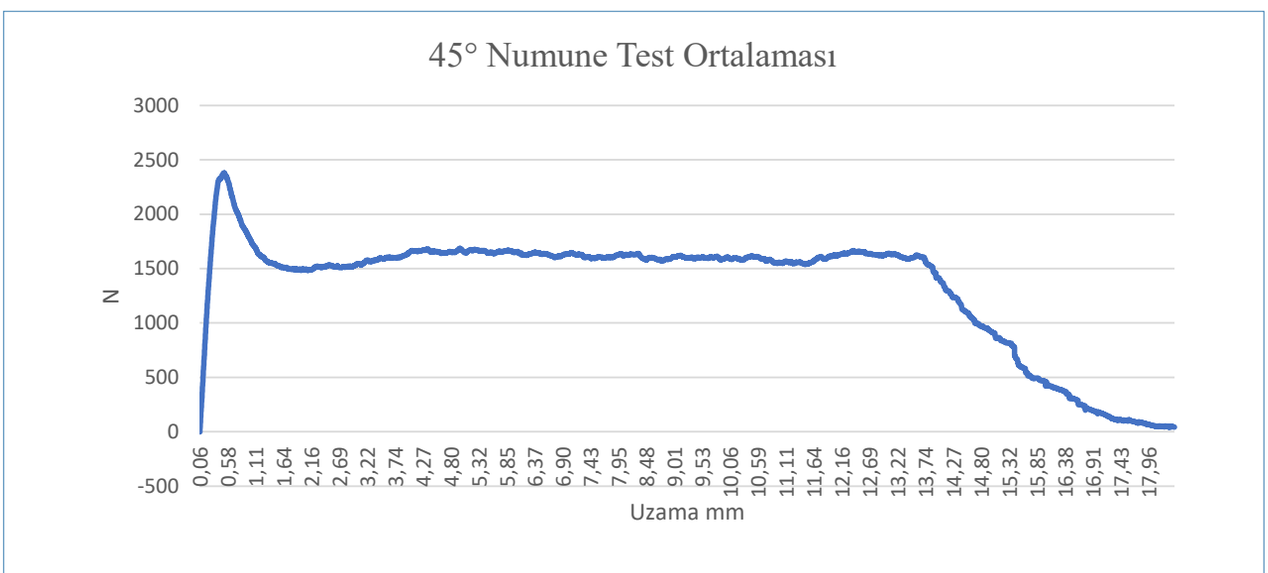
Şekil 7. 30° Test Numuneleri Ortalama Kuvvet-Uzama Grafiği

