T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON ELYAF HASARLARININ ELEKTRİKSEL YÖNTEMLERLE TESPİTİ

EVREN ÇAĞLARER

DOKTORA TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi: PROF.DR. NİHAT AKKUŞ

EDİRNE 2012

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON ELYAF HASARLARININ ELEKTRİKSEL YÖNTEMLERLE TESPİTİ

Evren ÇAĞLARER

DOKTORA TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof.Dr. Nihat AKKUŞ

2012
EDİRNE

ÖZET

Karbon elyaf, çeliğe göre üç kat daha dayanıklı, beş kat daha hafif yapısının yanında, yüksek sıcaklık ve kimyasallara karşı gösterdiği direnç ile çağımızın en gelişmiş malzemelerindendir. Günümüzde uzay, havacılık, savunma ve silah sanayinin yanı sıra inşaat sektöründe de karbon elyaf kullanımı tercih edilmektedir.

Karbon elyafi kompozit malzeme üretiminde önemli bir yer tutar. Sürekli karbon elyafın kullanıldığı elyaf sarma yöntemi ile imalatta, Elyaf Sarma Teknolojisi (Filament Winding-FW) kullanılır. Bu yöntemde, sarım esnasında elyaf kırılmaları sıkça görülen bir sorundur.

Çalışmada, tork kontrollü bir ön gerilme sisteminden geçen karbon elyafın uğradığı hasar, DC direnç ölçümü yöntemiyle tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ön gerilme sisteminden geçen karbon elyaf numunelerinin, çekme mukavemetlerinin ölçülmesiyle de desteklenmiştir. Çalışmada alınan veriler, parametrik ve parametrik olmayan istatistiksel değerlendirmelerle de yorumlanmıştır.

Bu çalışmada tasarlanan sisteminde, pozisyon kadar sarım kuvveti de önemli olduğundan, tork kontrollü öngerilmeye sahip, DC direnç ölçüm yöntemiyle tahribatsız hasar analizi yapan, hasar yerini milimetrik olarak belirleyen ve sarımı izleme ekranına yansıtan cihaz üzerinde çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Elyaf, Elektriksel Direnç, DC Direnç Ölçümü, Tahribatsız Hasar Analizi, Tork Kontrol

ABSTRACT

Carbon fibre is one of the most developed malterials of today with the resistance it presents against high temperatures and chemicals besides the facts that it is three times stronger and five times lighter than steel. Utilization from carbon fibre is preferred in constructions sector besides space, aeronautics, defence and weapon industries today.

Carbon fibre takes an important place in composite material production. In manufactures with filament winding method where carbon fibres are always in use, Filament Winding (FW) technology is used. In this method, fibre breaking during winding process is a frequently experienced problem.

In this study, the loss of resistance that the carbon fiber is subjected to during passing through pre-tensioning system is designated by DC resistance measurement. The results obtained have also been supported by measurement of tensile strengths of carbon fiber samples passing through pre-tensioning system. Data obtained in this study are interpreted also with parametric and non-parametric statistical evaluations.

Since winding strength is as important as the position in the system designed in this study, a device which has a torque controlled pre-tensioning, performs non-destructive failure analysis via DC resistance measurement method, ascertains the location of failure millimetrically and monitorises the winding is considered.

Keywords: Carbon Fiber, Electrical Resistance, DC Resistance Measurement, Non-Destructive Failure Analysis, Torque Control

ÖNSÖZ

Karbon elyaf, yükte hafif ama pahada ağır malzemelerin üretiminde kullanılan geleneksel malzemelere büyük bir rakiptir. Türkiye bu teknolojiyi üretebilen ABD ve Japonya gibi ülkelerin ardından dünyada yedinci ülkedir. Ülkemizin bu önemli üretim kalemine sahip olması, havacılık, uzay, denizcilik, inşaat gibi sektörlerde de söz sahibi olabilmesi anlamını da taşımaktadır. Bu gün pek çok firma çelikten %50, alüminyumdan %30 hafif ancakçok sağlam yapıda olan karbon elyafın kompozitlerini üretebilmek için kendi tesislerini kurmaya başlamıştır.

Elbetteki böyle stratejik malzemelerin üretiminde hasar, istenmeyen bir parametredir. Bu çalışmada, sürekli elyaf hasarlarını, henüz sarım aşamasında, tahribatsız olarak tesbit eden bir cihaz tasarlanmıştır. Proje finansmanı, "109M413" proje numarasıyla, TÜBİAK 1001 kapsamında Prof.Dr. Nihat AKKUŞ yönetiminde gerçekleştirilmiştir.

Ülkemiz ve bilim dünyası açısından taşıdığı önem, üzerinde harcanan emek ve zamanın fazlalığıyla birleşince, geliştirdiğimiz cihaza **'UMUT'** adını verdik. "Bir umuttur yaşatır insanı" misali çalışmanın sunulacağı günü bekledik. Hayatımın belki de en verimli döneminde, çeşitli nedenlerle yedi yılda tamamlanan bu çalışmada; fikir sahipliği yapan akademik danışmanım Prof.Dr. Nihat AKKUŞ'a; projenin diğer fikir babası, teknik danışmanım, yıllar sonunda dostum, ağabeyim Teknik Öğretmen Cemal GİRGİN'e; çalışmanın gerçekleşmesinde tüm kurumsal alanlarını açan, emek ve mesailerini harcayan TEKO Ailesine; PLC konusundaki desteği için Hüseyin ACAR'a; çekme deneylerini gerçekleştirdiğimiz Marmara Üniversitesi, Tekstil Eğitimi, Fiziksel Testler Laboratuvarında çalışmamıza imkân veren Prof. Dr. Mehmet AKALIN'a; kendi çalışma alanlarıyla ilgili olsun olmasın, her sorumu cevaplayan tez izleme jüri üyelerim Doç.Dr. Yılmaz ÇAN ve Doç.Dr. Tahir ALTINBALIK'a; istatistiksel çalışmada SPSS değerlendirme yöntemini kullanarak tezin sonuç bölümünü anlamlandıran Barış POLAT'a; tezin planlama, deney ve yazım aşamalarında, son yıllarda yaşamımın her aşamasında beni yalnız bırakmayan sevgili kardeşim, meslektaşım Gülcan İNER'e; herşeyden önce, beni özgür düşünebilen, uygar, kendine güvenen bir birey olarak yetiştiren, tezin bittiğini göremeden hayata gözlerini yuman aydın insan canım babam

M.Cumhur ÇAĞLARER’e; yüksek adalet anlayışıyla bize haksızlıklarla savaşmayı ve sürekli mücadeleyi öğreten öğretmen annem T.Tülay ÇAĞLARER’e; manevi ve tıbbi şifa kaynağım sevgili ablam Dr. Devrim ÇAĞLARER AVCI’ya kifayetsiz olduğunu bilsem de yürekten teşekkür ederim.

Evren ÇAĞLARER

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
RESİM LİSTESİ ..... **x**

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
1.1 Giriş **1**
1.2 Çalışmanın Amacı **4**
1.3 Çalışmanın Önemi **5**
1.4 Çalışmanın Kapsamı **6**

BÖLÜM 2. KARBON ELYAF **7**
2.1 Karbon Elyaf **7**
2.1.1 Karbon Elyaf Türleri **14**
2.2 Kompozit Malzemeler **19**
2.2.1 Matris Malzeme **20**
2.2.2. Takviye Elemanları **20**
2.3. Takviye Elemanı Olarak Kullanılan Karbon Elyaf Formları **25**
2.3.1 Elyaf Sarma (Filament Winding) **25**
2.3.1.1 Islak Sarma **25**
2.3.1.2 Ön İşlemli (Prepreg) Sarma **26**
2.3.2 Elyaf Sarma Çeşitleri **27**
2.3.2.1 Çevresel Sarma **27**
2.3.2.2 Helisel Sarma **27**
2.3.2.3 Kutup Sarma **28**
2.4 Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitler Ve Kullanım Alanları **29**

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **33**
3.1 Deney Düzeneğinin Tasarımı ve İmalatı **33**
3.2 Deney Sistemi ve Sistem Elemanları **34**
3.3 Deneylerin Yapılması **40**
3.4 Deneylerde Elde Edilen Sonuçlar **43**
3.4.1 D (178,9 mm) Çaplı Makaraya Ait Sonuçlar **43**
3.4.1.1 D121-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **43**
3.4.1.2 D121-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **45**
3.4.1.3 D122-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **47**
3.4.1.4 D122-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **49**
3.4.1.5 D212-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **51**
3.4.1.6 D212-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **53**
3.4.1.7 D211-500 ve D211-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **55**
3.4.2 d (32.2 mm) Çaplı Makaraya Ait Sonuçlar **56**
3.4.2.1 d121-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler **56**

3.4.2.2 d121-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler 58
3.4.2.3 d122-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler 60
3.4.2.4 d122-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler 62
3.4.2.5 d211-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler 65
3.4.2.6 d211-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler 67
3.4.2.7 d212-500 ve d212-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler 69
3.5 Çekme Deneyi 70

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 77
4.1 Karbon Elyaf Hasarlarının Belirlenmesinde DC Direnç Ölçümü Sonuçları 77
4.2 Karbon Elyaf Hasarlarının Belirlenmesinde, Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi Ve DC Direnç Ölçümü Sonuçlarının Değerlendirilmesi 85
4.3 Karbon elyaf Hasarlarının Belirlenmesinde DC Direnç Ölçümü Sonuçları İle Çekme Deneyi Sonuçlarının İstatistiksel Değerlendirilmesi 88
4.3.1 D212-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları 91
4.3.2 D212-1000 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları 92
4.3.3 d121-1000 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları 92
4.3.4 d122-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları 93
4.3.5 d122-1000 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları 93
4.3.6 d211-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları 94

5. SONUÇ VE TARTIŞMA 97

KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ 101

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Grafit Atomunun Yapısı 8
Şekil 2.2 PAN Esaslı Karbon Elyafın Üretimi 9
Şekil 2.3 PAN Precursor Karbon Elyafların İşlem Basamağı 10
Şekil 2.4 Karbon Elyafların Temel Yapısal Özellikleri 11
Şekil 2.5 Çekme Dayanımı ve Elastik Modülü Üzerine Sıcaklığın Etkisi 12
Şekil 2.6 Aramidin Kimyasal Yapısı 16
Şekil 2.7 Malzemelerin Mukavemet-Uzama Değerleri 18
Şekil 2.8 Takviye Türlerine Göre Kompozitler 21
Şekil 2.9 Karbon Kompozitlerin Sınıflandırılması 23
Şekil 2.10 Elyaf Islak Sarma Yöntemi 26
Şekil 2.11 Çevresel Sarma 27
Şekil 2.12 Helisel Sarma 28
Şekil 2.13 Kutup Sarma 28
Şekil 2.14 Tok Bir Epoksi Matriste Görülen, Grafit Elyaf Takviyeli Kompozitin Enine Kesiti 30
Şekil 2.15 Boeing 757-200 Uçağının Ana Yapısında Kullanılan Karbon Kompozit Bölümlerin Listesi 31
Şekil 3.1 Deney Düzeneği 35
Şekil 3.2 Karbon Elyaf PLC Programı Akış Diyagramı 36
Şekil 3.3 Makaralar Arası Uzaklık Ayarları 42
Şekil 3.4 D121 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 43
Şekil 3.5 D121-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 44
Şekil 3.6 D121-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 45
Şekil 3.7 D121-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 46
Şekil 3.8 D121-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 46
Şekil 3.9 D122 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 47
Şekil 3.10 D122-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 48
Şekil 3.11 D122-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 49
Şekil 3.12 D122-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 50
Şekil 3.13 D122-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 50
Şekil 3.14 D212 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 51
Şekil 3.15 D212-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 52
Şekil 3.16 D212-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 53
Şekil 3.17 D212-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 54
Şekil 3.18 D212-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 54
Şekil 3.19 D211 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 55
Şekil 3.20 d121 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 56
Şekil 3.21 d121-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 57
Şekil 3.22 d121-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 58
Şekil 3.23 d121-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 59
Şekil 3.24 d121-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 59
Şekil 3.25 d122 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 60
Şekil 3.26 d122-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 61
Şekil 3.27 d122-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 62
Şekil 3.28 d122-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 63
Şekil 3.29 d122-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 64

Şekil 3.30 d211 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 65
Şekil 3.31 d211-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu ... 66
Şekil 3.32 d211-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 66
Şekil 3.33 d211-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu 67
Şekil 3.34 d211-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti 68
Şekil 3.35 d212 Koşulu İçin Düzenek Görünümü 69
Şekil 4.1 D Makaralarında 1000 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi 77
Şekil 4.2 D Makaralarında 500 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi 78
Şekil 4.3 Tüm D Makaralarında Direnç Değişimi 78
Şekil 4.4 d Makaralarında 1000 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi 79
Şekil 4.5 d Makaralarında 500 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi 80
Şekil 4.6 Tüm d Makaralarında Direnç Değişimi 80
Şekil 4.7 Tüm Koşullarda İzlenen Direnç Değişimlerinin Karşılaştırılması 81
Şekil 4.8 Üretilen Sistemde, Karbon Elyafın En Az Hasara Uğradığı İki Koşul 82
Şekil 4.9 Hasar Anının Ani Direnç Değişimine Bağlı Olarak Gözlenmesi 83

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 İlgili Yayınlarda Araştırılan Malzemeler ve Hasar Ölçüm Yöntemleri.....2
Tablo 2.1 Karbon Elyaf ve Çeliğin Mekanik Değerlerin Karşılaştırılması.....7
Tablo 2.2 Karbon Elyafı Sınıfları.....9
Tablo 2.3 Deneylerde Kullanılan Karbon Elyafın Özellikleri.....15
Tablo 2.4 Aramid Yapı Özellikleri.....17
Tablo 2.5 Matris Takviye Elemanı ve Kompozit Malzeme Yapı Tipleri 19
Tablo 2.6 Kompozitlerde Kullanılan Bazı Seramik Elyafların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....24
Tablo 2.7 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları.....32
Tablo 3.1 Deneylerde Uygulanan Sarım Koşulları 40
Tablo 3.2 D121-1000 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı.....44
Tablo 3.3 D121-500 için PLC'de Okunan Durum Kartı.....45
Tablo 3.4 D122-500 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı.....48
Tablo 3.5 D122-1000 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı.....49
Tablo 3.6 D212-500 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı.....52
Tablo 3.7 D212-1000 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı.....53
Tablo 3.8 d121-1000 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı.....57
Tablo 3.9 d121- 500 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı.....58
Tablo 3.10 d122- 1000 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı.....61
Tablo 3.11 d122- 500 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı.....63
Tablo 3.12 T700SC-12000 Karbon Elyafın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 73
Tablo 3.13 D Makarasına Ait Ölçülen Ve Hesaplanan Değerler Tablosu 74
Tablo 3.14 d Makarasına Ait Ölçülen ve Hesaplanan Değerler Tablosu.....75
Tablo 4.1 İzleme Ekranından Okunan Direnç, Çekme Kuvveti Ve Mesafe Değerleri 82
Tablo 4.2 Kırılma Anındaki Ani Direnç Değişimi Ve Hasar Yerinin Milimetrik Olarak Belirlenmesi 84
Tablo 4.3 D Makaraları İçin Direnç Ve Çekme Sonuçları.....85
Tablo 4.4 d Makaraları İçin Direnç Ve Çekme Sonuçları.....86
Tablo 4.5 Tüm Poziyonlarda Makara Çapı, Makaralar Arası Mesafe, Makaralar Arası Açı, Direnç Ve Çekme Değerleri.....87
Tablo 4.6 Büyük Çapli Makaralardan Alınan Direnç Değeri İle Küçük Çaplı Makaralardan Alınan Direnç Değeri İçin Hazırlanan Kontenjans Tablosu.....89
Tablo 4.7 Ki-Kare Tablosu.....89
Tablo 4.8 D212-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Tablosu 91
Tablo 4.9 Korelasyon Değerlendirme Tablosu 91
Tablo 4.10 D212-1000 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu.....92
Tablo 4.11 d121-500 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu 92
Tablo 4.12 d122-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Tablosu 93
Tablo 4.13 d122-1000 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu 93
Tablo 4.14 d211-500 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu 94
Tablo 4.15 Pozisyoların Korelasyon İlişkisi 95
Tablo 4.16 Korelasyon İlişki Tablosu 95

RESİM LİSTESİ

Resim 3.1 Deney Düzeneği 37
Resim 3.2 PLC Kontrol Paneli 38
Resim 3.3 a,b,c,d,e,f Deney Düzeneğinde Kullanılan Makaralar 41
Resim 3.4 Deney Düzeneği 42
Resim 3.5 Instron 4411 Test Cihazı 71
Resim 3.6 Çekme Numuneleri 71
Resim 3.7 Çekme Çenelerine Numune Bağlanışı 72
Resim 3.8 Çekme Cihazının Kontrol Paneli 73
Resim 3.9 a ve b Çekme Deneyi Esnasında Hasara Uğrayan Elyaf Numuneleri 76

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Giriş

Karbon elyaf, çeliğe göre üç kat daha dayanıklı, beş kat daha hafif yapısının yanında, yüksek sıcaklık ve kimyasallara karşı gösterdiği direnç ile geleneksel malzemelerin yerini hızla almaktadır. İlk defa karbon, elektriksel iletkenliğinden yararlanmak amacıyla yüksek ısıl işlem uygulanarak üretilmiştir. Özellikle epoksi matrislerle birleştirildiği zaman olağanüstü dayanıklılık gösterirler. Karbon elyaftan üretilen kompozitler uzay, havacılık, savunma, silah ve inşaat gibi stratejik önem arz eden alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Üretimine yakın zamanda başlanan, Japonya ve ABD'gibi ülkelerden sonra dünyada yedinci karbon elyaf üreticisi olma ünvanını elinde tutan Türkiye, karbon elyafın teknolojik üretiminde ve ileri işleme teknolojilerinde araştırmalara ve yeniliklere açıktır. Karbon elyafta hasar en çok üretim ve sarım aşamalarında oluşur. Islak ve kuru üretimi yapılabilen, birden fazla yuvarlamalı kasnak üzerinden geçen elyaf bu işlem süresince kırılır. Bir sonraki önemli kırılma bölgesi, üretilen elyafın malzeme üzerine sarılırken ön gerilmem sisteminde meydana gelmektedir. Oluşan hasarlar ürün hasarı demektir. Kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında, oluşan hasarın önemi artar. Özellikle basınçlı kaplar ve silindirik yüzeylerde, güçlü ve zayıf mukavemete sahip bölgeler, üretilen parçanın güvenilirliğini belirler. Bu yüzden parçanın hasarını üretimden önce belirlemek önemlidir. Teknolojik üretimde en düşük hasara sahip malzemeyi üretmek, hatayı yerinde ve zamanında tespit edebilmek bu çalışmanın konusunu oluşturur.

Literatürde taranan çalışmalar içinde **"ürünlerin"** hasar testlerinin yapıldığı görülmüştür. Çalışmada ise, ham elyaf test edilmiş, üründe sarım esnasında oluşabilecek hasarlar öngörülmüştür. Bunların içerisinde az sayıda elektriksel direnç ölçümü kullanılmış, onlar da bitmiş ürünlerin hasar analiz testlerinde kullanıldığı saptanmıştır (Tablo 1.1).

Bu yöntemde, Kupke, Schulte, Schüler çalışmasında kullanılan AC (Alternative Current- Alternatif Akım) akımla değil, DC (Direct Current- Doğru Akım) akımla ölçüm başarıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle AC yönteminde karşılaşılabilecek sinyal gürültüleri (parazit), faz kaymaları, harmonik gibi etkiler ortadan kaldırılmıştır. Sabit yükle ve sabit hızla ön gerilme sisteminden geçen elyafın, çeşitli koşullar altındaki kırılması sürekli gözlemlenip, kaydedilmiştir. Ölçülen hasarlar, hem çekme deneyi yapılarak hem de istatistiksel değerlendirmelerle doğrulanmıştır.

Tablo 1.1 İlgili Yayınlarda Araştırılan Malzemeler ve Hasar Ölçüm Yöntemleri

Yazarlar	Yayın Adı	Yayın Yılı	Yayınlandığı Yer	Kullanılan Malzeme Türü			Ölçüm Türü		
				Compose (birleştirilmiş)	Composite (kompozit)	Raw material (Hammadde)	Mekanik	Elektriksel	Termal
M. KUPKE, K. SCHULTE, R.	Nondestructive Testing of FRP by DC and AC Electrical Methods	2001	Composite Science and Technology		CFRP ve GFRP		X	X	
SHOUKAI WANG, D.D.L. CHUNG, JAYCEE H. CHUNG	Self Sensing of Damage in Carbon Fiber Polimer Matrix Composite Cylinder by Electrical Resistance measurement	2006	Journal of Intelligent Material Systems and Structures		CFRP (silindir)			X	
ATSUSHI IWASAKİ,AKİRA TODOROKİ	Statistical Evaluation of Modified Electrical Resistance Change Method for Delamination of CFRP Plate	2005	Structural Health Monitoring		CFRP (lamina)			X	
Z.S.WU, C.Q. YANG, Y.H. TOBE,L.P. YE, T. HARADA	Electrical and Mechanical Characterization of Hybrid CFRP Sheets	2006	Journal of Composite Material		HCFRP (lamina)		X	X	
C.Q. YANG, Z.S. WU, L.P.YE	Self-diagnosis of Hybrid CFRP Rods and As- Strengthened concrete structures	2006	Journal of Intelligent Material Systems and Structures		HCFRP			X	
D.D.L. CHUNG, JAYCEE H. CHUNG	Impact Damage of Carbon Fiber Polymer Matrix Composites, Studied by Electrical Resistance Measurement Shoukai Wanga	2005	Composites Part A		CFRP (lamina)			X	
ALEXANDER KALMKAROVA,GOBİNDA SAHAA, SRUJAN ROKKAMA, JOHN NEWHOOK ,ANASTASİA GEORGİADESA	Strain and Deformation Monitoring in Infrastructure Using Embedded Smart FRP Reinforcements	2005	Composites Part B		GFRP			X	
C.L. GARDNER,Y.F.C. POİSSANT	Measurement of Shielding Properties of Composite Materials: Comparison of the Dual TEM and Noncontact probe methods	1998	IEEE Transactions onElectromagnetic Compatibility, Vol.40,no,4	polimer ve grafit				X	

Kupke, Schulte, Schüler, AC ve DC elektriksel akımlar kullanarak, cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli plastiklerin hasar mekanizmalarını statik ve dinamik yükleme koşullarında elektriksel yöntemlerle izlenmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir (Kupke M., Schulte K., Schüler R., 2001).

Chung ve Chung, incelenen çalışmalarının her ikisinde de karbon elyaf takviyeli plastik kompozitler üzerinde çalışmışlardır. İlkinde sürekli elyaf epoksi matrisli kompozit levhaların damla darbe hasarı elektriksel direnç ölçümüyle çalışılmış ve bunun ultrasonik metottan çok daha hassas olduğu görülmüştür (Chung D.D.L., Chung J. H., 2005).

İncelenen ikinci makalede, sürekli karbon elyaf takviyeli plastik kompozit silindirin hasar miktarının tayini incelenmiştir. Silindirin yüzeyine ve içine, eksenel ve ya dairesel kontaklar kullanılarak eksenel, radyal, eğik ve dairesel dirençler ölçülmüştür (Wang S., Chung D. D. L., Chung J H., 2006).

Iwasaki ve Todoroki, CFRP katmanlı tabakalarının modifiye edilmiş elektriksel direnç metodunun istatistiksel hesabı ile izlenmesi konusunda çalışmışlardır. Tabakalar arasında strengeçler yerleştirilmiş ve cevap veren yüzeylerde direnç değişimi ölçülerek tabakalar arası çatlağın yeri ve büyüklüğü tayin edilmiştir. Cevap veren yüzeyler kullanılarak gerçekleşen tanımlamalar sonucunda istatistiksel analizler yapılmış ve metot başarısını kanıtlamıştır (Iwasaki A., Todoroki A., 2005).

Wu, Yang, Tobe, Ye, ve Harada, hibrit CFRP levhaların elektriksel ve mekanik karakteristiğini araştırmışlar, farklı gerilme ve young modülüne sahip çeşitli karbon fiberlerden meydana gelmiş dört tane elektriksel ve mekanik model oluşturmuşlardır. Sonra, bazı temel çeşitleri içeren karbon fiber lif tipleri ve onların birim kesitleriyle deneysel bir program uygulanmıştır. Farklı tip ve birim kesitteki karbon fiberlere sahip HCFRP'lerin (Hybrid Carbon fiber Reinforced Plastics) fonksiyonlarını sağlıklı bir şekilde izlemek ve mekanik özelliklerini araştırmak için altı tip numune üretilmiştir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki; HCFRP levhaların mekanik özelliklerini arttırmak için etkili bir metot farklı tip karbon fiberlerin hibritleştirilmesidir (Wu Z. S., Yang C. Q., Tobe Y. H. , Ye L. P., Harada T., 2006).

Yang, Wu ve Ye'nin yaptıkları bir başka çalışmada ise, yine CFRP kompozitlerin analizi ve hibritleşmesi üzerine yapılmış ve güçlendirilmiş betonarme kirişlerde analiz edilmiştir. Gerilimin değişimine bağı olarak, elektriksel dirençteki değişim ve ani elektriksel direnç atlamaları karbon fiberlerin çeşitli tip ve derecede kırılmaları üzerine kurulmuştur. Analizin ilkeleri; gerilimin değişimine bağlı olarak elektriksel dirençteki değişim ve ani elektriksel direnç atlamaları karbon fiberlerin çeşitli tip ve derecede kırılmaları üzerine kurulmuştur. Sonuçlar gösteriyor ki; HCFRP

çubuklarının gerilimle birlikte elektriksel direnç değişimi çok yavaş gelişen bir davranıştır. Çeşitli ve farklı gerilmelerin şiddeti altında, elektriksel dirençteki ani atlamalar karbon liflerin farklı tipteki kopmasıyla ilişkilidir. HCFRP çubuk ile güçlendirilmiş kompozit kirişlerde çatlakların başlangıcında ve ilerlemesinde dağılmış fiber optik sensörler (FOS) ve penset vasıtasıyla ölçüm yapılmıştır (Yang C. Q.,. Wu Z. S, Ye L. P., 2006)

Kalamkarov, Saha, Rokam, Newhook ve Georgiades iki betonarme kirişi akıllı cam elyaf takviyeli plastikleri inşaat demiri gibi kullanarak güçlendirerek birleştirmiştir. Cam elyaf takviyeli plastiklerle takviye edilmiş inşaat demirleri pulturision yöntemi kullanarak üretilir ve içine Fary Perot gömülmüş fiber optik sensörlerin (FP-FOS) kompozitleriyle, fiber optik kablolarla başarıyla birleştirerek kaplanır. Kirişler, statik ve tekrar yüklemelerde hasara maruz bırakılır. Gerilme durumunda ve yükleme boyunca kirişlerin eğimini EGS ve LVDT'ler yanı sıra gömülü sensörler sayesinde izlenmiştir (EGS- elektriksel straingage). Gerilim değerinin doğruluğu, FP-FOS değeriyle EGS den okunan değerlerin karşılaştırılmasıyla anlaşılır. Deneyler sonucunda; GFRP inşaat demirleri diğer çelik tamamlayıcılarıyla betonarmede başarıyla kullanılabilmiştir (Kalamkarova A., Sahaa G., Rokkama S., Newhookb J., Georgiadesa A., 2005).

1.2 Çalışmanın Amacı

Karbon elyaf, geleneksel olmayan bir malzeme olduğundan üretim yöntemleri ve işleme teknolojileri bakımından farklılık gösterir. Genellikle epoksi reçineli olarak üretilen kompozitleriyle kullanılırlar. Karbon elyaf takviyeli plastik kompozitlerin analizinde, farklı yöntemler kullanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Elektriksel direnç ölçümü metoduyla yapılan analizlerde, doğru akım kullanılıyorsa, karbon elyaf iletkenliği nedeniyle direnç olarak kullanılır. Ani direnç değişimi elyafın hasarını gösterir. Alternatif akım kullanılarak yapılan ölçümlerde ise karbon elyafların bağlantı noktaları direnç görevindeyken, lifler arası boşluklar kapasitans görevindedir.

Çalışmaya en yakın olan bildiri, Küpke M. ve arkadaşları tarafından hazırlanmış olan fiber takviyeli kompozit plastiklerin AC ve DC akımlarıyla testini anlatan

çalışmadır (Kupke M., Schulte K., Schüler R., 2001). Ancak bu çalışmada da karbon elyafın testi değil, ürün testi anlatılmaktadır.

Yapılan çalışmada doğru akımla (DC) direnç ölçümü kullanılmıştır. Böylelikle alternatif akımda (AC) karşılaşılabilecek, parazit (sinyal gürültüleri), faz kaymaları, harmonik etkiler ve buna benzer dezavantajlar bertaraf edilmiş olur. Bu çalışmada, karbon elyaf hasarlarında oluşan direnç değişimi izlenmiştir. Sabit yükle ve sabit hızla ön gerilme sisteminden geçen elyafın, çeşitli koşullar altındaki kırılması sürekli gözlemlenip, kaydedilmiştir. Kompozit içinde ya da dışındaki elyafın kırılması direnci arttırır. Bu çalışmada, ön gerilme sisteminden geçen elyafın kırılma yeri de tespit edilebilmektedir.

1.3 Çalışmanın Önemi

Hasar analizinde, tahribatsız muayeneler için farklı teknikler kullanılmıştır. Metallere göre çok yeni malzemeler olan elyaf takviyeli kompozitlerde bozulma mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir. Anizotropik yapıları sayesinde uygulamanın ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde adapte edilmeleri mümkündür. Elyaf üretim teknolojileri geliştikçe elyaf takviyeli kompozitlerin üretim teknolojiler de değişmektedir. Geleneksel olmayan bu üretim yöntemlerinin hasar tespiti de teknoloji gerektirir.

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin yorulma hasarlarının metallerden üstün olduğu bilinmektedir. Ancak karbon elyaf takviyeli plastiklerin(CFRP) en yaygın problemi de ani hasara uğramasıdır. Bu sebepten, karbon elyaf hasarlarıyla ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, aşınma ve deformasyonu gözlemek üzere yapılmıştır. Statik ve dinamik yüklemeler altında, özellikle de burulma ve burkulma konularında çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada, sadece ham karbon elyafın hasarı ölçülmekle kalmamış, yapılan ölçüm, doğru akımla elektriksel direnç ölçümü yöntemiyle hasarsız olarak yapılmıştır.

Bu tür çalışmaların yapılması, dünya literatürü dışında, karbon elyaf üretim teknolojisine sahip bir ülke olarak Türkiye'de teknolojinin gelişimi açısından önemli ve gereklidir.

1.4 Çalışmanın Kapsamı

DC direnç ölçümü yöntemiyle yaptığımız çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın amacı ve önemi açıklanmış, yapılan diğer çalışmalar konusunda bilgi verilmiştir. Yapılan çalışmaların bize verdikleriyle, çalışmanın önemi daha da belirgin hale gelmektedir.

İkinci bölümde, karbon elyaflar ve onların kompozitleri ile üretim yöntemlerinin yanı sıra, elyaf sarma teknolojisi, karbon elyaf kompozitlerin kullanım alanlarına da değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, hazırlanan deney düzeneği, tasarlanan deney koşulları, sistemde kullanılan elemanlar tanıtılmıştır. Bu pozisyonlardan elde edilen karbon elyaf numuneleri, çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar da bu bölümde yer almıştır. Dördüncü bölümde, araştırma bulguları, DC direnç ölçümü ile çekme deneyi sonuçları karşılaştırılarak, sistemin parametrik ve parametrik olmayan istatistiksel değerlendirilmesi yapılmıştır.

Beşinci bölümünde ise, tasarlanıp uygulanan sistemin veriler ışığında sonucu değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

KARBON ELYAF

2.1 Karbon Elyaf

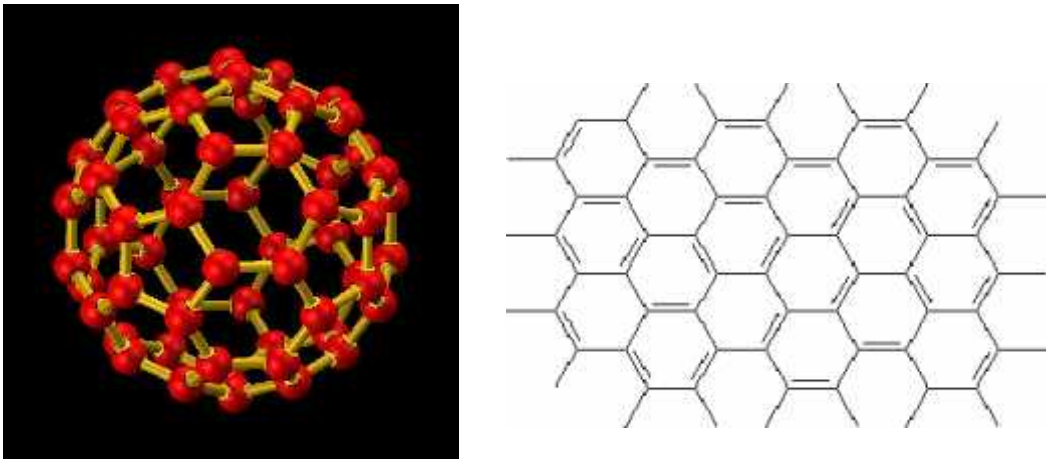
Rayon, poliakrilonitril (PAN), zift (pitch), gibi organik liflerin inert bir ortamda pirolize edilmesi ile elde edilen takviye lifleridir.

Tablo 2.1 Karbon Elyaf ve Çeliğin Mekanik Değerlerin Karşılaştırılması

Malzeme	**Çekme Mukavemeti (GPa)**	**Elastiklik Modülü (GPa)**	**Yoğunluk (g/cm^3)**	**Özgül Mukavemet (GPa)**
Standart Modüllü Elyaf	3,50	230,0	1,75	2,00
Çelik	1,30	210,0	7,87	0,17

Karbon lifler genellikle poliakrilonitril'in (PAN), 1000–1500°C'da karbonlaştırılması (havasız ortamda ısıtılması) ile üretilir. Karbon liflerin uygulamadaki avantajları; boyutsal açıdan kararlılıklarının, kimyasal inertlikleri nedeniyle neme ve elektriksel/ısısal iletkenliklerinin yüksek oluşudur. Karbon liflerin kullanıcı açısından en önemli dezavantajı ise siyah renginden dolayı kompozit renginin istenilen şekilde korunamamasıdır.

Grafit, karbon atomlarının hegzogonal düzlem katmanında ABABAB sırasıyla düzenli olarak dizilmesiyle oluşur. Tabakalar içindeki atomlar arasında kuvvetli kovalent bağlar mevcut iken, katmanlar arasında çok zayıf bağlar meydana gelir. Grafit düzlem tabakasında, karbon atomlarının moleküler düzeni örümcek ağı oluşturması ile bağlayıcı özelliklere sahip olur. Şekil 2.1'de hegzagonal grafit yapısı gösterilmiştir (ŞAHİN Y., 2006).



Şekil 2.1 Grafit Atomunun Yapısı

Karbon ve grafit elyaflar, organik maddelerden üretildikleri için "organik fiber" olarak da adlandırılırlar. Ham madde olarak poli-akro-nitril (PAN), Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) olarak kullanılır. Dolayısı ile üretildikleri maddelere göre isim alırlar. Günümüzde rayon, sadece çok düşük modüllü elyaflar için kullanılır. Precursor polimer ya ıslak ip şeklinde liflendirme ya da ergimiş liflendirilmiş halde ekstrüzyon işlemi ile elyaf (fiber) şekline dönüşür. PAN esaslı karbon elyaflar, %93-95 arasında karbon içerirken üretim işleminin farklı oluşu nedeniyle grafitlerde %99'un üzerindedir. Karbon elyafın gerçek özellikleri, üretim metoduna bağlıdır. Endüstriyel olarak karbon elyaf üretim metotları; termal oksidasyon ve organik precursor kullanılarak yapılan grafitleme işlemleridir (Şahin Y., 2006).

Bu işlemler üç aşamada gerçekleşir. Bunlar;

a. Havada düşük oksitleme sıcaklığı (200-400 ^{o}C),

b. Soygaz atmosferi altında karbonlama aşaması (1000-1500 ^{o}C),

c. Soygaz atmosferi altında grafitleme aşaması (2000-2500 ^{o}C).

Tablo 2.2 Karbon Elyafı Sınıfları (Grades)

Karbonizasyon Isısı (°C)	1000'e kadar	1000-1500	1500 -2000	(Grafit) 2000 +
Karbon Elyaf Sınıfı	Düşük Modülüs	Standart Modülüs	Orta Modülüs	Yüksek Modülüs
Elastikiyet Modülü (GPa)	200'e kadar	200 – 250	250 – 325	325 +

Daha yüksek elastik modülü veya kristalliği elde etmek için 2000 °C'nin üzerinde bazen 3000 ^{o}C'de son ısıl işlem uygulanır. PAN karbon esaslı elyafların fabrikasyonu şematik olarak Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Rayon precursor içinde benzer akış diyagramı çizilebilir fakat burada oksitlenme aşaması yaklaşık 400^{o}C sıcaklık altında yapılır (Şahin Y., 2006).



Şekil 2.2 PAN Esaslı Karbon Elyafın Üretimi (Şahin Y., 2006).

İlk basamakta elyaf oksijeni emerek kısalma önlenir ve polimer stabilize olarak çapraz bağ sağlanırken, ikinci aşamada ise elyaf, azot, hidrojen, CO molekülleri serbest kalarak atomlarından ayrılır, katranlar ve gazların uçması ile kütlenin yarısı kaybolarak filament kristalleri karbonlaşır. Son aşamada ise kristalimsi bölge 2000 °C'de büyür.

Elastik modülü;

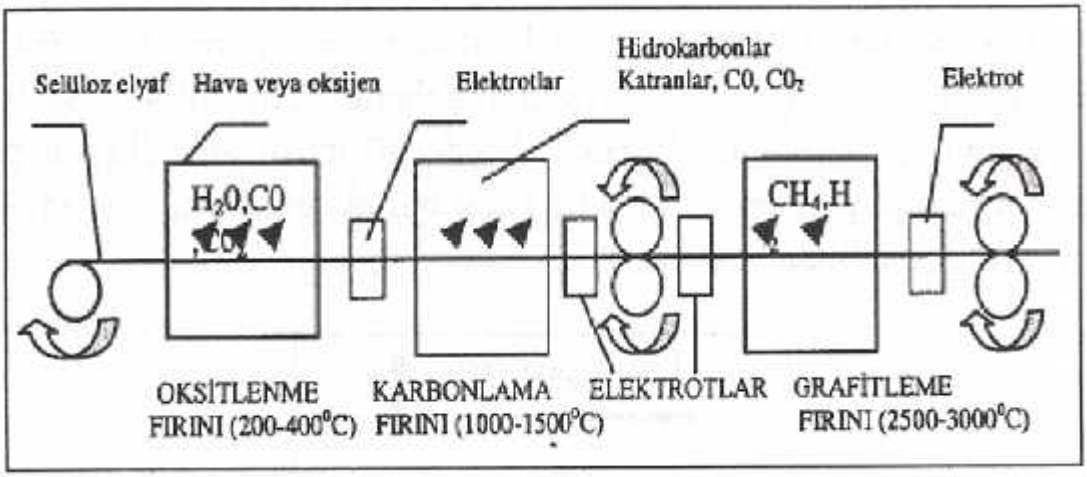
a. Son işlem sıcaklığı,

b. Precursor tipi,

c. Kristalin mükemmelliği,

d. Boyut etkisine bağlıdır.

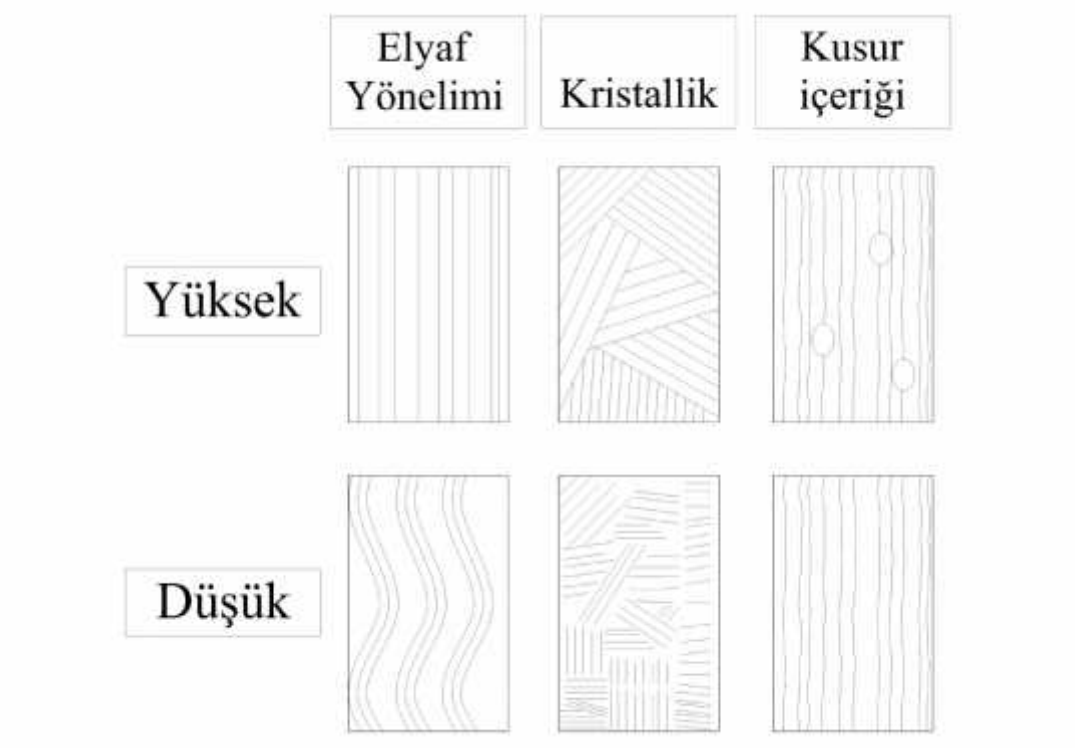
Genelde PAN precursor, daha basit termal çevriminin daha iyi kalite kontrolü ve bu nedenle de daha iyi özellikleri vermektedir. PAN ve Zift esaslı karbon elyafların işlem sırası Şekil 2.3'de verilmiştir. PAN işleminde karbonlama öncesi polimer zincirlerinin sıcak olarak çekilmesiyle oldukça yönlenmiş karbon halkalar sağlanırken Zift prosesinde mesafazın doğal bir sonucu olarak yüksek derecede yönlenme gerçekleşebilmektedir (Şahin Y., 2006).



Şekil 2. 3 PAN Precursor Karbon Elyafların İşlem Basamağı (Şahin, Y., 2006)

Karbon elyaflarda yönelim yüksek veya düşük olabilir. Katmanların elyaf eksenine paralel veya düz olup olmadığına göre değişir. Diğer önemli bir parametrede kristalliğidir. Mükemmel kristal bölgelerin lineer boyutları büyükse yapının yüksek dereceli kristalliğe sahip olduğu söylenebilir. Bu gibi bölgeler, mükemmel grafit kristaline benzer davranış sergileme eğilimindedir. Son olarak da özellikle elyaf

dayanımına bağlı olarak kusur ihtiva etmesi çok önemli özelliktir. Şekilde görüldüğü gibi, grafit katmanları mükemmel grafit kristali tabakalı düzlem yönü için elastik modulü 1020 GPa'dır. Tabakalar mükemmel değilse çapraz bağ mevcutsa bu değer 4.1 GPa'ya kadar düşebilmektedir (Şekil 2.4).



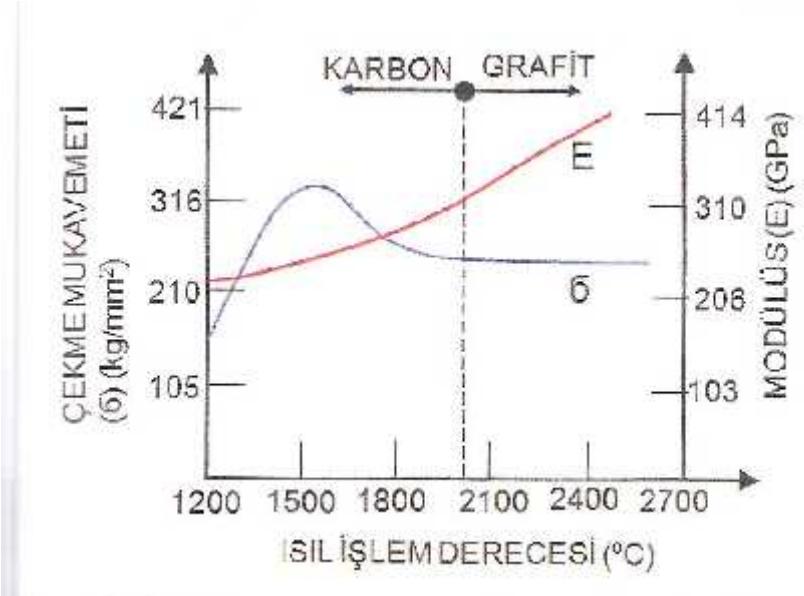
Şekil 2.4 Karbon Elyafların Temel Yapısal Özellikleri (Şahin, Y., 2006)
a) Elyaf Doğrultusu, b) Kristallik; c) Kusur İçeriği

Mesafazlı pitch precursor'dan oluşan elyaflarda ergitme ve iplik veya lif şeklindeki malzemelerinin aşağı doğru akmasıyla gerekli düzenleme sağlanır. Karbon elyaflar, ölçülen özelliklerinde hayli değişkenlik gösterirler. Örneğin, bir elyaf demetinin dayanımı 0.5 GPa'dan 4.3 GPa'ya, elastiklik modülü de 270-580 GPa arasında değişiklik gösterir. Keza ölçülmüş özellikler kullanılan ölçme uzunluğu ile değişmektedir. Küçük ölçme uzunlukları gözle görülebilir derecede daha iyi özellikler verir. Çünkü dayanım, yüzeydeki kusurların azalması ile azalır. Daha uzun ölçme uzunluğu ise daha yüksek olasılıklı yüzey kusurunun mevcut olduğunu ve bundan dolayı da erken kırılmaya yol açtığını gösterir (Şahin Y., 2006).

Kompozit malzemelerde karbon ve grafit elyaflar, çeşitli şekilde, örneğin, sürekli lifler ve demetler, kırpılmış elyaflar, örgü ve dokunmuş elyaflar, öğütülmüş elyaflar olarak kullanılmaktadır. Sürekli elyafların çapları, genellikle 8-10 µm ve iplik demeti şeklinde yaklaşık 12-120 000 sayıdan oluşabilmektedir. Örgü şeklindeki elyaflar karmaşık şekilli parçaların kalıplanarak üretilmesine daha uygundurlar. Şekil 2.5'de tipik bir grafitleme çevirimi ve sıcaklığın çekme dayanımı ve çekme modülü üzerine etkisi gösterilmiştir (Şahin Y., 2006).

Ticari olarak PAN karbon elyafın iki tipi mevcut olup bunlar yüksek elastik modüllü (Tip1), yüksek dayanım (Tip 2) olanıdır. En yüksek modül 2500-3000 °C'de üretilir. Ancak, dayanım ince yapı ve çatlakların dağılımı ile ilgilidir. Organik matrislerle en iyi yapışma sağlaması ve elyaf özelliklerini muhafaza etmesi için bir kaplama uygulanmalı veya bitmiş elyaf yüzeyi oksidasyon işlemine tabi tutulmalıdır. Yüksek sıcaklık matrislerinde kullanmak için elyaflar, metal veya seramik koruyucu filmleri ile de kaplanabilir. Ayrıca azot atmosferinde kararlı olmasına rağmen 400 ^{o}C üzerinde havada artan oranda oksitlenir.

Ancak uçak frenlerinde olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda 1000 ^{o}C'nin üzerinde karbon elyaflı karbon kompozitler dayanıklı olduklarından, karbon elyafların kullanımı hızla artmaktadır (Şahin Y., 2006).



Şekil 2.5 Çekme Dayanımı ve Elastik Modülü Üzerine Sıcaklığın Etkisi (Töre, C.,2011)

Yukarıda açıklandığı gibi karbon elyafın yapısal özellikleri şu faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bunlar;

a. Elyaf doğrultusu,

b. Kristalliği,

c. Kusurların etkisi olarak özetlenebilir.

Bunlardan;

a. Doğrultu iyileştiği zaman, boyuna çekme dayanımı ve modülü, elektrik ve ısıl iletkenliği, boyuna negatif ısıl genleşme katsayısı artarken enine çekme dayanımı ve modülü azalır.

b. Kristalliği iyileştiği zaman, ısıl ve elektrik iletkenliği boyuna negatif ısıl genleşme katsayısı ve oksidasyon direnci artar. Fakat boyuna çekme ve basma dayanımı, enine çekme dayanımı ve çekme modülü yanında boyuna kayma modülü de azalır.

c. Kristal hatası olmadığı zaman, çekme dayanımı, ısıl iletkenlik ve elektrik iletkenliği ve oksidasyon direnci artar.