4.3 45° Numune Grubu

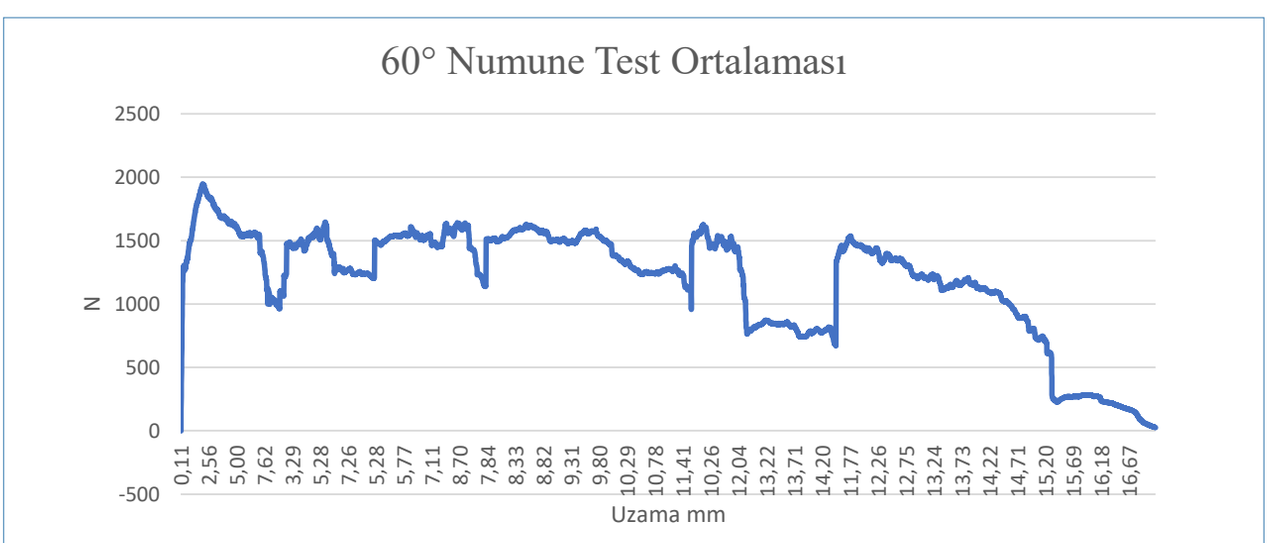
Bu numunelere ait olan kuvvet-uzama grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Numune serim açıları yayılımlarının hiçbir değerde çekme yönünde olmayışı, test numunesinin çekme yönünde çizgisel uzamasını azaltmıştır. Ortalama çekme kuvveti 2875 N iken, tamamen kopma uzaması 18,2 mm dir. Ancak ortalama kopma uzamasındaki sabit 1524 N kuvvet durumu yaklaşık olarak 11,3 mm sürmektedir. Bu durum, karbon fiber dizilim açılarının tamamen kuvvet uygulama yönünde hiçbir dizilimin olmamasından kaynaklanmaktadır. 45° grubu ve 30° grubu dizilim açılarının laminat özelliklerinde ve kuvvet uygulama yönünde göstermiş oldukları kuvvet dayanımı, kopma ivmesi hariç benzerlik göstermektedir. Kopma ivmesinde görünen farklılığın sebebi ise 30° grubu numunelerin serim yönleri, daha açık açılar ile çekme yönüne daha yakın olmalarından kaynaklanmaktadır. 45° grubunda görünen kopma ivmesinin daha küçük olması durumu ise, çekme yönünde olan karbon fiber serim açılarının daha açık olarak yerleşiminden dolayı kopmanın daha yavaş olmasınkan kaynaklanmaktadır.

4.4 60° Numune Grubu

Bu numunelere ait olan kuvvet-uzama grafiği Şekil 9'da gösterilmektedir. Numune serim açıları yayılımlarının hiçbir değerde çekme yönünde olmayışı, test numunesinin