Özet olarak; karbon elyafın yapısını kontrol etmek için; elyaf doğrultusu elyaf eksen doğrultusunda çekilerek iyileştirilir. Böylece, ısıl işlem esnasında kısalma olmaz. Precursör tipi de karbon elyaf doğrultusunu belirlemeye yardımcı olur. Isıl işlemle bu daha da iyileştirilebilir (Şahin Y., 2006).

Kristallik, precursörün kimyası ile zamanla büyük oranda belirlenir. Bu ısıl işlemle de son sıcaklığa da şiddetle bağlıdır.

Kusur içermesi, ham maddelerin saflığı ile ve elyaf ellenmesi, mekanik temas ile kontrol edilebilir.

Karbon elyafın önemli bir özelliği de Hook'un elastik davranışlarına uymayan özelliğidir. Tek bir elyaf veya düzenlenmiş kompozit çekildiğinde bunun modülü uzama miktarı ile artar. Ampirik ilişki aşağıdaki gibidir;

$E_s = E_0 (1+f_s)$ (2.1)

Bu eşitlikte,

Es: s uzamasındaki çekme modülü,

Eo: O uzama miktarındaki modülü ve

f: elyaf türüne göre belirlenen faktördür.

Bunun tipik değeri 15-30 arasında değişir ki bunun anlamı da; bir kompozitin rijitliği kırılma noktasına yaklaştığı zaman %20 kadar artabilir demektir. Kritik yapılar tasarlandığı zaman, verilen modülde ölçülen uzama miktarını bilmenin önemi açıktır (Şahin Y., 2006).

2.1.1 Karbon Elyaf Türleri

Bazen yanlış olarak grafit elyafı diye de adlandırılan karbon elyafı organik yapılı poliakrilonitril gibi liflerin özel koşullarda 1000 -3000°C'lerde pirolizi ile elde edilir. Yüksek sıcaklık süreçleri ile daha evsaflı karbon elyafı elde edilir (Yaşar, H., 2008).

Karbon elyafı da 1000 ila 12000 adet lifin bir araya getirilerek hazırlanan bükümler halinde kullanılmaktadır. Yapımcı firmalardan bazıları "Union Carbide" ve "Great Lakes Carbcon.corp." USA.'dir. Sadece İngiltere ve Japonya da üretilirken, artık Türkiye'de dahil olmak üzere dünyada 8 ülkede üretilmektedir.

Hafif, iletken, yüksek kopma ve esneme dayanımlı bir ürün olan karbon elyafı kimyasal bakımdan inerttir. Korozyon ve çevre koşullarına karşı direnci çok iyidir. Çekme dayanımı 316-457 kgf/mm^2 kadar olabilmektedir. Kullanılması daha çok birleşik malzeme yapımı şeklindedir. Deneylerde kullandığımız karbon elyafın özellikleri Tablo 2.3'de gösterilmiştir (Yaşar, H., 2008).

Tablo 2.3 Deneylerde Kullanılan Karbon Elyafın Özellikleri (Yaşar, H.,2001)

Ürün Kodu	Demetteki Lif Sayısı (Adet)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastiklik Modülü (Gpa)	Uzama (%)	Her Ünitedeki Ağırlık (g/1000m)	Yoğunluk (g/cm^3)
T700SC-1200	12000	4900	230	2,10	800	1,80
T700SC-2400	24000	4900	230	2,10	1600	1,80



Resim 2.1 Çalışmada Kullanılan Torayca T700SC-1200'e Ait Karbon Elyafın Etiketi

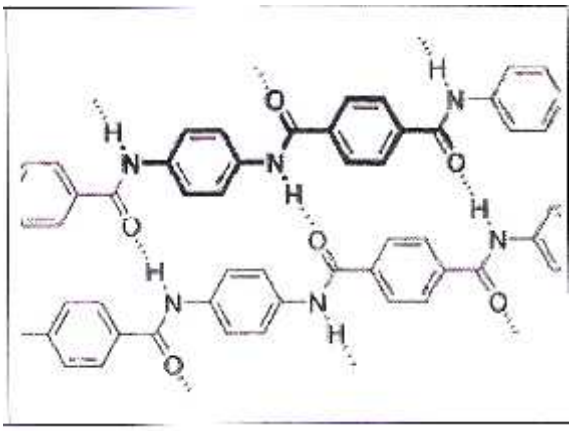


Resim 2.2 Çalışmada Kullanılan Torayca T700SC-1200 Karbon Elyaf

Deneyde kullanılan Torayca T700S karbon elyafı, yüksek mukavemet orta modülüs (HT) özellikli, bükümsüzdür. Filament sarım, basınçlı kaplar ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır.

a- Aramid Elyafı

İngilizce'de "aramid" olarak adlandırılır. 'ARomatic polyAMIDe' kelimelerinin kısaltılmasıyla oluşmuştur. Aramid organik maddedir ve poliamidden (naylon) türetilerek üretilir. Çok yüksek çekme dayanımı yanında; gerilme, titreşim, tahribat ve yorulma dayanımı bakımından rakipsizdir. Sertlik, hafiflik ve bütün bu özelliklerin, sonucu yüksek vasıflı birleşik malzemelerin yapımı Aramid elyafına başlı başına bir ufuk açmıştır. Tam yalıtkandır ve metal temasıyla galvanik çift oluşturmaz. Hybrid adı da verilen kombine elyaf Aramidin yalnız başına erişemediği yüksek niteliklere sahiptir.



Şekil 2.6 Aramidin Kimyasal Yapısı

Aramidler kimyasal adlandırma ile AABB aromatik poliamid olarak adlandırılırlar. AABB polimerleri;

- meta-aramidler ve
- para-aramidler

olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir.

Piyasada bilinen aramidler (örnek: Nomex, Kevlar, Twaron ve New Star), AABB kimyasal yapısındaki polimerlerdir.

Aramid yapı özellikleri Tablo 2.4'de genel olarak avantaj ve dezavantaj olarak gösterimi yapılmaktadır (Töre, C.,2011).

Tablo 2.4 Aramid Yapı Özellikleri

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
1. Aşınmaya karşı dirençlidir. 2. Organik solventlere karşı dirençlidir. 3. İletken değildir. 4. Erime derecesi yoktur. Malzeme 500^0C civarında bozulmaya başlar. 5. Kumaş özelliklerini yüksek derecelere kadar korur.	1. Düşük dereceli yanabilirlik özelliklidir. 2. Asit ve tuzlara karşı direnci zayıftır. 3. Ultraviyole ışınlarına karşı hassastır. 4. Satatik elektrik üzerinde birikebilir (yüzey koruması yapılmadığı durumda)

Para aramid yapılı malzemeler; Kevlar, Technora, Twaron ticari isimleriyle adlandırılır. Ticari marka "Kevlar" ismi para-aramid yerine çok yaygın olarak kullanıldığı için diğer ticari isimler yaygın olarak bilinmemektedir.

Kevlar

Ticari bir ürün olarak 1972'lerde piyasaya sürülen aramid elyafı Dupont/ABD firmasınca "Kevlar 29 ve Kevlar 49" türlerinde imal edilmektedir. Yapı itibariyle aromatik poliamidler sınıfına girerler. Organik fiber olarak yeteri kadar mukavemet ve modülüs değerine sahip olduğu için ileri kompozit uygulamalarında ilk kullanılan malzemedir. İlk kullanımı araba lastiklerindeki çelik kafes yerine kullanılmak amaçlı olarak üretilse de bugün çok geniş uygulama alanına sahip bir malzemedir.

Kevlar 49, 195, 380, 1140, 1420 ve 2130 denyelerde hazırlanarak kullanılmaktadır. Yalnız başına olduğu gibi cam ve grafit elyafı ile de kombine malzeme haline getirilerek de kullanılır. Kevlar büküm, kombine malzeme ve doku halinde reçinesiz veya reçineli olarak çok değişik şekillerde ve yerlerde sarf edilir, cam elyafının %40 ağırlığındadır (Yaşar, H., 2001).

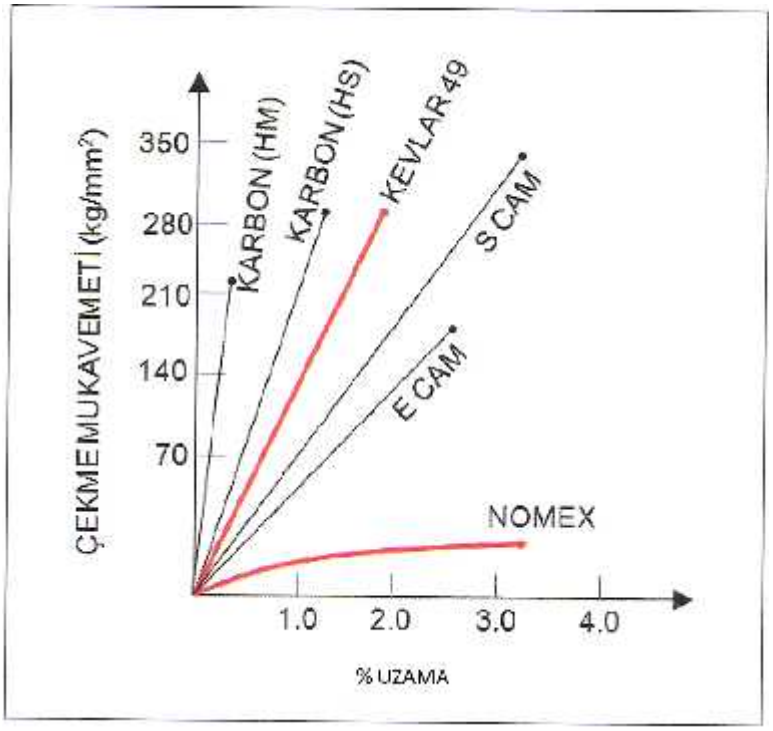
Meta Aramid

Meta aramid ticari olarak "NOMEX" diye adlandırılmaktadır. Meta-aramid fiberler düşük modülüs (E) değerine sahip olduklarından balistik koruma amaçlı kullanılmazlar. Meta aramid ana özellikleri, yanmazlık ve ısı direnci olarak özetlenebilir. Bu nedenle meta aramid kullanımı ısıya dayanıklı giysiler ve bal peteği

malzemeler, araba lastikleri, ipler, kablolar, spor malzemeleri (tenis raket ipleri), hoparlör, hokey sopaları gibi ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Meta aramid yapılı malzemeler Nomex, Teijinconex, Kermel, New Star isimlerle adlandırılırlar. “Nomex adlandırmasının patentli ticari marka olması nedeniyle diğer firmalar, meta aramid ürünleri için kendilerine ait ticari isimleri kullanmaktadır. “Nomex” ismi meta-aramid yerine çok yaygın olarak kullanıldığı için diğer ticari isimler yaygın olarak bilinmemektedir.

Şekil 2.7’de malzemelerin gerilme-uzama grafiği gösterilmektedir. Grafikten görüleceği gibi mukavemet açısından en düşük, % uzama açısından da en yüksek uzamaya sahiptir. Mukavemet düşüklüğü dezavantajını yüksek ısı dayanımı ve yanmazlık özelliğiyle avantaja dönüştürmektedir (Töre, C.,2011).



Şekil 2.7 Malzemelerin Mukavemet-Uzama Değerleri

2.2 Kompozit Malzemeler

"Kompozit", farklı kimyasal yapıda iki ya da daha fazla sayıdaki malzemenin, sınırları ve özelliklerini koruyarak oluşturduğu çok fazlı malzeme olarak tanımlanır. Kompozit malzeme kendisini oluşturan bileşenlerden birinin tek başına sahip olamadığı özelliklere sahiptir, çünkü artık yeni kimyasal bağlar söz konusudur. Kompozit malzeme üretimindeki amaç; iki ya da daha fazla bileşenin istenilen özelliklere sahip malzeme elde etmektir.

Kompozitler biri sürekli, biri de süreksiz olmak üzere iki fazdan oluşurlar. Sürekli faza ana gövde "matris", süreksiz faza ise takviye elemanı "güçlendirici" (reinforcing material) denir. Bir de bağlayıcı yani "bonding" elemanı vardır ve genellikle matris ve takviye elemanının kimyasal bağ yaparak ara yüz oluşturmasını sağlar. Takviye elemanı lif ya da parçacık halinde olabilir. Lif türünün en yaygın örnekleri cam, karbon ve polimer liflerdir. Parçacık türü için mika ve talk en iyi örnekleridir (Olcay Y., Akyol M., Gemci R., 2002).

Tablo 2.5 Matris, Takviye Elemanı ve Kompozit Malzeme Yapı Tipleri (Olcay Y., Akyol M., Gemci R., 2002).

Matris Malzemeleri	**Takviye Elemanları**	**Kompozit Yapının Şekli**
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folya
	Pudra	Honey-Combs (Bal peteği)
	Yonga	Filaman Sarılmış Yapılar

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parça-cıklar kullanılmakta olup, bunlar plastik ve metal esaslı malzemelerle elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelere olan talep nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Bir kaç yıl önce elyaf terimi tekstil malzemelerle sınırlandırılmıştı ve kompozitler için cam elyaf kullanılırdı. Bu gün özellikle, mühendislik kullanımı için çok değişik elyaflar bulunmaktadır. Takviye elemanlarının

başlıcaları; cam, karbon, boron, alüminyum oksit ve silisyum karbür olup değişik morfolojik şekilde olabilmektedir (Olcay Y., Akyol M., Gemci R., 2002).

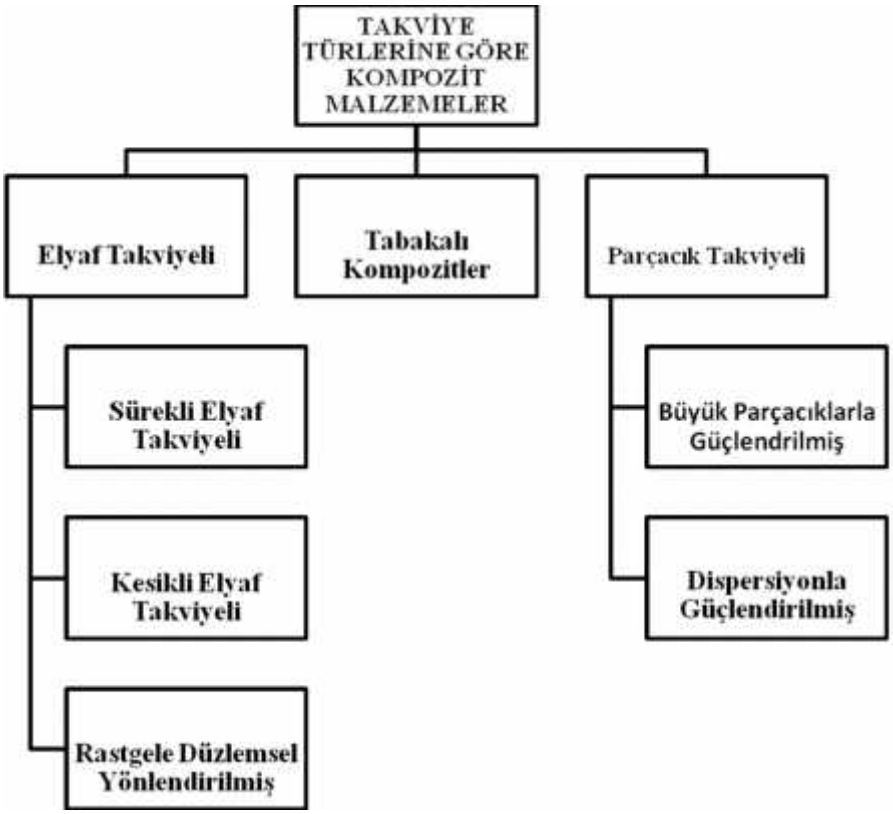
2.2.1 Matris Malzeme

Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanı sıra metal, seramik türevi malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matrisler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışılmaları çok zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılgan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı gerektiren yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır.

En çok tercih edildikleri uygulamalar yarış arabalarının ve uçakların fren balatalarıdır. Tüm diğer matris alternatifleri arasında ticari olarak en uygun olan plastik matrisler arasında ise en çok kullanılan termoset esaslı olan polyester ve epoksi reçineleridir (Olcay Y., Akyol M., Gemci R., 2002).

2.2.2. Takviye Elemanları

Bir kompozit malzemede takviye elemanın esas fonksiyonu; yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını arttırmaktadır. ASTM'ye göre elyaf uzunluğunun enine oranı en az 10/1 ve kesitin ≤ 0.05 mm^2'den küçük olduğunda elyaf olarak adlandırılmaktadır. Teorik olarak malzemelerde aranan özellikler; yüksek dayanım ve düşük yoğunluk, kovalent veya kovalent-iyonik bağların karışımına sahip yapı olmasıdır. Arzulanan ise cam, karbon, bor ve silisyum karbür ile alüminyum oksit, bor nitrür ve silisyum nitrür bileşiklerinden oluşan elyaf malzemeler elde etmektir. Fakat bunlar ince elyaflar halinde üretildiği zaman yüzeylerde daha az kusurlar oluşur ki pratikte elyaf boyunca daha yüksek dayanım ve modülün elde edildiğini göstermiştir (Şahin, Y.,2006).



Şekil 2.8 Takviye Türlerine Göre Kompozitler

Mühendislikte kullanılan takviye elemanlarının pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden dayanım ve rijitlikleri katı haldeki konumlarından yaklaşık 30-50 kat daha dayanıklı ve 3 kat daha rijit olduklarından kütle halinde gösterdikleri özelliklerinden daha üstün performans gösterirler. Örneğin, karbon elyaf kütle halindeki grafitten yaklaşık 50 kat daha fazla mukavemete sahip bulunmakta ama bu özellik, bilhassa whiskerlerde daha belirgindir. Çapları, genellikle 5-20 μm olan elyafın, kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler arasında olduğu bilinmektedir. Bunun dışında elyafların şekli, boyu, yönlendirilmeleri matrisin mekaniksel özellikleri ile yeterli elyaf/matris ara yüzey bağına sahip olmaları da gerekmektedir.

Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. Yükün elyaflara iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elamanı ile matrisin ısıl genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir.

Kompozit üretilirken; takviye elemanı seçimi, üretim tekniği, üretim esnasında elyafların matris tarafından ıslatılabilmesi, yönlendirilmeleri ve elyaf içeriği kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle, takviye elemanı seçimi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Elyaflardan aranan temel özellikler;

a. Yüksek elastik modülü,

b. Yüksek dayanım,

c. Düşük yoğunluk,

d. Kimyasal uyumluluk,

e. Üretim kolaylığı,

f. Isıl direnç

gibi kriterlere göre incelenip seçilmektedir (Şahin, Y.,2006).

Bununla beraber, metal ve seramik matrisli kompozitlerde elyafların yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını muhafaza etmeleri, takviye elemanın kimyası, morfolojisi, mikro yapısı ve fiziksel özellikleri yanında maliyet gibi diğer önemli faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Bu istenen özelliklerin kaynağının anlaşılması için önce mevcut atomik yapıların tetkik edilmesini gerektirir. Bir malzemenin yoğunluğu, onu meydana getiren atomların, atomik ağırlıklarını takip etme eğiliminde olduğu için bunun da H, B, C, N, Si, Al gibi hafif atomların araştırılmasına odaklanmayı gerektirmektedir. İkinci olarak, dayanım ve rijitliğin esası, atomlar arasındaki bağda yatar. Maksimum özellikler, bağların sadece uygulanan yük doğrultusunda uzandığı zaman elde edilebilir. Bütün bağlar uniform şekilde yüke maruz kaldığında birlikte kırılır. Pratikte bunu elde etmek mümkün değil fakat bu düşünülmesi gereken bir prensiptir (Şahin, Y.,2006).

Atom yapısı ile ilgili olarak 4 temel bağ türü mevcuttur. Bunlar da; iyonik bağ, kovalent bağ, metalik bağ, hidrojen ve Van der Waals bağdır ki bağ enerjisinin azalması ile düzenlenirler. Birbirine göre enerjileri sırasıyla 2- 10, 1- 5, 03- 05, 0,1'dir. En dayanımlı ve en rijit elyafların temel gerilme doğrultularında düzenlenmiş olan bu atomik veya kovalent bağları ile olacağı açıktır. Moleküler yapı tek boyutlu lineer (1 B), rastgele düzlemsel (2 B) veya izotropik (3 B) olabilir. Örneğin, polietilen, naylon, aramid gibi organik polimerler tek boyutlu (1 B), karbon elyaflar (2 B) grafit yapısı ve SiC, $Si0_2$ gibi camlarda (3 B)'dur.

Elyaf üretim işlemi 3 guruba ayrılabilir. Bunlar;

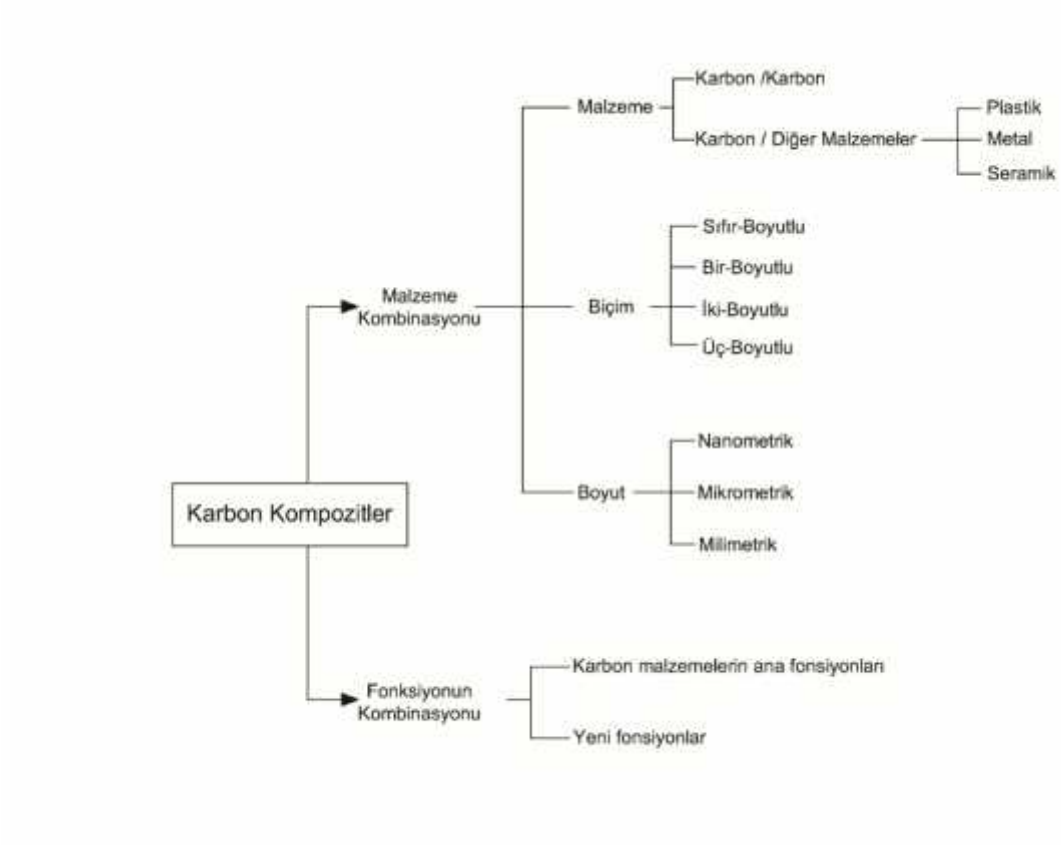
a. Ergiterek liflendirme,

b. Katı hal transformasyonu,

c. Kimyasal buhar biriktirme yoludur.

Katı hal deformasyonu; karbon, silisyum karbür, alümina, silisli camlar ve zirkonyum elyaflar için hem sürekli hem de kırpılmış olarak elde edilebilir. Bu işlemde, ergitilebilen veya çözünebilen precursör fiberleştirildikten sonra yüksek sıcaklıkta ısıtma çevriminden önce çapraz bağ oluşturularak elde edilir.

Kimyasal buhar birikimi yolu ile tungsten veya karbon çekirdek üzerine kaplama yapılarak silisyum karbür ya whisker veya tek filamentli olarak üretilirken, boron elyaflar ise sadece tek filamentli olarak üretilir. Bu teknikle ince bir katman oluşturmak nispeten kolay bir işlemdir (Şahin, Y.,2006).



Şekil 2.9 Karbon Kompozitlerin Sınıflandırılması

Son zamanlarda takviye elemanı olarak kullanılan seramiklerin başlıcaları; cam, karbon, boron, alumina ve silisyum karbüre ilaveten metalik camlar sayılabilir. Bu seramik elyaf1arın tipik özellikleri Tablo 2.6 'da gösterilmiştir (Şahin, Y.,2006).

Tablo 2.6 Kompozitlerde Kullanılan Bazı Seramik Elyafların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri (Şahin, Y.,2006).

Malzeme cinsi	**Yoğunluk (kg/m^3)**	**Elyaf Çapı (µm)**	**Elastiklik Modülü (Gpa)**	**Çekme Dayanımı (Gpa)**
E-camı	2500	12	70	1.5-2.0
S-camı	2600	10	90	4.6
Karbon (PAN)	1800	7-10	400	2.0-2.8
Karbon (YD)	1700	7-10	200	3.0-3.5
Karbon (Mesa-faz)	1900	7-10	220	3.2
Boron	2600	140-160	400	3.4
Al_2O_3 (FP)	3950	20	380	1.4-2.1
Al_2O_3	3300	3.0	300	2.0
Al_2O_3/SiC	3100	10	206	1.7
Silisy.Karbür	3200	1-50	480	7.0
SiC (Nicalon)	2250	12	200	2.5

2.3 Takviye Elemanı Olarak Kullanılan Karbon Elyaf Formları

İngilizce'de "Reinforcement Material Form" olarak adlandırılır. Kompozit malzeme içinde yer alan karbon elyaf takviye malzemeleri farklı formlarda kullanılabilmektedir. Bunlar;

1-Sürekli elyaf; Sarma yöntemiyle kesilmemiş ve çeşitli çap ve sayılarda filament şeklindedir. Filament sarım, otomatik fiber serimi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

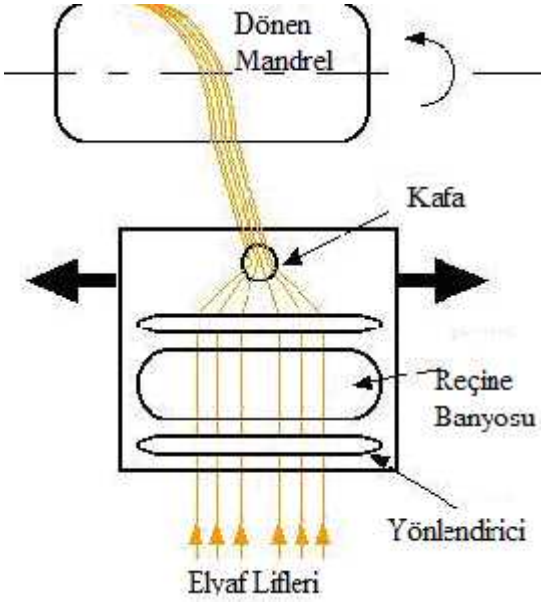
2-Kısa elyaf; Kısa elyaf genelde; Kırpılmış elyaf, Kesilmiş elyaf, Partikül, Kristal elyaf olarak adlandırılır.

3-Kırpılmış elyaf; 3-24 mm uzunluğunda herhangi bir boyda kesilmiş elyaf demetleridir. Bu konuda oluşmuş belirgin bir standart olmadığı için üretici firmalar uygulama alanlarına ve sonuçlarına göre farklı çaplarda ve uzunlukta fiber kesebilmektedir (Töre, C.,2011).

2.3.1 Elyaf Sarma (Filament Winding)

Bu yöntem, özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. İki farklı sarma metodu vardır:

2.3.1.1 Islak Sarma: Elyaflar Şekil 2.10'da görüldüğü gibi reçine banyosundan geçirilerek mandrelin üstüne sarılır.



Şekil 2.10 Elyaf Islak Sarma Yöntemi

2.3.1.2 Ön İşlemli (Prepreg) Sarma

Önceden reçine emdirilmiş elyaf lifleri dönen mandrele sarılır. Bu iki sarma metodu arasında ıslak sarma metodu, elyaf takviyeli termoset matrisli kompozitlerde silindir yüzeylerin üretilmesinde kullanılır.

Islak sarma ve önişlemli (prepreg) sarma karşılaştırıldığında, ıslak sarmanın pek çok avantajı olduğu görülür. Düşük malzeme maliyeti, kısa sarma süresi, özel gereksinimleri karşılayabilmek için kolayca değiştirilebilir reçine formülasyonları bunlardan bazılarıdır.

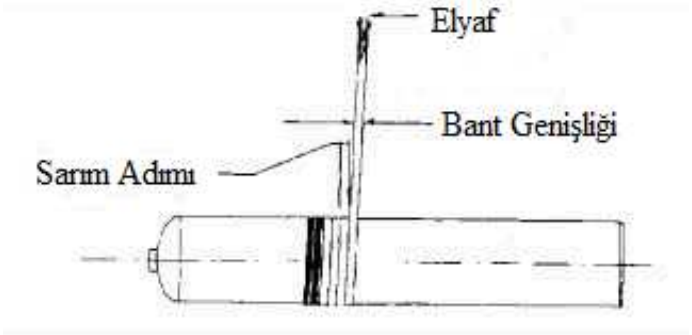
Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.

2.3.2 Elyaf Sarma Çeşitleri

İstenilen kalınlık ve güçte takviye edilmiş tabakalı kompozitler oluşturulurken, sarım gerginliği, sarım açısı ve reçine formülasyonu gibi değerler değişebilir. Bitmiş bir kompozitin özelliklerine göre sarım tipi de değişir. Üç temel elyaf sarma çeşiti şunlardır;

2.3.2.1 Çevresel Sarma

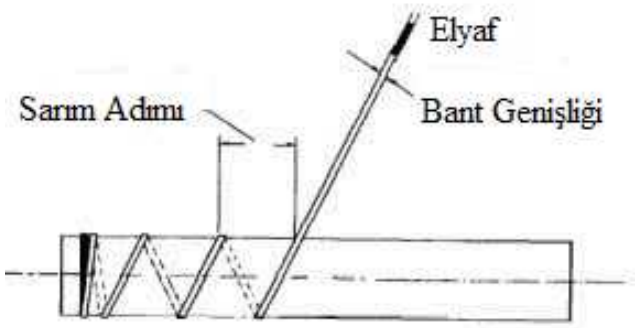
Çember ya da çevresel sarma olarak bilinir. Çevresel sarma, yüksek açılı helisel bir sarım türü olup, sarım açısı yaklaşık 90 derecedir. Her tam turda mandrel üzerinde tam bir bant genişliği görmek mümkündür (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Çevresel Sarma

2.3.2.2 Helisel Sarma

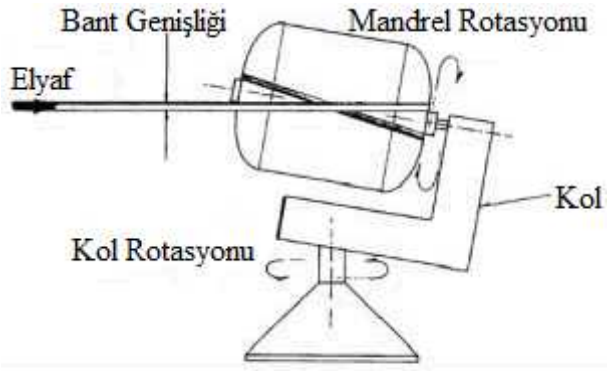
Sabit hızda dönen mandrel üzerine istenilen sarma açısıyla, ileri geri hareketlerle sarılır (Şekil 2.12). Genellikle tüm kompozit borular, basınçlı kaplar bu yöntemle sarılır.



Şekil 2.12 Helisel Sarma

2.3.2.3 Kutup Sarma

Mandrel kendi ekseninde dönerken, boşlukta açılan elyaf, bir kutuptan diğer kutba teğet gelecek şekilde sarılır. Bu esnada mandrel, mandrel kolu sayesinde ileri geri hareket ederek iki kutupta da elyafın sarılmasını sağlar.



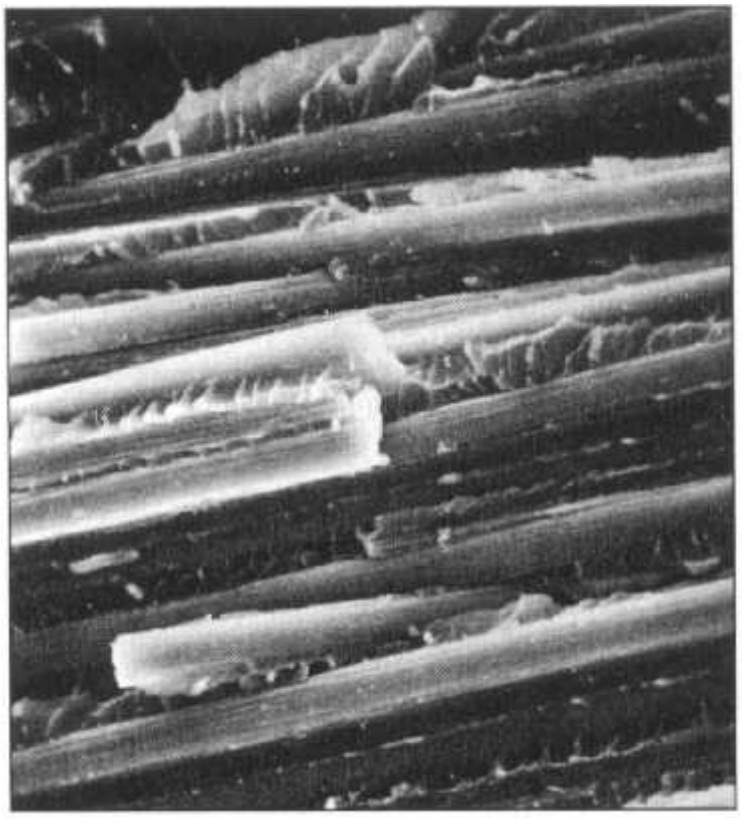
Şekil 2.13 Kutup Sarma

Diğer bir deyişle, şekil 2.13'de de görüldüğü gibi, mandrel kolu yatay eksen boyunca dönerken, elyaf bir kutuptan diğerine doğru sarılır.

Bu yöntem daha çok, basınçlı kapların silindirik, özellikle de dip kısımlarını sarmak için kullanılır.

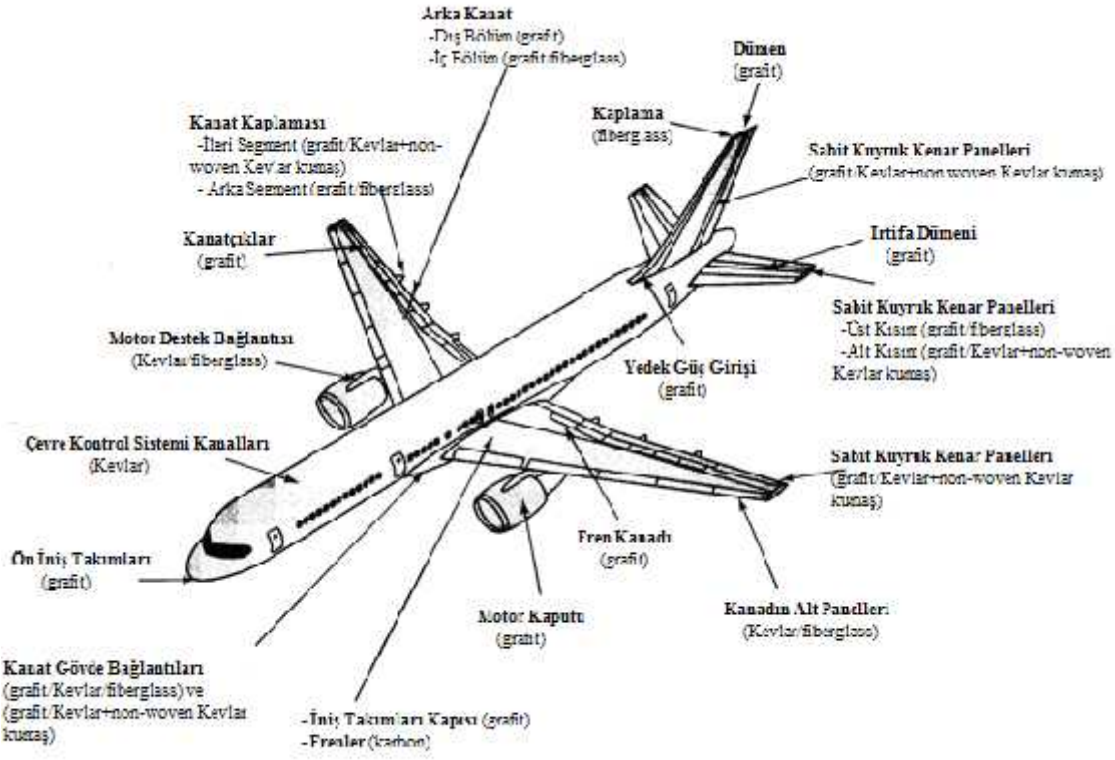
2.4 Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitler Ve Kullanım Alanları

Kompozitler, iki ya da daha fazla materyalin biraya getirilmesiyle oluşturulan ve oluşan yeni materyalin özelliklerinin konvansiyonel yollarla elde edilemeyeceği yapılardır. Örnekler arasında kontrplak, beton ve çelik kuşaklı lastikler sayılabilir. Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin en önde gelen uygulama alanları, rijitlik, sağlamlık ve düşük yoğunluğun önemli olduğu yapısal materyallerdir. Birçok tenis raketi, yarış bisikletleri ve kayak takımları mukavemetli, hafif ve çok da pahalı olmayan karbon fiber epoksiden imal edilmektedir. Bu kompozit yapıda, Şekil 14'de görüldüğü gibi, karbon fiberler epoksi matrisi içine gömülüdür. Karbon fiberler mukavim ve rijittir ama şekil verilebilirliği kısıtlıdır. Gevrekliklerinden dolayı, sadece karbondan tenis raketi ya da kayak üretmek pratik değildir. Epoksi ise, kendi başına çok mukavim olmamasına rağmen, iki önemli rol oynar; yükü fiberlere aktarmada aracı olur ve fiber matris arabirimi gücü dağıtır ve kılcal çatlakları önler. Bu sayede kompozit malzeme çatlaklara, kendini oluşturan iki malzemeden de daha dayanıklı olur.



Şekil 2.14 Tok Bir Epoksi Matriste Görülen, Grafit Elyaf Takviyeli Kompozitin Enine Kesiti (*Behawan D.Agrawal and Lawrence J.Broutman. Analysis and perfrmance of Fiber composites)*

Kompozit malzemenin mukavemet ve rijiditesi epoksi içine eklenen karbon miktarını değiştirerek kontrol edilebilir. Karakteristiğinin ihtiyaçlar doğrultusunda ayarlanabilmesi, düşük yoğunluk ve göreceli üretim kolaylığı ile birleşince, kompozit materyaller birçok uygulama alanı için önemli bir alternatif haline gelirler. Yukarıda bahsedilen spor malzemelerine ek olarak, benzer kompozitler havacılık uygulamalarında da kullanılmaktadır; jet motorlarının fan kanatları ve uçak iskeletlerinin kaplamaları gibi yerlerde de kullanılabilir. Şekil 2.15'de Boeing 757'de kompozitlerin kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Boeing 757-200 Uçağının Ana Yapısında Kullanılan Karbon Kompozit Bölümlerin Listesi (*Boeing Commercial Airplane Company*)

Karbon elyaf takviyeli kompozit üretimindeki en önemli neden, ürünün güçlü, hafif ve diğer malzemelere oranla daha ucuz olmasıdır. Bu yüzden havacılık, uzay teknolojileri, otomotiv sektörleri uygulama alanlarının başında gelir. Tablo 2.7'de uygulama alanlarına göre karbon takviyeli kompozitler verilmiştir.

Tablo 2.7 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları (Şahin, Y.,2006)

Endüstrisi	Uygulama alanları	Kullanılan kompozit malzemeler
Uçak	Uçak kanatları ve gövdesi, helikopter pervaneleri, İniş ve çıkış kapıları, Payandalar döşeme kirişleri, Çerçeveler, Vantilatör ve türbin kanatları	B/Al, SiC_w/Al, Gr/Al, B/Al, Cam/epoksi, C/epoksi, B/epoksi, Kevlar/epoksi, Süper alaşımlar
Helikopter	Transmisyon kutusu, Kiriş destek yapıları, İtici çubuklar, İniş takımları, Rotor kanatları arkası	Al_2O_3/Mg, Gr/Al, Gr/Mg, B/Al, Al_2O_3/Al, SiC_w/Al, SiC_w/Al, B/A, Al_2O_3/Al, Gr/Al, SiC/Al
Uzay	Uzay yapıları, Antenleri, Robot kolları	B/Al, B/Mg, Gr/Mg
Otomotiv	Gövde parçaları, Tampon ve çamurluklar, Ön ve arka paneller, Aks mili, yaylar, İtme çubukları ve piston kolları	Kevlar/epoksi, SiC_p/Al, SiC_w/Al, SiC_w/Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi, Gemi güvertesi	Kevlar/epoksi, Cam/epoksi
Kimya	Borular, Basınçlı kaplar ve Tanklar	Cam/epoksi, Karbon/epoksi
Spor	Oltalar, Golf külüpleri, Yüzme havuzları, Tenis raketleri ve Oltalar, Bisiklet ve motosiklet gövdesi	B/epoksi, C/epoksi, B/Al, Gr/Al, SiC_w/Al, B/Al, Gr/Al, SiC/Al
Elektrik	Motor fırçaları, Kablo ve akü plakaları	Gr/Cu, Gr/Pb, Al_2O_3/Pb
Tekstil	Mekikler	B/Al, C/Al, SiC/Al
Tıp	Röntgen masaları, Protezler ve tekerlekli sandalye	SiC/Al, B/Al, B/Al, SiC/Al
Uçak- uzay	Uçak frenleri, Roket memeleri, Turbin pervaneleri, Roket çıkış sistemleri	Karbon/karbon kompozit
Diğer alanlar	Makina yataklan	C/Pb, Al_2O_3/Pb

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deney Düzeneğinin Tasarımı ve İmalatı

Hasar analizinde, tahribatsız muayeneler için farklı teknikler kullanılmıştır. Metallere göre çok yeni malzemeler olan elyaf takviyeli kompozitlerde bozulma mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir. Anizotropik yapıları sayesinde uygulamanın ihtiyaçlarına uygun olarak adapte edilmeleri mümkündür.

Hala tam olarak anlaşılamamış olsa da, karbon elyaf takviyeli kompozitlerin yorulma hasarının metallerden üstün olduğu bilinmektedir. Ancak karbon elyaf takviyeli plastiklerin (CFRP) en yaygın problemi de ani hasara uğramasıdır. Bu sebepten, karbon elyaf hasarlarıyla ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, aşınma ve deformasyonu gözlemek üzerine yapılmıştır. Statik ve dinamik yüklemeler altında, özellikle de burulma ve burkulma konularında çalışılmıştır.

Literatürde taranan çalışmalar içinde “ürünlerin” hasar testlerinin yapıldığı görülmüştür. Bunların içerisinde az sayıda elektriksel direnç ölçümü kullanılmış, onlar da bitmiş ürünlerin hasar analiz testlerinde kullanıldığı saptanmıştır.

Yaptığımız çalışmaya en yakın olan bildiri, Küpke M. Ve arkadaşları (Kupke M., Schulte K., Schüler R., 2001) tarafından hazırlanmış olan fiber takviyeli kompozit plastiklerin AC ve DC akımlarıyla testini anlatan çalışmadır. Ancak bu çalışmada da karbon elyafın testi değil, ürün testi anlatılmaktadır.

Karbon elyaf takviyeli plastiklerin analizinde, DC ölçümlerde karbon elyaflar, bizimde kullandığımız gibi, direnç olarak kullanılmıştır. AC ölçümlerde ise, karbon elyafların bağlantı noktaları direnç görevindeyken, lifler arası boşluklar kapasitanstır.

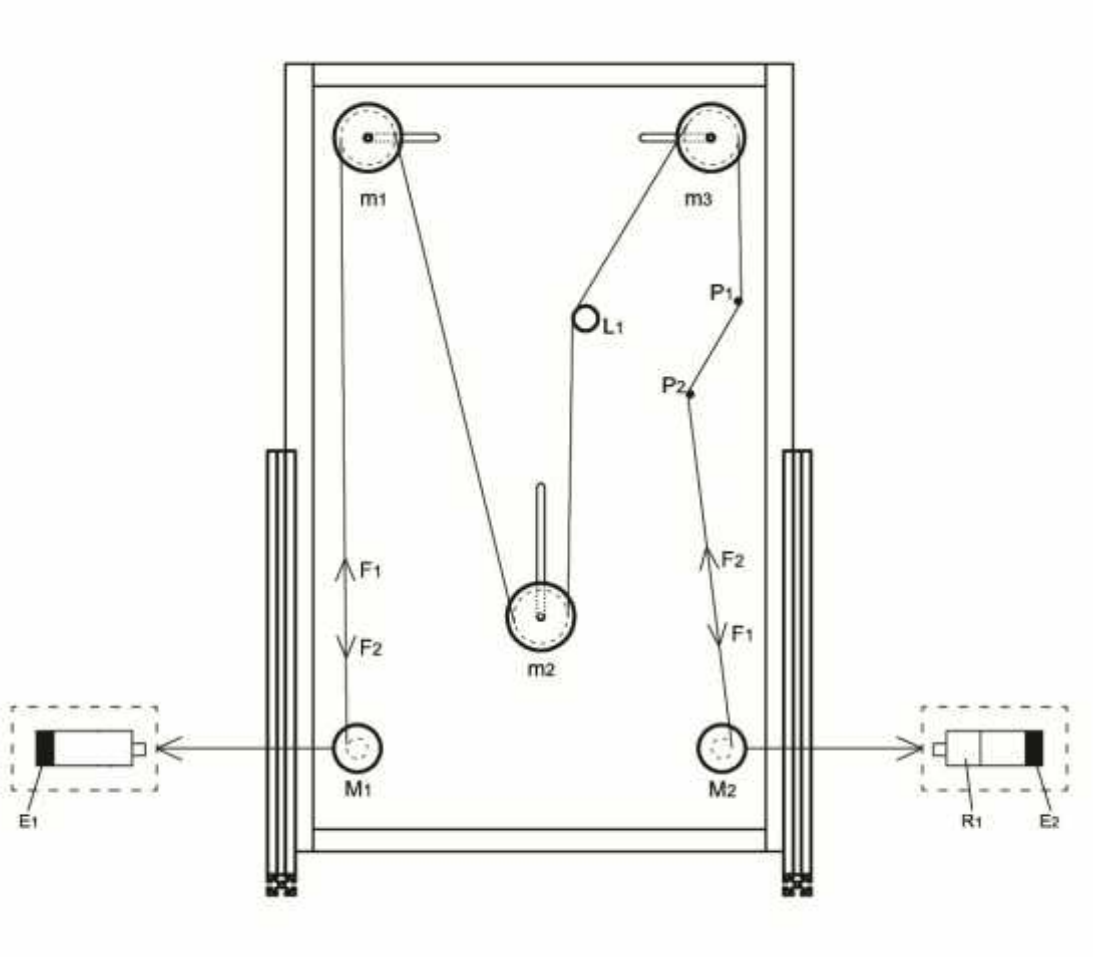
Yaptığımız çalışmada, karbon elyaf hasarlarında oluşan direnç değişimi izlenmiştir. Sabit yükle ve sabit hızla ön gerilme sisteminden geçen elyafın, çeşitli koşullar altındaki kırılması sürekli gözlemlenip, kaydedilmiştir. Kompozit içinde ya da

dışındaki elyafın kırılması direnci arttırır. Bu çalışmada, ön gerilme sisteminden geçen elyafın kırılma yeri de tespit edilebilmektedir.

3.2 Deney Sistemi ve Sistem Elemanları

Sistemde üç makaradan oluşan bir ön gerilme sistemi oluşturulmuştur. Sabit hız ve sabit gerginlikte çekilen karbon elyaf, ön gerilme sisteminden geçtikten sonra iki prob arasında ölçülen direnç değerine göre hasar izlenmektedir.

Sistem, makaradan çözünen karbon elyafı lineer pozisyonlama ve hız kontrolü ile ön gerilme sisteminden geçerek, sarım gerçekleşecek makaraya girmeden oluşan ya da var olan karbon elyaf hasarlarını, sarılmadan hemen önce, elektriksel olarak ölçmektedir. Ani direnç artışları elyafın hasarını göstermektir.