Şekil 8. 45° Test Numuneleri Ortalama Kuvvet-Uzama Grafiği

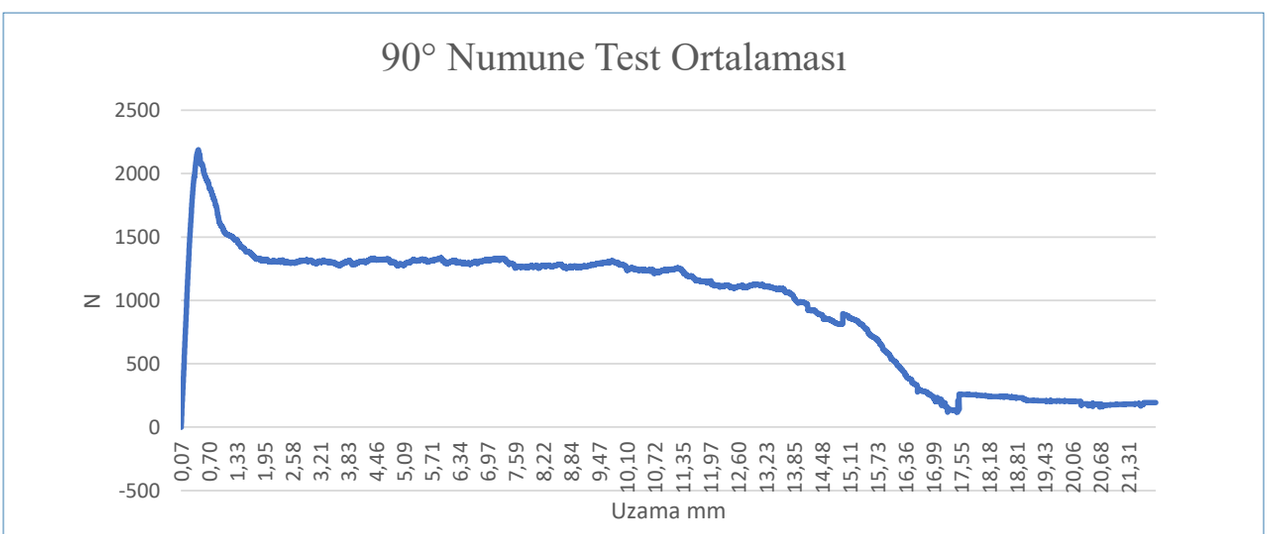


Şekil 9. 60° Test Numuneleri Ortalama Kuvvet-Uzama Grafiği

çekme yönünde çizgisel uzamasını azaltmıştır. Ortalama çekme kuvveti 1971 N iken, tamamen kopma uzaması 19,1 mm dir. Ancak ortalama kopma uzaması sırasında kuvvet sabit durum göstermemektedir. Bunun nedeni ise, laminatı oluşturan serim açılarının negatif yönde uygulanan kuvvete göre büyük açıklık göstermesidir. Bu açıklık, kuvvet yönünde oluşan uzamayı azaltmış ve kuvvet yönünde kapalı bir açı dağılımı sergilendiğinden, kuvvet yönünde oluşan çekme kuvvetinin artış göstermesini getirmiştir.

4.5 90° Numune Grubu

Bu numunelere ait olan kuvvet-uzama grafiği Şekil 10'da görülmektedir. Numunedeki serim açıları yayılımlarının iki değerde çekme yönünde olması, test numunesinin çekme yönünde çizgisel uzamasını arttırmıştır. Ortalama çekme kuvveti 2417 N iken, tamamen kopma uzaması 23,4 mm dir. Ancak ortalama kopma uzamasındaki sabit 1338 N kuvvet durumuyaklaşık olarak 9,27 mm sürmektedir. Bu durum karbon fiber dizilim açılarının laminat içerisinde iki adet dizilimin çekme yönünde olmasından kaynaklanmaktadır. 45° grubu, 30° grubu ve 90° grubu dizilim açılarının laminat özelliklerinde ve kuvvet uygulama yönünde göstermiş oldukları kuvvet dayanımı, kopma ivmesi hariç benzerlik göstermektedir. Bu numune tipinde kopma uzamasının en yüksek olması, bu laminat içerisindeki serim açılarının daha homojen ve polorize olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. 90° Test Numuneleri Ortalama Kuvvet-Uzama Grafiği

5. SONUÇLAR

Testleri gerçekleştirilen numune gruplarının her birinin farklı özelliklere sahip oldukları görülmektedir. 0° grubu, en fazla 2334N'luk bir kuvvete dayanmışken, yaklaşık 1380N'luk bir yüklemeye de 18 saniye boyunca dayanım göstermiştir ve bu durumda 12,7 mm uzamıştır. 30° grubu, en fazla 2512N'luk bir kuvvete dayanmışken, yaklaşık 1518N'luk bir yüklemeye de 19,2 saniye boyunca dayanım göstermiştir ve bu durumda 10,8 mm uzamıştır. 45° grubu, en fazla 2875N luk bir kuvvete dayanmışken, yaklaşık 1524N'luk bir yüklemeye de 18,2 saniye boyunca dayanım göstermiştir ve 11,3 mm uzamıştır. 60° grubu, en fazla 1971N'luk bir kuvvete dayanmışken, uzama sırasındaki dayanımı sabit kalmamıştır. Nedeni ise laminatı oluşturan serim açılarının negatif yönde uygulanan kuvvete göre büyük açıklık göstermesidir. 90° grubu, en fazla 2417N'luk bir kuvvete dayanmışken, yaklaşık 1338N'luk bir yüklemeye de 23,4 saniye boyunca dayanım göstermiştir ve 9,27 mm uzamıştır.

Bütün bu sonuçlar göz önünde bulundururlarak, karbon fiber kompozit protez ayak imalatında kullanılacak en iyi serim açı değerlerinin 90° grubundaki açı değerleri olduğuna karar verilmiştir. Oluşacak herhangi bir tam kırılmadan önce kompozit yapının daha uzun süre azlarak de olsa dayanımını sürdürmesi, bu süreçte kullanıcının kırılmayı farkederek tedbir alabilmesi ve düşmemesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

i https://www.astm.org/Standards/D943.htm, 1 Şubat 2019.