Şekil 3.1 Deney Düzeneği

M_1 ,M_2: AC Servo Motor,

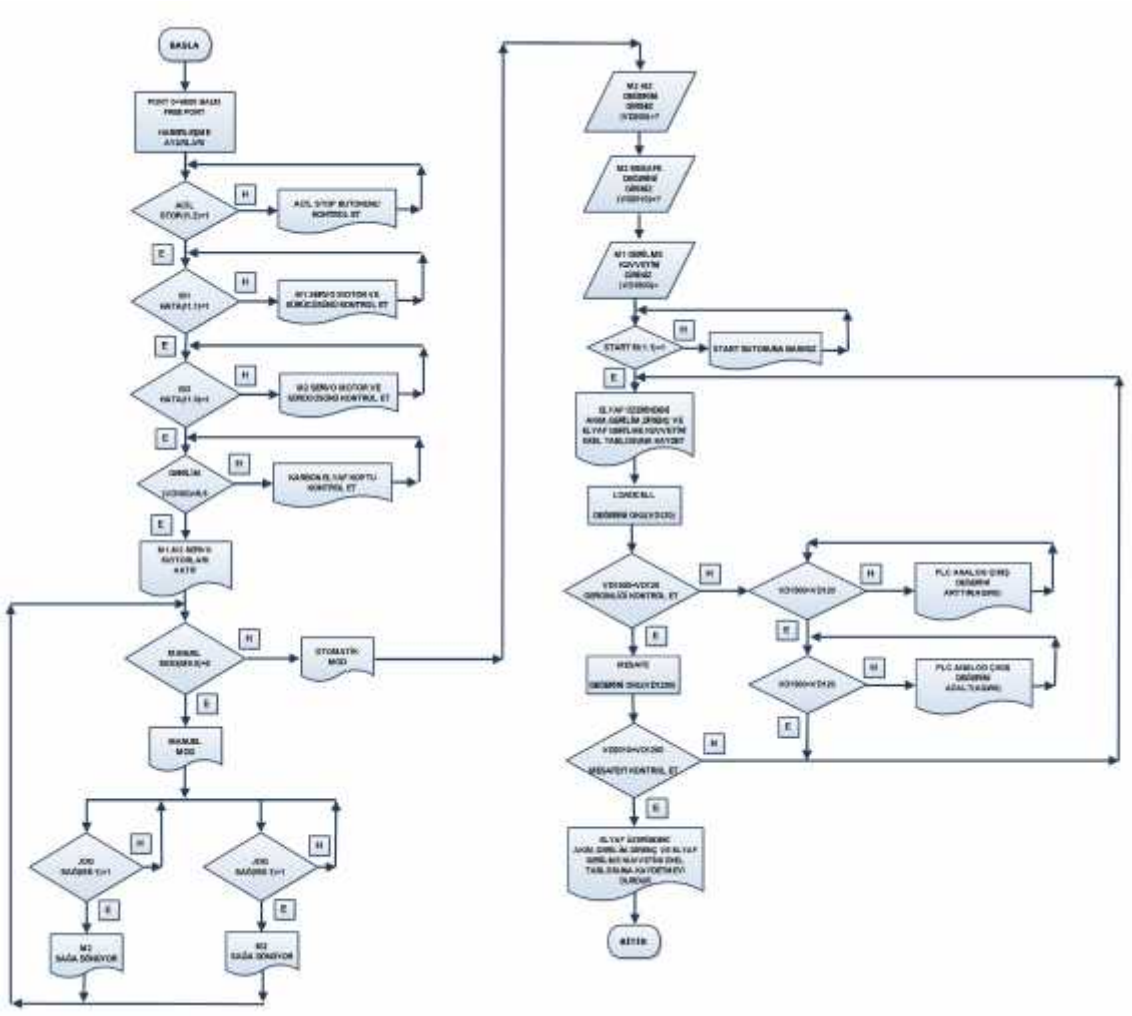
m_1, m_2, m_3: Ön Gerilme Sisteminin Makaraları,

P_1 ,P_2: Ölçüm Probları,

E_1 ,E_2: Optik Artırımlı Enkoder (Optical Incremental Encoder)

R_1: 1/5 Redüktör

L_1: Merdane Tip (rotary sistem) Loadcell (0-500gr)


BAŞLA
H
E
H
E
H
E



Resim 3.1 Deney Düzeneği

Sistem, PLC ile kontrol edilmektedir. Şekil 3.2'de PLC akış diyagramı verilmiştir. Karbon elyafın gerginliği, her iki makaranın arkasında bulunan servo motorlarından ilki, tork kontrolü sağlarken, diğer servo motor pozisyonlama ve hız kontrolü görevindedir.



Resim 3.2 PLC Kontrol Paneli

Servo motorlara (M1 ve M2) optik artırımlı enkodere bağlı olup, 4x2500 pulse/resolution (p/r) esasında çalışır.

Pozisyonlama görevini yapan servo motora bağlı 1/5 redüktör (R1) vardır. Elyaf gerginliğini kontrol eden bir diğer eleman, loadcell merdane tipi (rotary system) yani elyafın yüzeyinde dönerek ölçüm yapan bir sistemdir.

Kontrol kısmında, her iki servo motorun sürücüleri, loadcell transmitter ile PLC (Programlanabilir Logic Kontrol) sayesinde bilgisayara bağlanır.

PLC, 14 digital giriş, 10 digital çıkış, iki analog girişe ve bir analog çıkışa sahiptir. 12 bit çözünürlülüğüyle 0-10V arasındaki sinyalleri 12 bit uzunluğundaki sayısal veriye dönüştürür.

Transmitter, loadcell üzerinde bulunan straingagelerin ürettiği mV(milivolt) düzeyindeki değişimleri 0-10 V aralığında bir gerilim değerine dönüştürür. Bu değer, çalışmak istenen ağırlık değerine kalibre edilir.

PLC’nin iki analog girişinden biri direnç ölçümü için kullanılırken, diğer giriş loadcell içindir. Bir analog çıkış pozisyon kontrolü için kullanılır.

Servo sürücü üzerindeki set edilen değerle, tork yüzdesi hesaplanır. Bu yüzdelik değer PLC tarafından, loadcellden gelen ve gram cinsinden ifade edilen değere, çekme kuvveti olarak kalibre edilir. Sürekli olarak ölçülen değer gram cinsindeki çekme kuvvetidir. Saran motor için çekme kuvveti bir kontrol sinyali demektir. Bu süreç şöyle bir örnekle açıklanabilir;

2500 gr çekme kuvveti ya da sabit gerginlik istendiğinde bu değer için gerekli gerilim değeri, saran servo motorun analog girişine uygulanır. Bu değer, belli bir hıza denk gelir. Tork ve hız bu şekilde senkron edilerek, sabit gerilme sağlanmış olur. Saran motorun kabiliyeti, tork ve hızı dengelemeye ayarlıdır.

Bu tip kapalı çevrim sistemlerde, set edilen değer, çok hassas cevap süresine sahip olması istenebilir. Örneğin, istenilen sonuca ulaşmak için gerekli tepki süresi fiziksel limitler dahilinde 1 ms (milisaniye) olsun. Bu durumda, tork, hız, pozisyon kontrolü, geri bildirim değerlendirme hızı, interrupt (kesme) kontrol yeteneği gibi parametreler öne çıkar. Sistemde kullanılan kompanentler sonuçtan doğrudan etkilenir.
Bu sistemde 1ms değeri gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca sistemde 500-1000gr’lık sabit gerginlikte, 1ms PID (Proportional-Integral-Derivative, Oransal-İntegral-Türevsel) çözünürlüğünde $\pm$50gr ‘dır. 0,1 ms. PID çözünürlüğü sağlanabilirse, $\pm$5 gr hassasiyet sağlanabilir.

3.3 Deneylerin Yapılması

Hazırlanan sistemde, iki farklı makara çapına, bu makaraların konumuna ve uyguladığımız ön gerilme değerine göre koşullar oluşturuldu. Bu koşullar tablo 3.1‘de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneylerde Uygulanan Sarım Koşulları

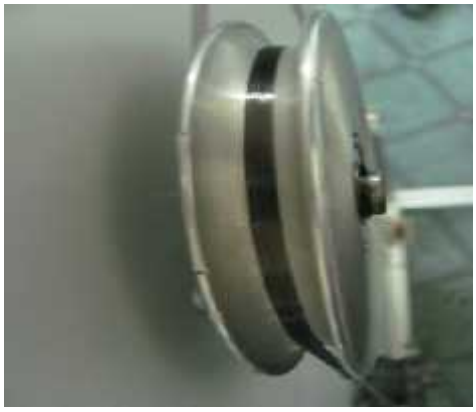
KOŞUL	MAKARA ÇAPI(mm)		MAKARA KONUMU			MAKARALAR ARASI MESAFE(mm)		ÇEKME KUVVETİ		NUMUNE ADI-KODU
	D	d	m1	m2	m3	X	Y	F=1000gr	F=500gr	
1	78,9		1	2	2	500	700	1000		D122-1000
2	78,9		1	2	2	500	700		500	D122-500
3	78,9		1	2	1	500	500	1000		D121-1000
4	78,9		1	2	1	500	500		500	D121-500
5	78,9		2	1	1	300	500	1000		D211-1000
6	78,9		2	1	1	300	500		500	D211-500
7	78,9		2	1	2	300	700	1000		D212-1000
8	78,9		2	1	2	300	700		500	D212-500
9		32,2	1	2	2	500	700	1000		d122-1000
10		32,2	1	2	2	500	700		500	d122-500
11		32,2	1	2	1	500	500	1000		d121-1000
12		32,2	1	2	1	500	500		500	d121-500
13		32,2	2	1	1	300	500	1000		d211-1000
14		32,2	2	1	1	300	500		500	d211-500
15		32,2	2	1	2	300	700	1000		d212-1000
16		32,2	2	1	2	300	700		500	d212-500

Sistemde anlatıldığı üzere tork kontrolü ve loadcell üzerinden izlenebilen çekme kuvveti 500 ve 1000 gr olmak üzere iki farklı değerde ayarlanarak ölçüm yapılmıştır.

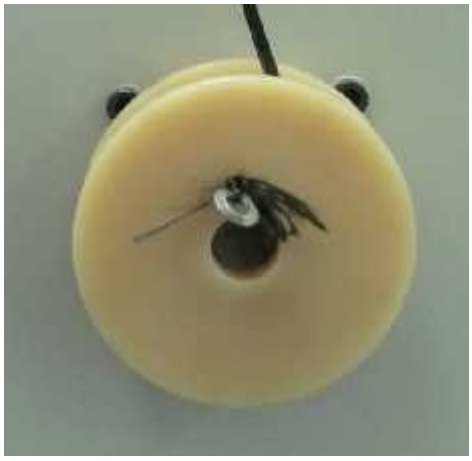
Deney düzeneğinde 78.9 mm ve 32.2 mm çaplarında iki farklı makara kullanılmıştır.



Resim 3.3 a



Resim 3.3 b



Resim 3.3 c



Resim 3.3 d



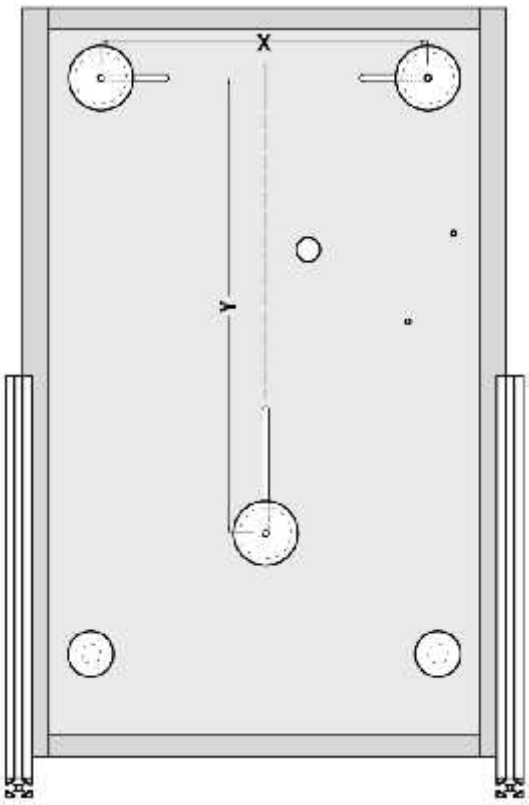
Resim 3.3 e



Resim 3.3 f

Resim 3.3 a,b,c,d,e,f Deney Düzeneğinde Kullanılan Makaralar

Makaralar arası maksimum uzaklık yatayda 500 mm, düşeyde 700 mm'dir. Makaralar arası minimum uzaklık yatayda 300 mm, düşeyde 500 mm'dir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Makaralar Arası Uzaklık Ayarları (x,y)



Resim 3.4 Deney Düzeneği

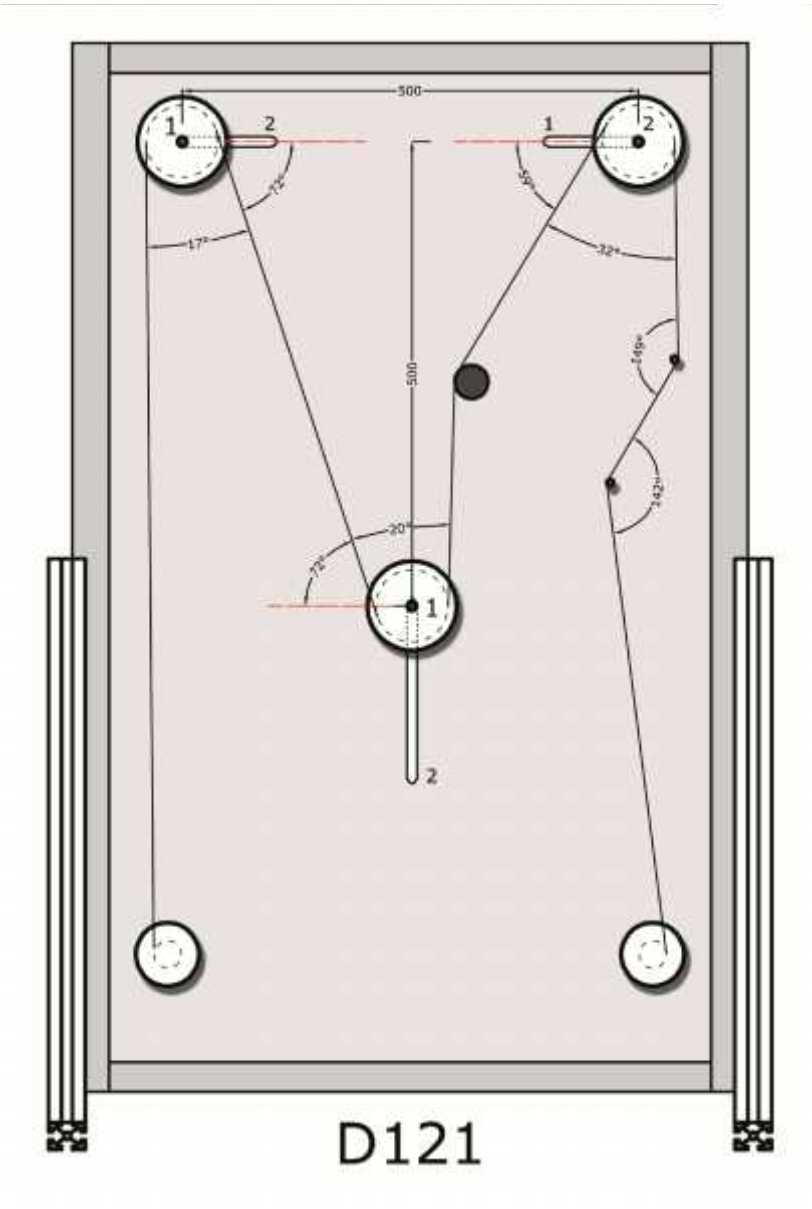
Elyafın çekim yönü soldan sağa doğru olup, elyaf ön gerilme sisteminden geçtikten sonra hasar ölçümü yapılmaktadır. Elyaf hasarının ölçümü yapılan iki prob arası mesafe 150 mm, haberleşme hızı 9600 baud'dur. Sarım hızı ise 470 mm/dk. dır.

3.4 Deneylerde Elde Edilen Sonuçlar

3.4.1 D (178,9 mm) Çaplı Makaraya Ait Sonuçlar

3.4.1.1 D121-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.4).



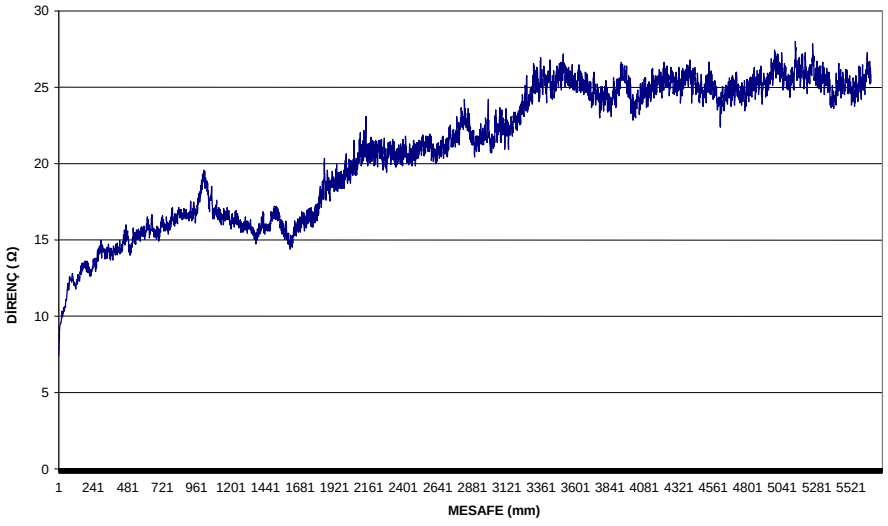
Şekil 3.4 D121 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

Makaralar arası mesafe yatayda ve düşeyde 500 mm'dir.

Tablo 3.2 D121-1000 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı

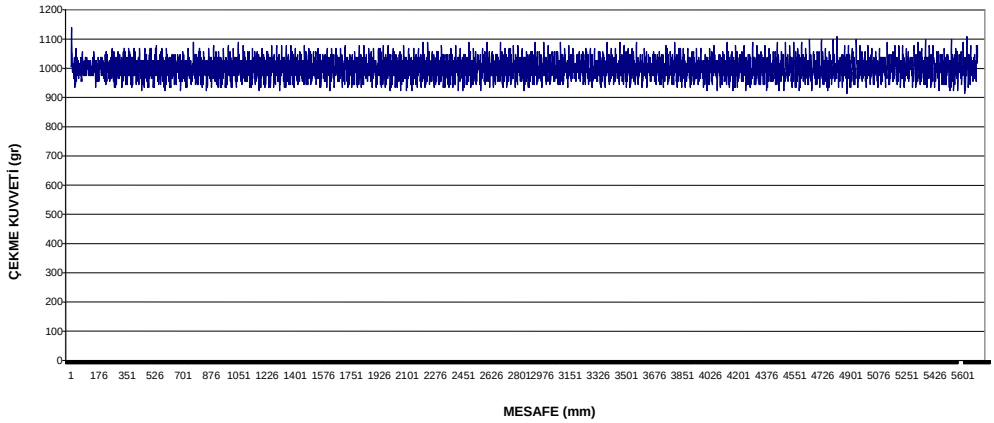
	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_aktif_biti:M1.0	Bit	2#0	
2	GERILIM:VD100	Floating Point	3.715	
3	AKIM:VD100	Floating Point	3.0937500	
4	DIRENÇ:VD112	Floating Point	7.622566	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD2010	Signed	+5300	
7	GERGINLIK:VD120	Floating Point	1036.031	
8	gerginlik_set_degeri:VD1500	Floating Point	1000.0	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTUEL_MESAFE:VD1200	Signed	+3122	
14	rpm_dak:VD1804	Floating Point	473.0	

D121-1000 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.2'de verilmiştir. Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.5'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.5 D121-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

Şekil 3.6'da D121-1000 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.6 D121-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

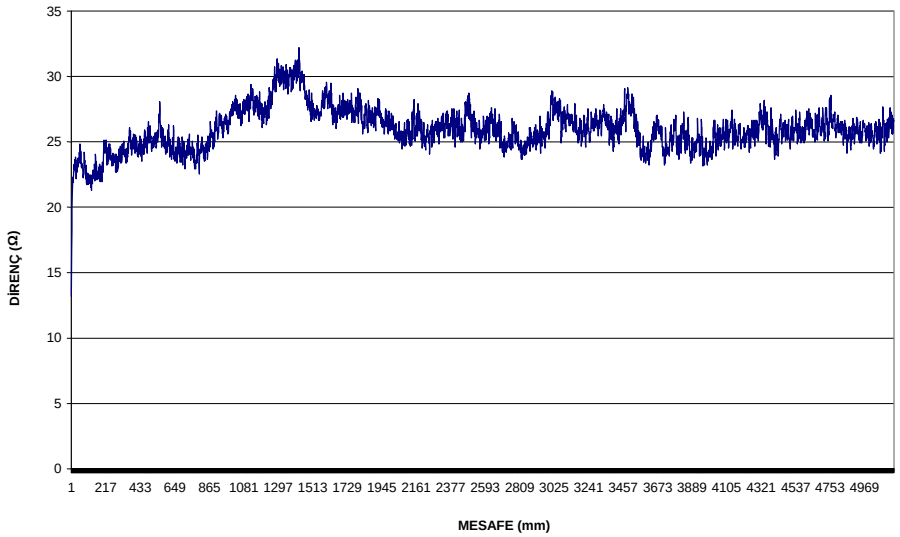
3.4.1.2-D121-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.4). Makaralar arası mesafe yatayda ve düşeyde 500 mm'dir.

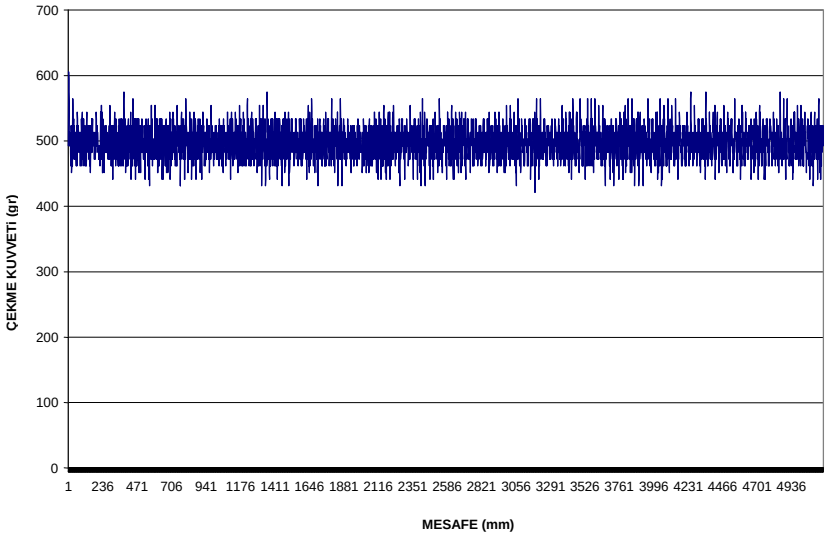
Tablo 3.3 D121-500 için PLC'de Okunan Durum Kartı

	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_aktif_bit:M[illegible].0	Bit	2#0	
2	GERILIM:VD100	Floating Point	1.2	
3	AKIM:VD103	Floating Point	0.08888889	
4	DIRENC:VD112	Floating Point	13.5	
5	SERVO_HIZ_DEVIR:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD2010	Signed	+5000	
7	GERGINLIK:VD120	Floating Point	402.7490	
8	gerginlik_set_degeri:VD[illegible]500.0	Floating Point	500.0	
9	MANUEL_MOD:M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	O_U_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTUEL_MESAFE:VD1200	Signed	+4999	
14	mm_dak:VD[illegible]8	Floating Point	4.7[illegible]	

D121-500 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.3'de verilmiştir. Gerginlik set değeri 500 gr'dır. Şekil 3.7'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.7 D121-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

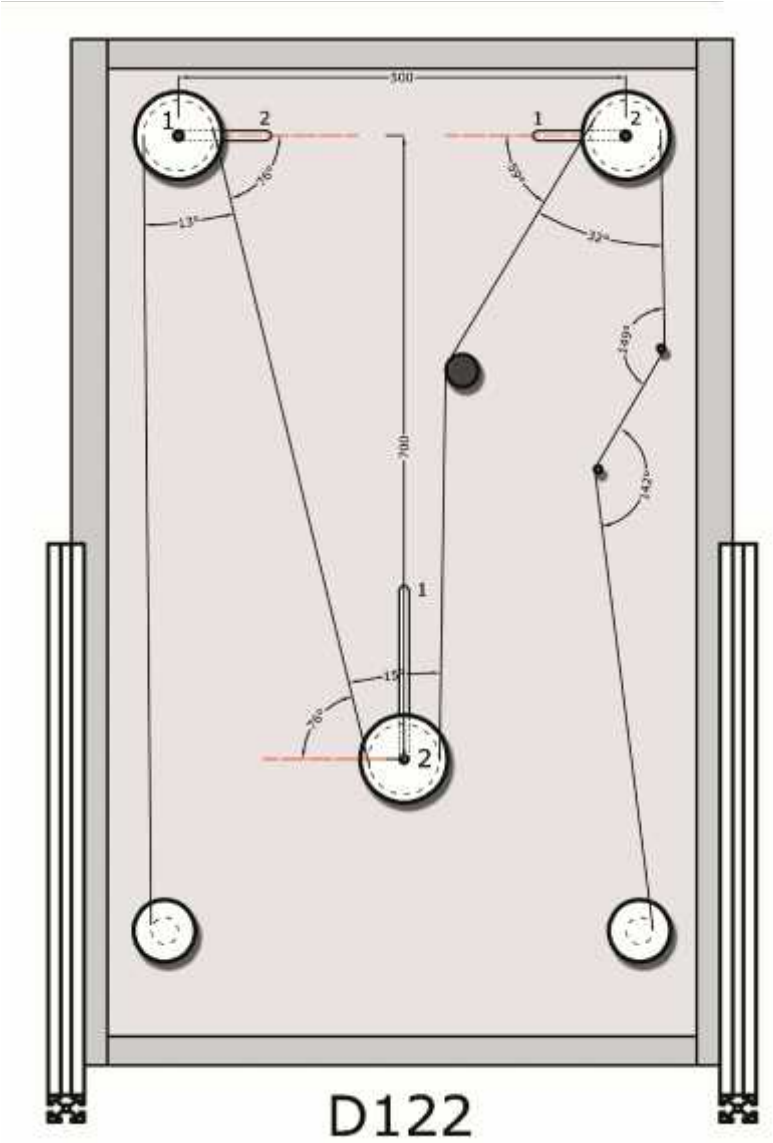


Şekil 3.8 D121-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

Şekil 3.8’da D121-500 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.

3.4.1.3 D122-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (Şekil 3.9). Makaralar arası mesafe yatayda 500 mm, düşeyde 700 mm'dir.

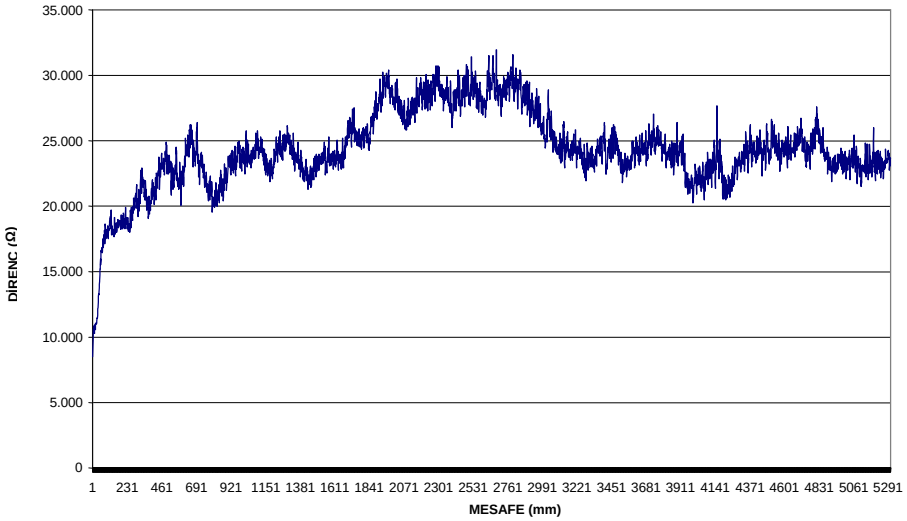


Şekil 3.9 D122 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

D122- 500 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.4'de verilmiştir. Gerginlik set değeri 500 gr'dır. Şekil 3.10'da gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.

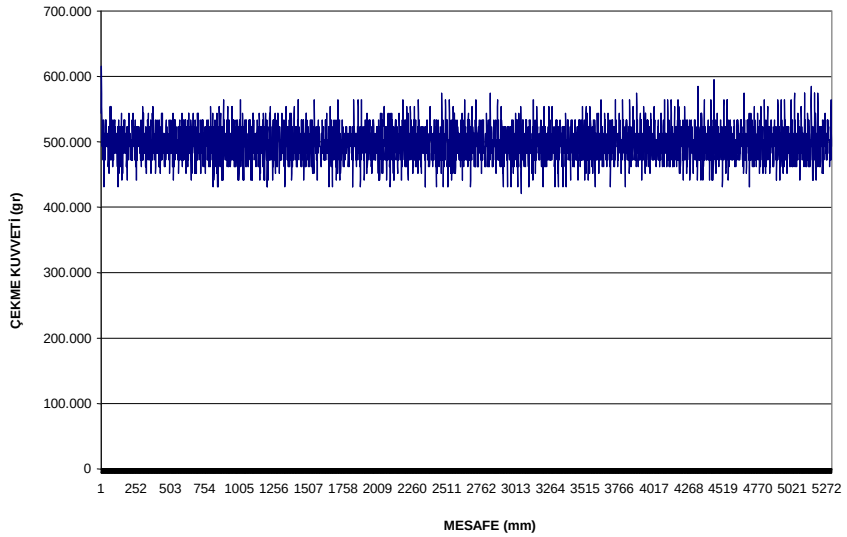
Tablo 3.4 D122-500 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı

	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_aktif_biti:M[illegible].0	Bit	2#0	
2	GER LIM:VD100	Floating Point	0.74	
3	AKIV:VD[illegible]	Floating Point	[illegible]	
4	DIRENC:VD112	Floating Point	7.911447	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD[illegible]	Floating Point	50	
6	MESAFE_mm:VD2010	Signed	+5000	
7	GERGINLIK:VD120	Floating Point	[illegible]	
8	gerginlik_se:_cegeri:VD[illegible]	Floating Point	[illegible]	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTIFI_MESAFE:VD1200	Signed	+8514	
14	mm_dak:VD1804	Floating Point	47.0	



Şekil 3.10 D122-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

Şekil 3.11'de D122-500 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.11 D122-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

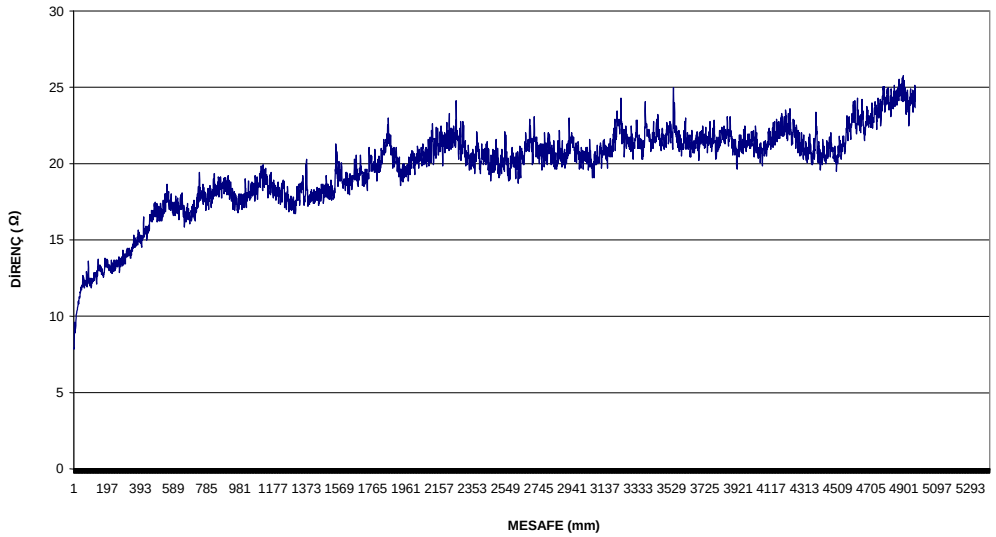
3.4.1.4-D122-1000 İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (Şekil 3.9). Makaralar arası mesafe yatayda 500 mm, düşeyde 700 mm'dir.

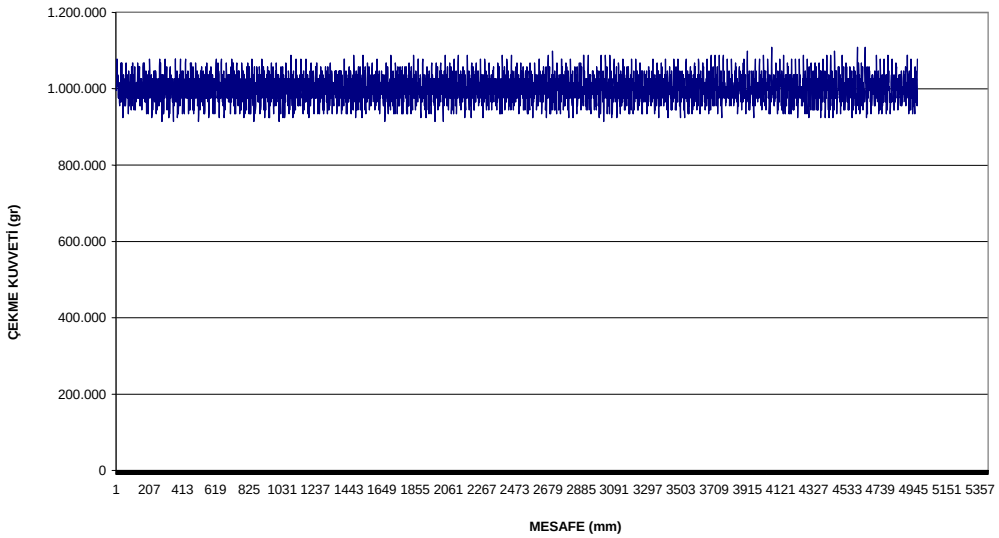
Tablo 3.5 D122-1000 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı

	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_akü[_bit.M1.3	Bit	2#0	
2	GER LIM:VD100	Floating Point	0,795	
3	AKIM:VD130	Floating Point	0,392979C	
4	DIRENÇ:VD112	Floating Point	8,550244	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD200	Floating Point	5,3	
6	MESAFE_mm:VD2010	Signed	-5000	
7	GERGİNLİK:VD120	Floating Point	1066,037	
8	gerginlik_set_degeri:VD1500	Floating Point	1000,0	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLa.M0.2	Bit	2#0	
12	U_U_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTUEL_MESAFE:VD1200	Signed	-4500	
14	rpm_dak:VD1874	Floating Point	470,0	

D122-1000 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.5'de verilmiştir. Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.12'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.12 D122-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

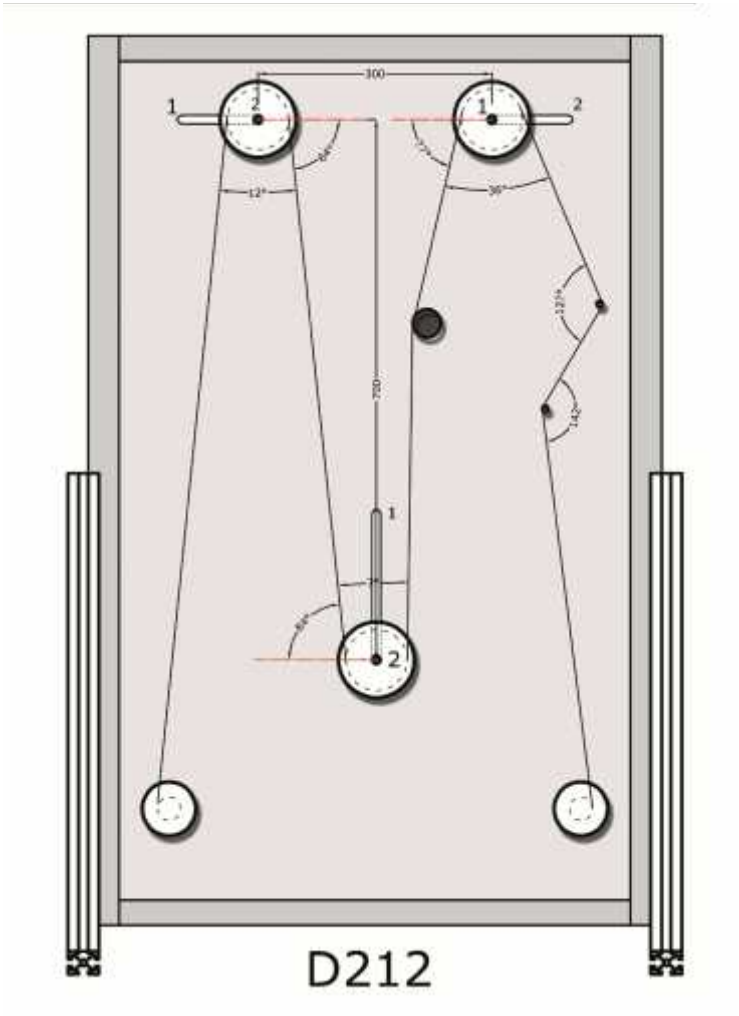


Şekil 3.13 D122-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

Şekil 3.13'de D122-1000 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.

3.4.1.5-D212-500 İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 2 konumunda, ikinci makara 1 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (Şekil 3.14). Makaralar arası mesafe yatayda 300 mm, düşeyde 700 mm'dir.

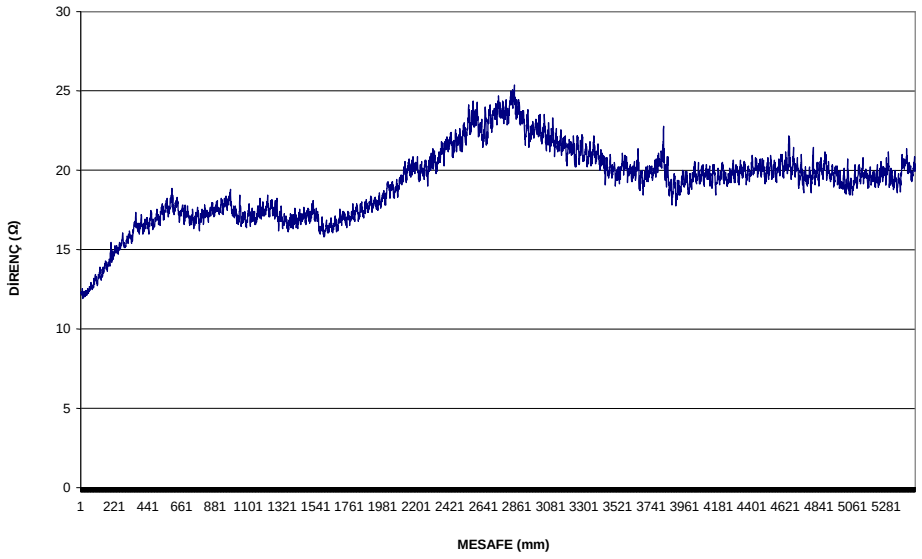


Şekil 3.14 D212 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

Tablo 3.6 D212-500 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı

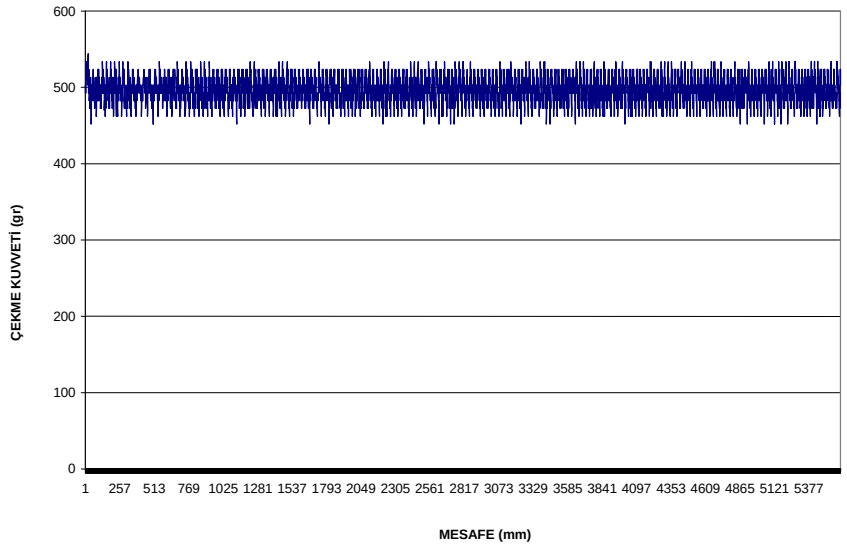
	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_aktif_bit:M1.0	Bit	2#0	
2	GERILIM:VD100	Floating Point	0.735	
3	AKIM:VD108	Floating Point	0.09358586	
4	DIRENÇ:VD112	Floating Point	7.85075	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD2000	Signed	5000	
7	GERGINLIK:VD120	Floating Point	503.0155	
8	gerginlik_set_degeri:VD1500	Floating Point	500.0	
9	MANUEL_MODE M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTUEL_MESAFE:VD1200	Signed	-4001	
14	rpm_dak:VD1804	Floating Point	470.0	

D212-500 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.6'da verilmiştir. Gerginlik set değeri 500 gr'dır. Şekil 3.15'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.15 D212-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

Şekil 3.16'da D212-500 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.16 D212-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

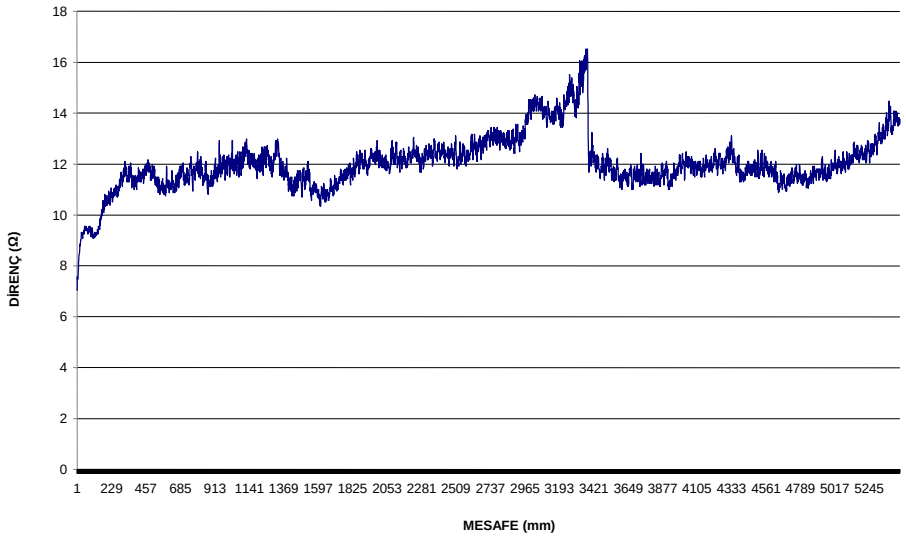
3.4.1.6 D212-1000 İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 2 konumunda, ikinci makara 1 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (Şekil 3.14). Makaralar arası mesafe yatayda 300 mm, düşeyde 700 mm'dir.

Tablo 3.7 D212-1000 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı

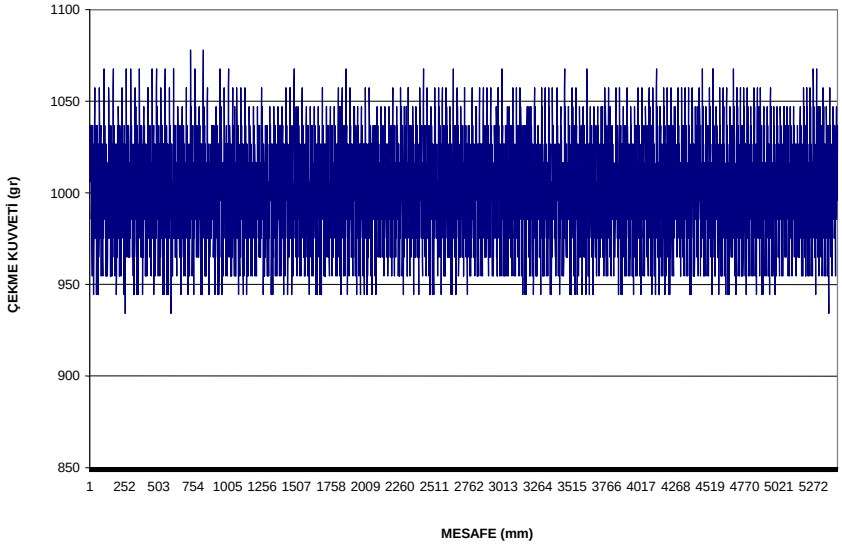
	Address	Format	Current Value	New Value
1	:cat_cikti_bit:M1.C	Bit	2#0	
2	SEFILIM:VD100	Floating Point	0.69	
3	AKIM:VD108	Floating Point	0.0941041	
4	DIRENÇ:VD112	Floating Point	7.007271	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD2010	Signed	+5000	
7	SEFGINLIK:VD120	Floating Point	985.4998	
8	gergirlik_set_degeri:VD 500	Floating Point	1000.0	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#0	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	DTC_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTIF1_MESAFE:VD1200	Signed	+4691	
14	mm_dak:VD1804	Floating Point	170.0	

D212-1000 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.6'da verilmiştir. Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.17'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.17 D212-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

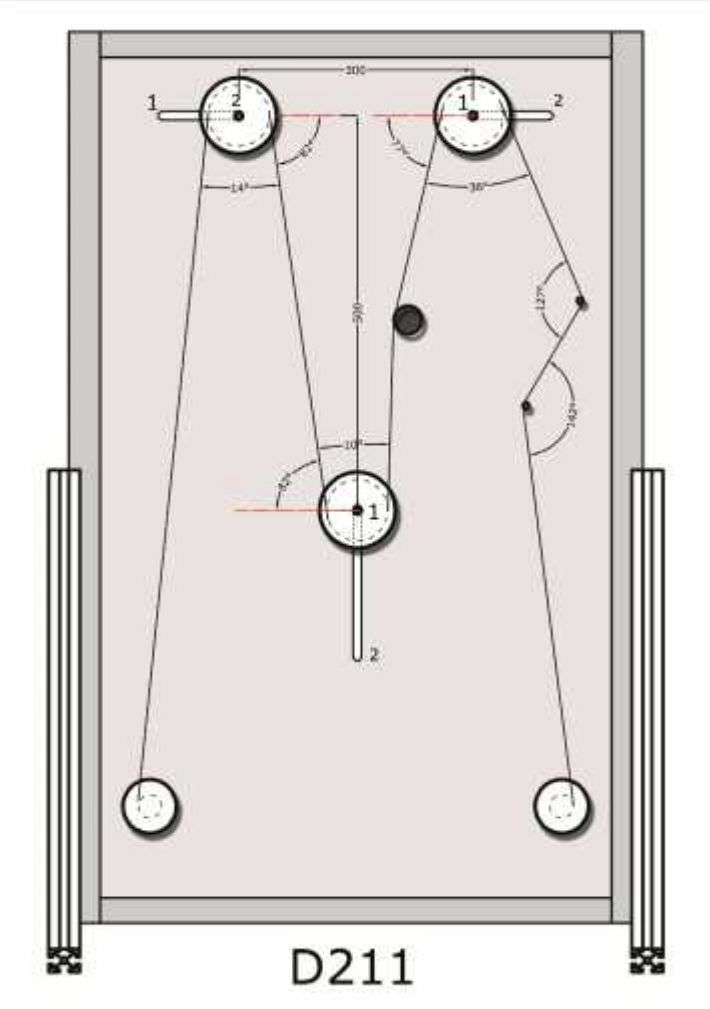
Şekil 3.18'de D212-1000 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.18 D212-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

3.4.1.7 D211- 500 ve D211-1000 Koşulları İçin Elde Edilen Sonuçlar

Oluşturulan koşulda, birinci makara 2 konumunda, ikinci makara 1 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.19). Makaralar arası mesafe yatayda 300 mm, düşeyde 700 mm'dir.



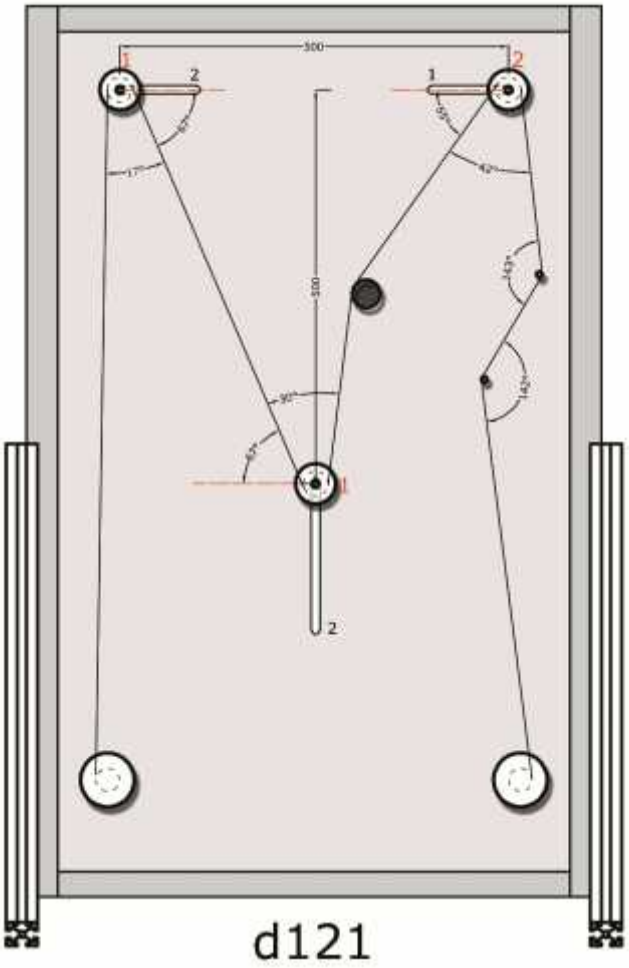
Şekil 3.19 D211 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

D211 konumunda elyafın loadcelle yetersiz teması nedeniyle sağlıklı ölçüm yapılamamıştır.

3.4.2 d (32.2 mm) Çaplı Makaraya Ait Sonuçlar

3.4.2.1 d121-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.20). Makaralar arası mesafe yatayda ve düşeyde 500 mm’dir.

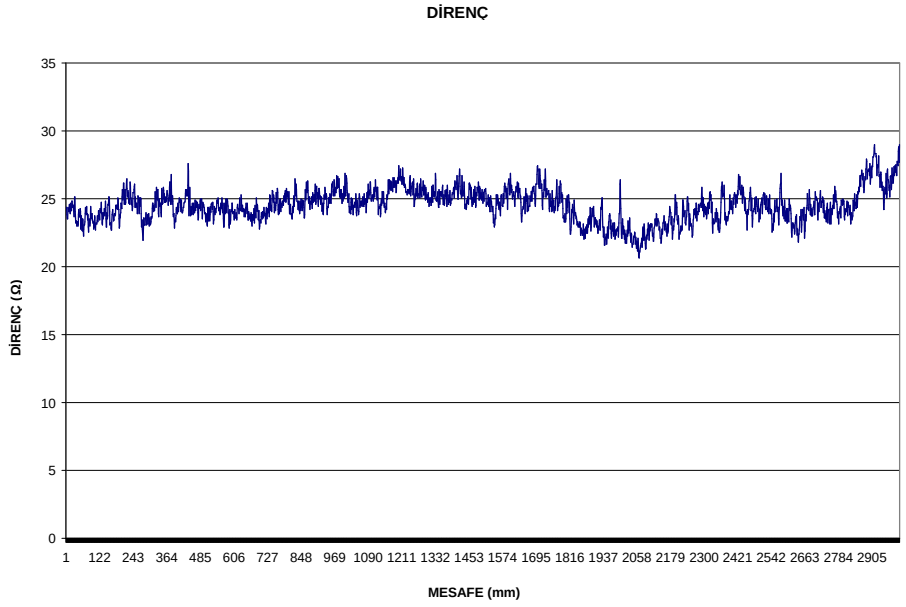


Şekil 3.20 d121 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

Tablo 3.8 d121-1000 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı

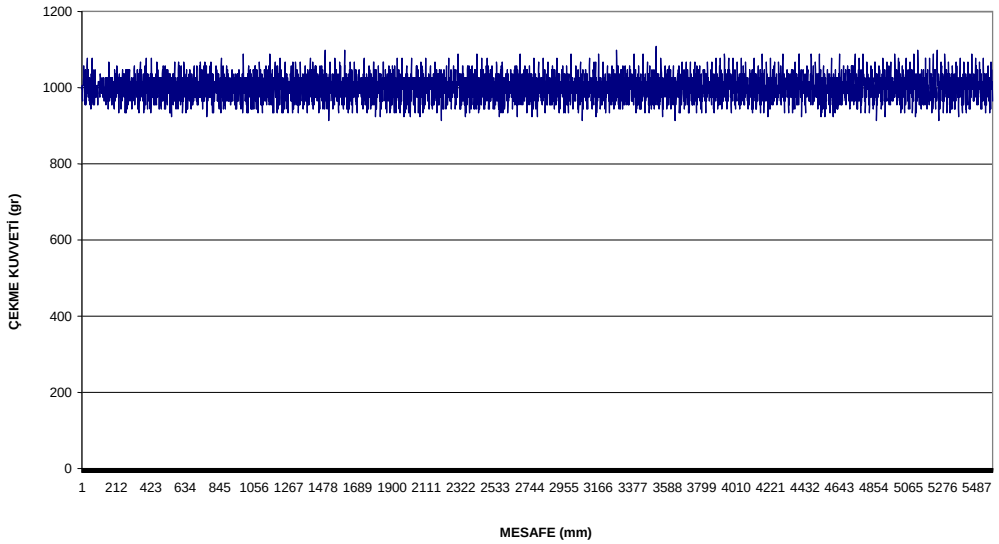
	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_ekti_bb:M1.0	Bit	2#0	
2	GERILIM:VD100	Floating Point	0.745	
3	AKIM:VD118	Floating Point	0.0954845	
4	DIRENC:VD112	Floating Point	7.935206	
5	SERVO_HIZ_R-M:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD2010	Signed	+4000	
7	GERGINLIK:VD120	Floating Point	955.7654	
8	gergirlik_set_degeri:VD1500	Floating Point	1000.0	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTIFI_VERSAFF:VD 2011	Signed	+4799	
14	mm_dak:VD1304	Floating Point	470.0	

d121- 1000 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.8'de verilmiştir. Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.21'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.21 d121-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

Şekil 3.22'de d121-1000 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.22 d121-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

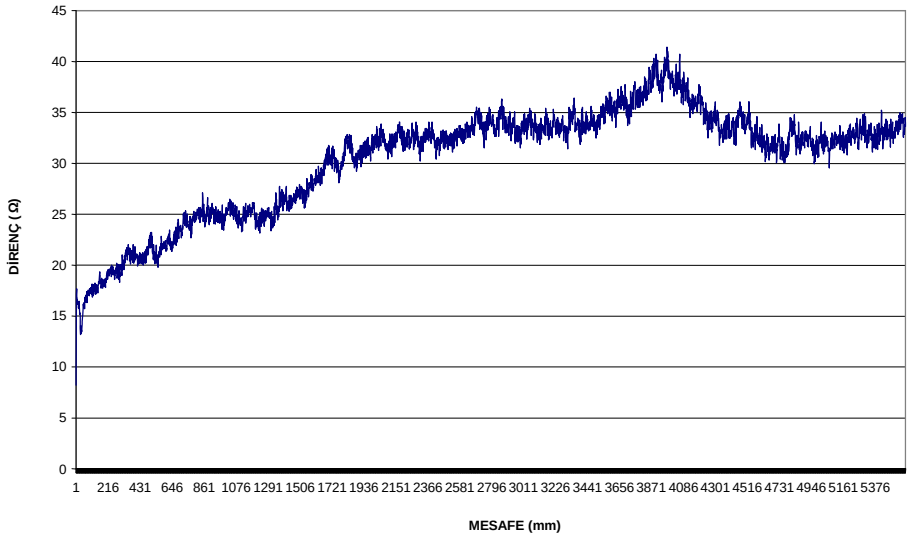
3.4.2.2 d121-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.20). Makaralar arası mesafe yatayda ve düşeyde 500 mm'dir.

Tablo 3.9 d121- 500 İçin PLC' de Okunan Durum Kartı

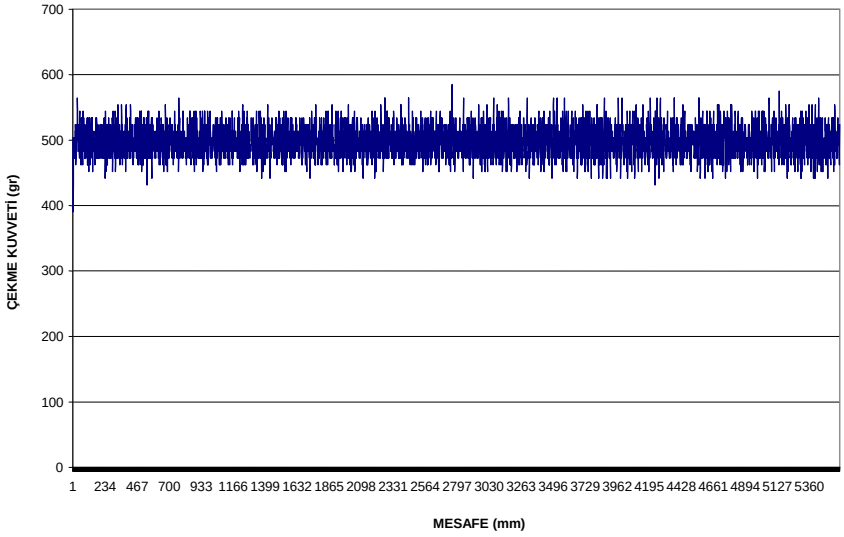
	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_aktif_bit:M1.0	Bit	2#0	
2	GERILIM:VD100	Floating Point	0.3	
3	AKIM:VD108	Floating Point	0.39292529	
4	DIRENÇ:VD112	Floating Point	8.508696	
5	SENSÖR_HIZ_ADIM:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_sim:VD2010	Signed	+4600	
7	GERGİN_IK:VD120	Floating Point	792.7499	
8	gerginlik_set_degeri:VD1500	Floating Point	500.0	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#1	
10	LOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	LOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AKTUEL_MESAFE:VD1200	Signed	+91	
14	sim_dak:VD1804	Floating Point	47.0	

d121- 500 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.9'da verilmiştir. Gerginlik set değeri 500gr'dır. Şekil 3.23'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.23 d121-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

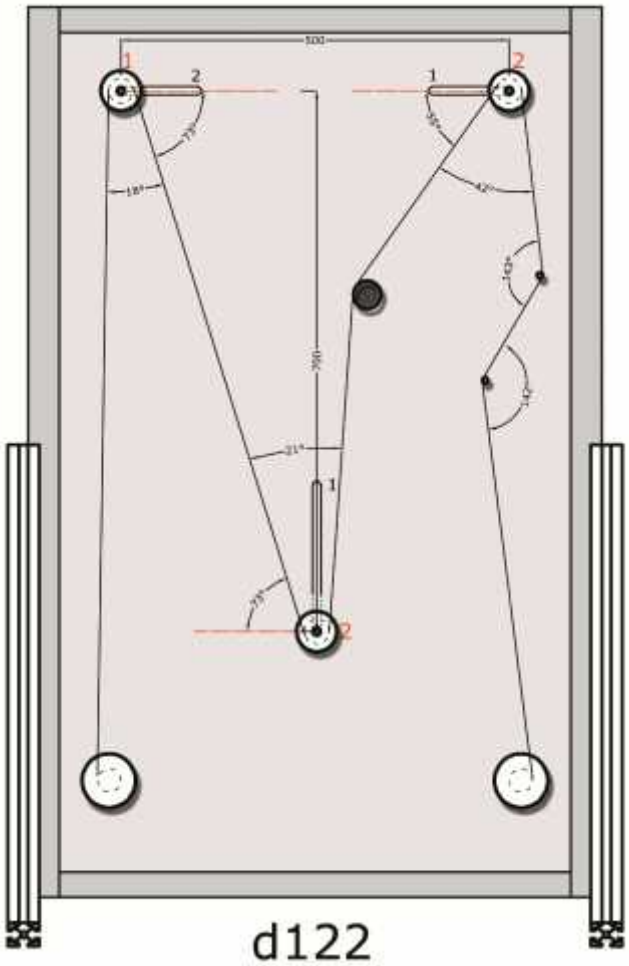
Şekil 3.24'de d121-500 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.24 d121-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

3.4.2.3 d122-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (Şekil 3.25). Makaralar arası mesafe yatayda 500 mm, düşeyde 700 mm'dir.

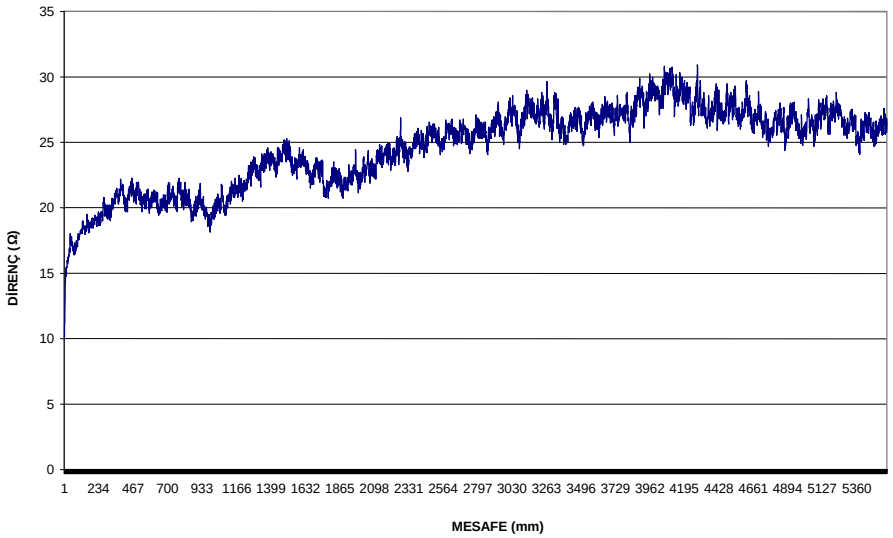


Şekil 3.25 d122 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

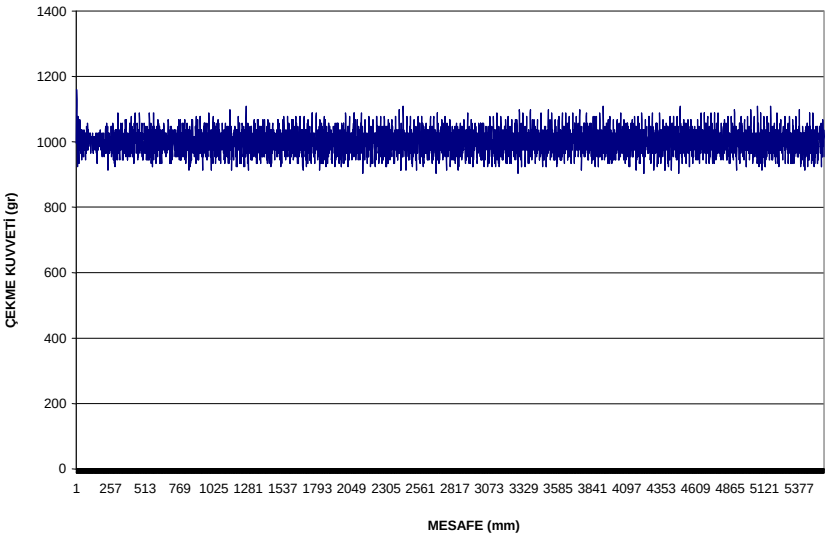
Tablo 3.10 d122- 1000 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı

	Address	Format	Current Value	New Value
1	:ost_aktif_bit:M1.0	Bit	2#0	
2	BEFLIM.VD100	Floating Point	0.945	
3	AKIM:VD108	Floating Point	0.0914646	
4	DIRENÇ:VD112	Floating Point	10.00100	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD201C	Signed	4800	
7	BEFGINLIK:VD120	Floating Point	1.00E-03	
8	gerginlik_set_deger:VD1500	Floating Point	1000.0	
9	MANUEL_MODE:M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA:M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	1
13	AKIMLER_MESAFE:VD1200	Signed	-4755	
14	rm_cek:VD1004	Floating Point	470.0	

d122-1000 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.10'da verilmiştir. Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.26'da gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.26 d122-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu



Şekil 3.27 d122-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

Şekil 3.27'de d122-1000 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.

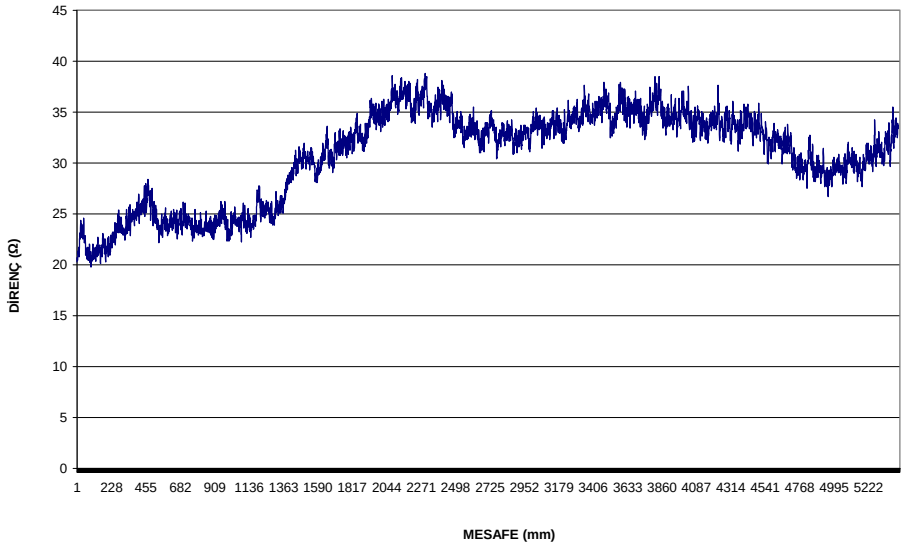
3.4.2.4 d122-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 1 konumunda, ikinci makara 2 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (Şekil 3.25). Makaralar arası mesafe yatayda 500 mm, düşeyde 700 mm'dir.

Tablo 3.11 d122- 500 İçin PLC'de Okunan Durum Kartı

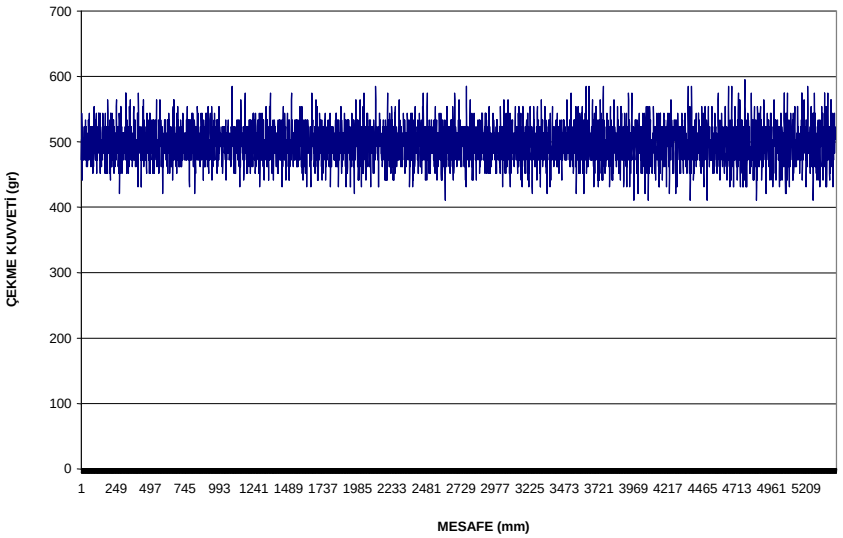
	Address	Format	Current Value	New Value
1	test_aklif_bit:M[illegible]	Bit	2#0	
2	GER LIM:VD100	Floating Point	1.63	
3	AEIM:VD[illegible]8	Floating Point	1.0826454e-6	
4	DIFENC:VD112	Floating Point	15.27957	
5	SERVO_HIZ_RPM:VD200	Floating Point	5.0	
6	MESAFE_mm:VD2[illegible]0	Signed	+4803	
7	GERGINLIK:VD120	Floating Point	462.4843	
8	gerginlik_se:_degeri:VD[illegible]500	Floating Point	500.0	
9	MANUEL_MOD[illegible] M0.0	Bit	2#1	
10	JOG_SAGA M0.1	Bit	2#0	
11	JOG_SOLA:M0.2	Bit	2#0	
12	OTO_START:M1.1	Bit	2#0	
13	AR. UE._MESAFE:VD1200	Signed	+1094	
14	mm_dak:VD1004	Floating Point	470.0	

d122-500 koşulu için, PLC ekranından okunan değerler Tablo 3.11'de verilmiştir. Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.28'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.28 d122-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

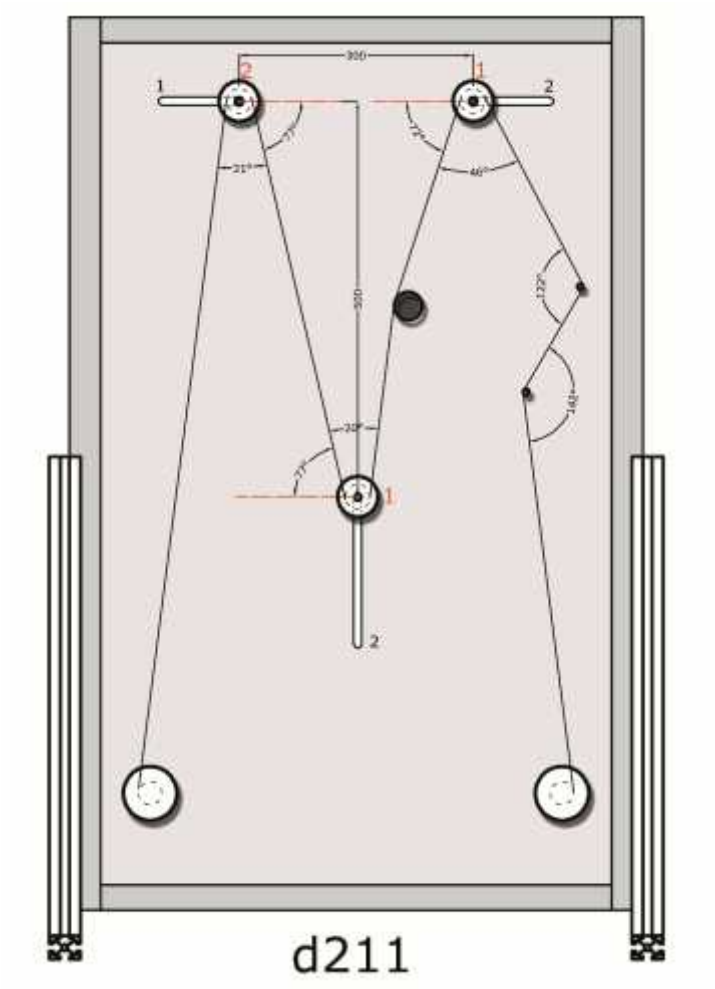
Şekil 3.29'da d122-500 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.29 d122-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

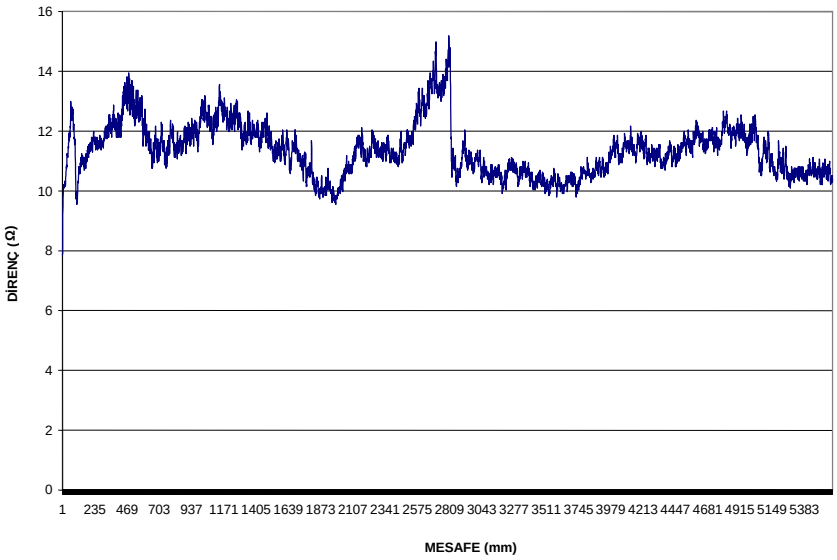
3.4.2.5 d211-1000 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 2 konumunda, ikinci makara 1 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.30). Makaralar arası mesafe yatayda 300 mm, düşeyde 500 mm'dir.



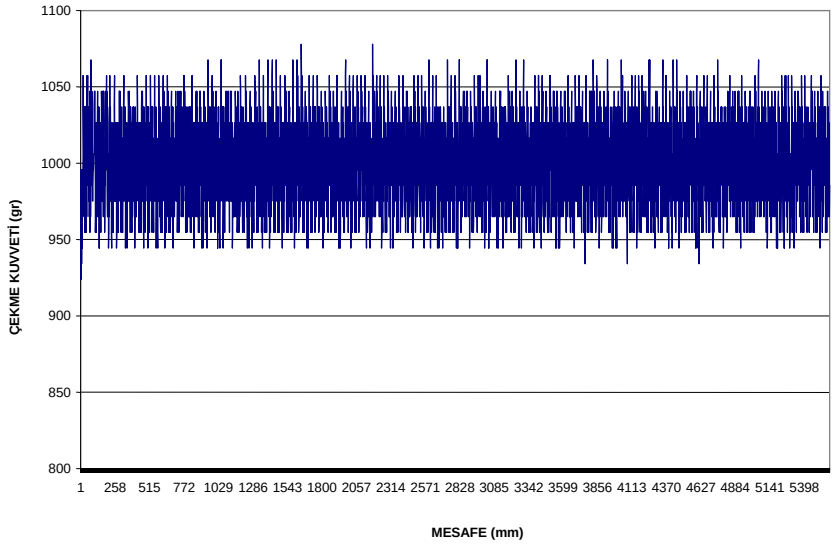
Şekil 3.30 d211 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

Şekil 3.31'de d211-1000 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.



Şekil 3.31 d211-1000 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

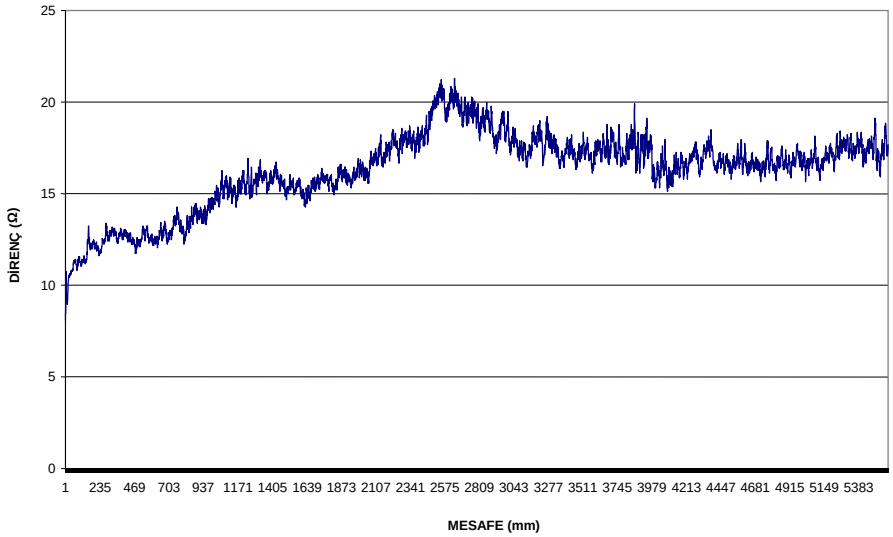
d211- 1000 koşulu için, Gerginlik set değeri 1000 gr'dır. Şekil 3.32'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.



Şekil 3.32 d211-1000 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

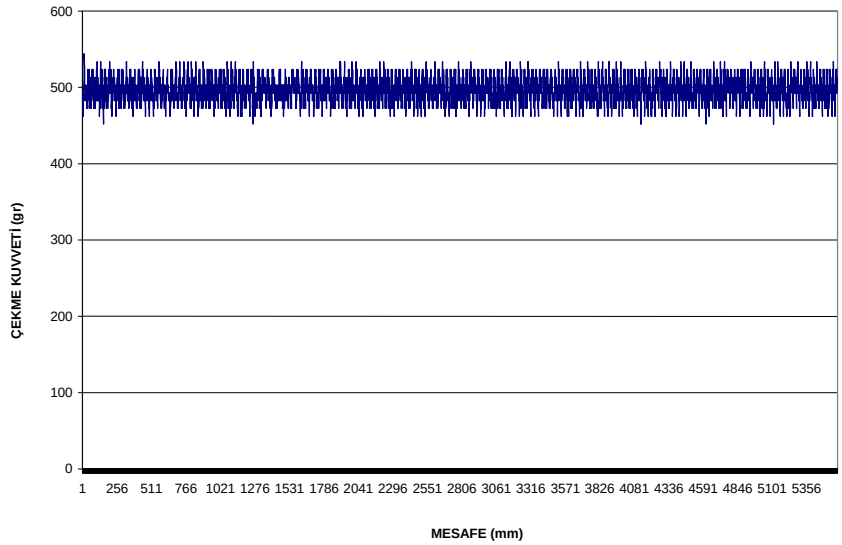
3.4.2.6 d211-500 Koşulu İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 2 konumunda, ikinci makara 1 konumunda, üçüncü makara 1 konumundadır (Şekil 3.30). Makaralar arası mesafe yatayda 300 mm, düşeyde 500mm'dir.



Şekil 3.33 d211-500 Koşulu İçin Direnç Değişimiyle Gözlenen Hasar Oluşumu

Şekil 3.33'de d211-500 koşulu için elyafın hasar durumu gözlenmektedir. Dirençteki ani değişimler kopma anlarını göstermektedir.

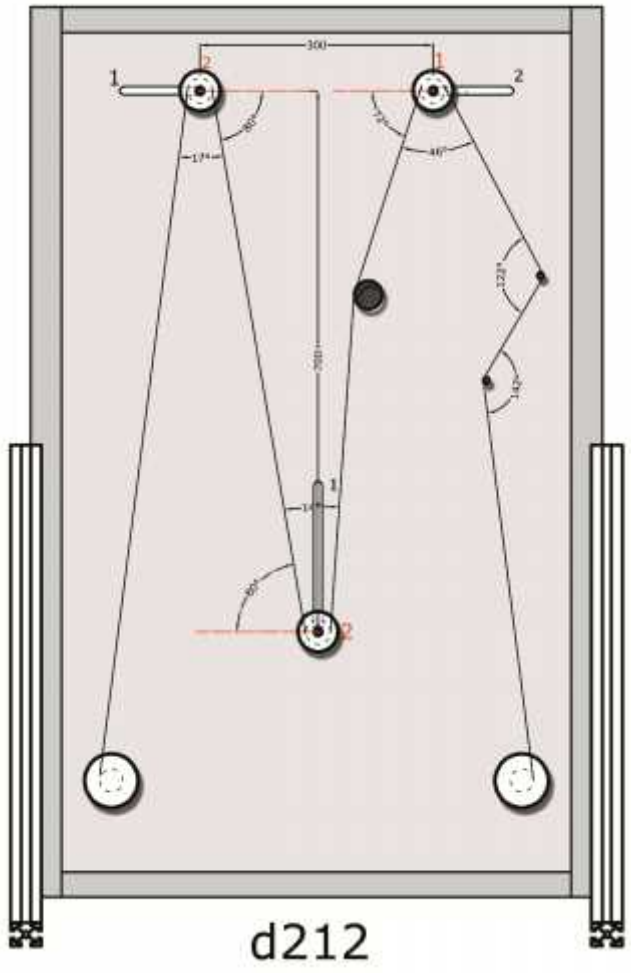


Şekil 3.34 d211-500 Koşulu İçin Çekme Kuvveti

d211-500 koşulu için, gerginlik set değeri 500 gr'dır. Şekil 3.34'de gerginlik değerinin stabilitesi gözlenmektedir.

3.4.2.7 d212-500 ve d212-1000 Koşulları İçin Elde Edilen Veriler

Oluşturulan koşulda, birinci makara 2 konumunda, ikinci makara 1 konumunda, üçüncü makara 2 konumundadır (şekil 3.35).



Şekil 3.35 d212 Koşulu İçin Düzenek Görünümü

d212 konumunda elyafın loadcelle yetersiz teması nedeniyle sağlıklı ölçüm yapılamamıştır.

3.5 Çekme Deneyi

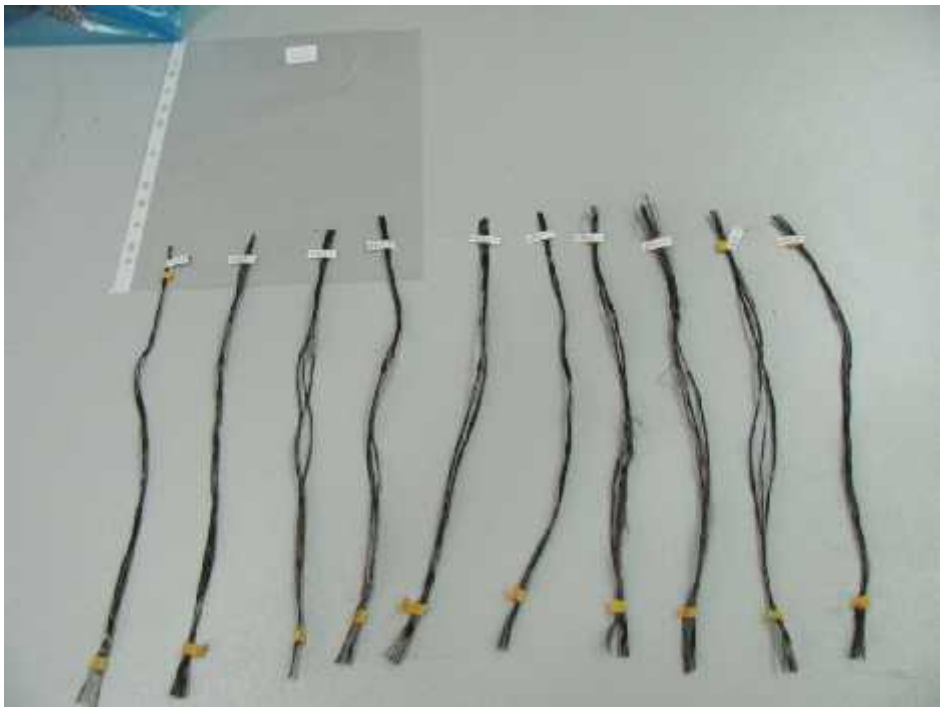
Malzeme seçiminde mekanik özellikler esas alınır. Malzemelerin mekanik özellikleri de içyapılarına bağlıdır. Tahribatlı malzeme muayenesi de daha çok mekanik deneylerle gerçekleştirilir. Malzemelerin mekanik davranışlarını incelemek ve yapılarıyla özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için farklı mekanik deneyler yapılır. Ancak yapılan mekanik deneyler içerisinde en yaygın olanı çekme deneyidir. Bunun nedeni de çekme deneyinden hem malzemelerin mekanik davranışlarıyla ilgili sonuçlar elde edilmesi hem de elde edilen sonuçların mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılmasıdır. Bu durum, çekme deneyinin tahribatlı malzeme muayenesi yöntemleri içerisinde en önemli yere sahip olduğunu göstermektedir.

Çekme deneyinin bu çalışmada yapılma amacı ise; yalnızca karbon elyafın, statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemek değil, tahribatsız muayene sonucu elde edilen verilerle çekme deneyi sonucu elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. Sonuçlar arasında paralellik olması, cihazın güvenilirliğini bir kat daha arttıracaktır.

Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tekstil Eğitimi Bölümü, Fiziksel Testler Laboratuarında, Instron 4411 cihazıyla, %65 nem ve 20±2 ^{0}C sıcaklıkta yapılan çekme deneyi; hasarsız karbon elyaf ve direnç ölçümü yoluyla 12 farklı pozisyonda hasar analizi yapılmış çeşitli elyaf numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.5 Instron 4411 Test Cihazı



Resim 3.6 Çekme Numuneleri

Deneyler ASTM 4018-99 “Standart Test Methods For Properties Of Continous Filament Carbon And Grafit Fiber Tows” standardına uygun olarak numune boyları, çekme çeneleri arası mesafe (lo) 150 olacak şekilde hazırlanmıştır. (Resim 3.10)



Resim 3.7 Çekme Çenelerine Numunenin Bağlanışı

Çekme deneyi, 5 mm/dak. hız ve 5 KN’luk çekme kuvveti ile gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.8 Çekme Cihazının Kontrol Paneli

Çekme çeneleri arası mesafe 150mm'ye set edilmiştir. Çekme cihazının bilgisayar bağlantısı ve ara yüz programı bulunmadığından, cihaz üzerinden okunan çekme kuvveti (kgf) ve % uzama, maksimum peak değerleri alınarak manuel kaydedilmiştir.

Deneyler, 6 farklı pozisyonda ve iki farklı çekme kuvveti uygulanarak ön gerilmeyle sarılan, 12 ayrı tip ve yaklaşık 120 deney numunesi üzerinde yapılmıştır. Ölçümler sonucu alınan sonuçlar Tablo 3.12'deki değerler yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 3.12 T700SC-12000 Karbon Elyafın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

T700SC-12000	**Demetteki Elyaf Lifi Sayısı**	**Kesiti A(mm2)**	**Elyaf Lif Çapı(mm)**	**Çekme Dayanımı(Mpa)**	**ε (%)**	**Yoğunluk (gr/cm3)**
	1200	0,4618	0,007	4900	2,1	1,8

Okunan değerler ile D makarası için hesaplanan veriler Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13 D Makarasına Ait Ölçülen Ve Hesaplanan Değerler Tablosu

		ÖLÇÜLEN DEĞERLER		HESAPLANAN DEĞERLER		
POZİSYON ADI	NUMUNE KODU	ÇEKME KUVVETİ (N)	%ε	ÇEKME GERİLMESİ (MPA)	ORTALAMA	STANDART SAPMA
D121-500	I2	534,162779	2,37	1156,19649	545,897	14,643
	I6	541,223495	2,44	1171,47943		
	II3	562,307577	2,01	1217,11597		
D121-1000	I3	530,730486	2,34	1148,76729	535,6664	12,8433
	II4	550,245521	2,35	1191,00762		
	II2	526,023342	2,09	1138,57866		
D122-500	I2	591,825293	2,20	1281,00713	578,4883	14,1299
	I6	563,680494	1,94	1220,08765		
	II6	579,959367	2,25	1255,32331		
D122-1000	I2	541,223495	2,07	1171,47943	532,136	7,8699
	I5	527,59239	2,06	1141,97487		
	II2	527,59239	2,06	1141,97487		
D212-500	I1	453,749069	2,25	982,140841	463,6863	14,5789
	I5	480,422885	2,46	1039,87637		
	II4	456,887165	2,29	988,933256		
D212-1000	I4	450,414842	2,37	974,923899	457,377	7,274
	II4	464,928536	2,37	1006,33882		
	II3	456,789099	2,30	988,720994		

Okunan değerler ile d makarası için hesaplanan veriler Tablo 3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.14 d Makarasına Ait Ölçülen ve Hesaplanan Değerler Tablosu

		ÖLÇÜLEN DEĞERLER		HESAPLANAN DEĞERLER		
POZİSYON ADI	NUMUNE KODU	ÇEKME KUVVETİ (N)	%ε	ÇEKME GERİLMESİ (MPA)	ORTALAMA	STANDART SAPMA
d121-500	I4	587,12	2,48	1270,819	578,59	19,7253
	II3	556,03	2,21	1203,531		
	II2	592,61	2,59	1282,705		
d121-1000	I3	637,3277	2,30	1379,497	665,4397	25,0935
	I5	673,4158	2,34	1457,61		
	II3	685,5759	2,38	1483,931		
d211-500	I1	549,461	2,22	1189,31	555,6718	9,6744
	II4	550,7358	2,28	1192,069		
	II3	566,8186	2,05	1226,88		
d211-1000	I3	455,7104	1,87	986,3861	438,32	22,6856
	II4	446,5903	1,76	966,6456		
	II3	412,6596	2,10	893,2026		
d122-500	II3	527,2982	2,44	1141,338	526,154	2,6898
	II2	523,0814	2,33	1132,211		
	II1	528,0827	2,30	1143,036		
d122-1000	I3	603,6912	2,48	1306,691	594,7018	12,4825
	II5	580,4497	2,40	1256,385		
	II2	599,9647	2,63	1298,625		



Resim 3.9.a



Resim 3.9.b

Resim 3.9 a ve b Çekme Deneyi Esnasında Hasara Uğrayan Elyaf Numuneleri

BÖLÜM 4

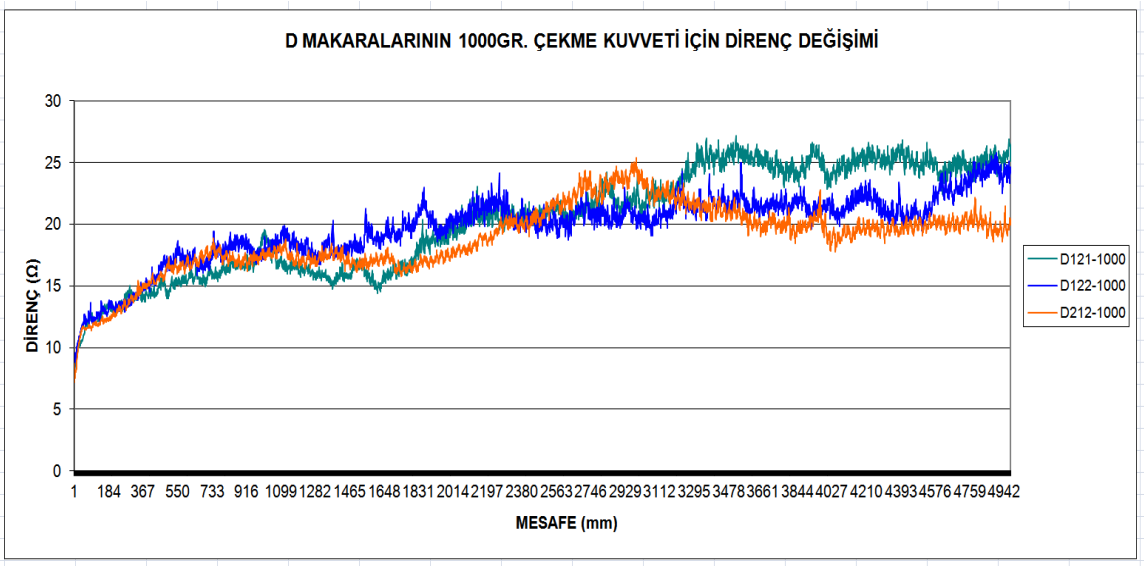
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Karbon Elyaf Hasarlarının Belirlenmesinde DC Direnç Ölçümü Sonuçları

DC direnç ölçüm metoduyla karbon elyaf hasarını tespit etmek konusunda yapılan çalışmada; sabit yük ve sabit hızda ön gerilme sisteminden geçen elyafın işlem anındaki hasarını ve var olan elyaf hasarları gözlemlenip, kaydedilmiştir.

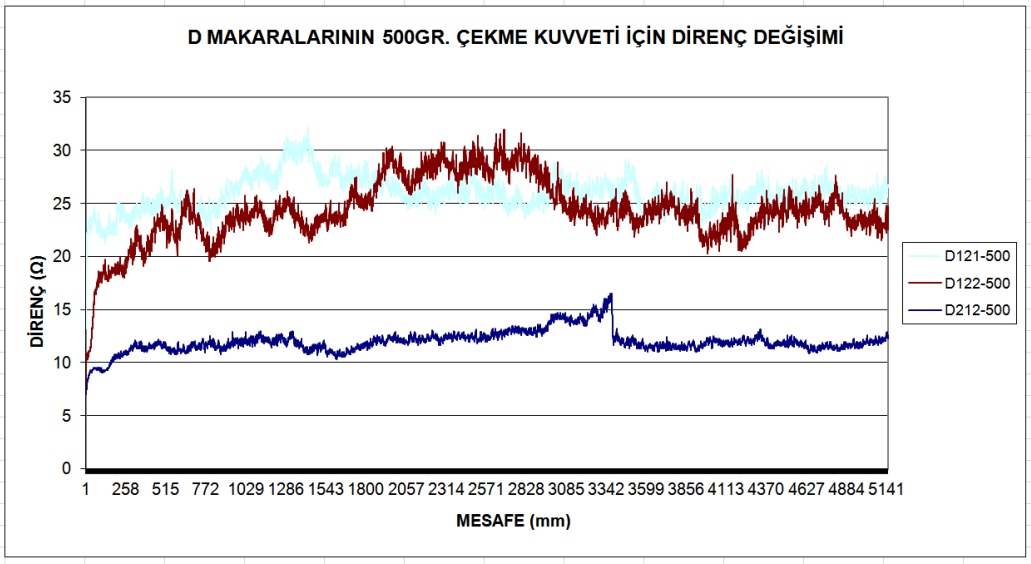
Çalışmada iki farklı çapta makara ile 500-1000 gr olmak üzere iki ayrı çekme kuvveti uygulanmıştır. Bu parametreleri tek tek incelersek;

D (78.9mm) çaplı makaralarıyla hazırlanan ön gerilme sisteminde, 1000 gr çekme kuvveti için direnç değişimiyle izlenen hasar oluşumunda, birbirlerine yakın değerler elde edilmekle beraber en az kırılmanın **D212-1000** koşulunda olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.1).



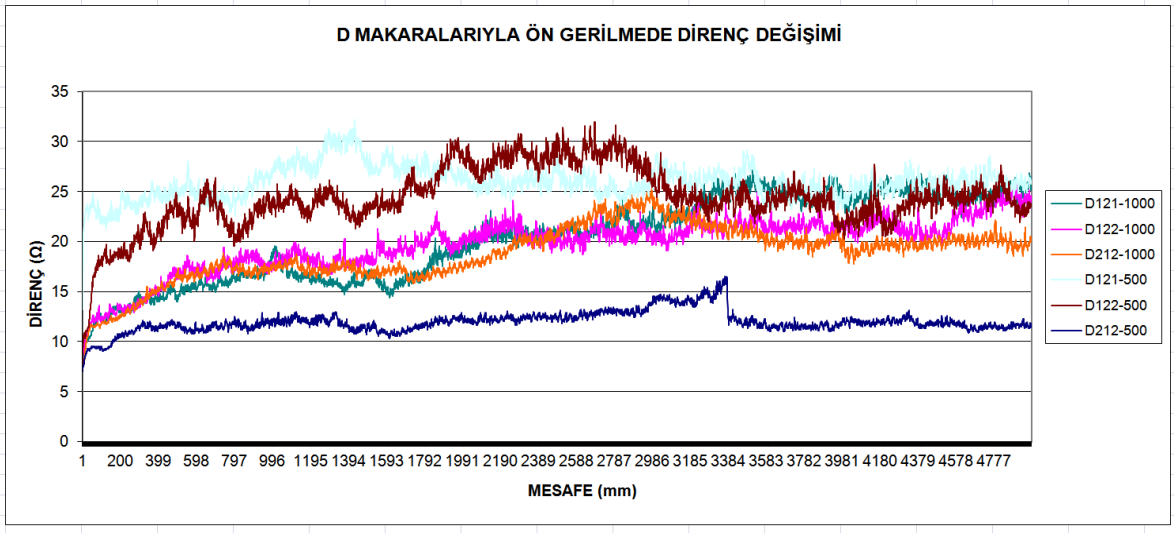
Şekil 4.1 D Makaralarında 1000 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi

D (78.9mm) çaplı makaralarıyla hazırlanan ön gerilme sisteminde, 500 gr çekme kuvveti için direnç değişimiyle izlenen hasar oluşumunda, **D212-500** pozisyonunda direnç değeri, diğer iki pozisyona göre düşük olup ortalama 12 Ω civarındadır. Şekil 4.2'de görülen pik değeri elyafın o noktadaki hasarını göstermektedir.



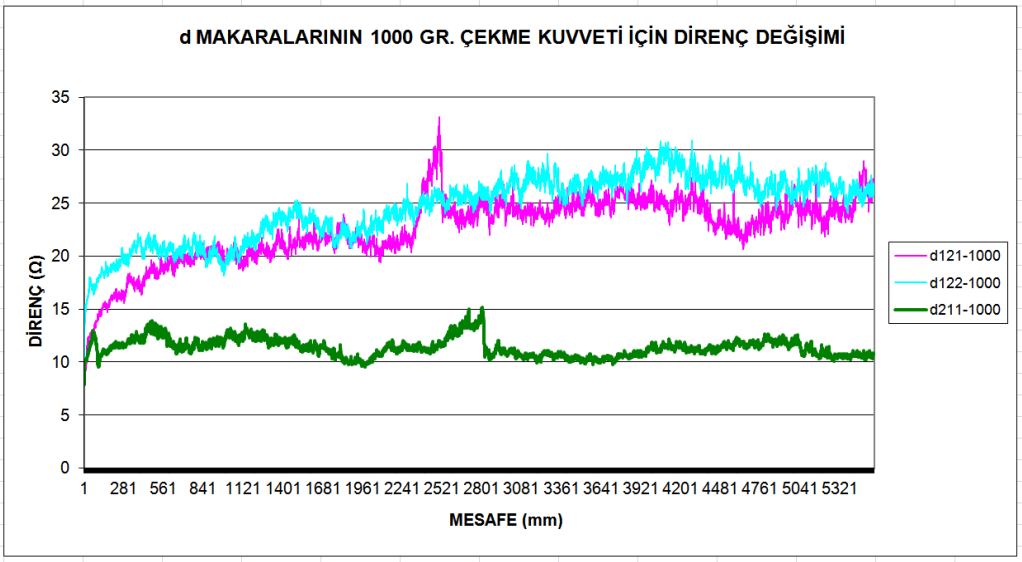
Şekil 4.2 D Makaralarında 500 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi

Tüm **D (78.9mm)** çaplı makaralarıyla hazırlanan ön gerilme sistemlerinde, 500 ve 1000 gr çekme kuvvetleri için direnç değişimiyle izlenen hasar oluşumunda, direnç ortalaması en düşük ve kararlı olan **D212** pozisyonunun elyafın çekme mukavemeti açısından en uygun pozisyon olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.3).



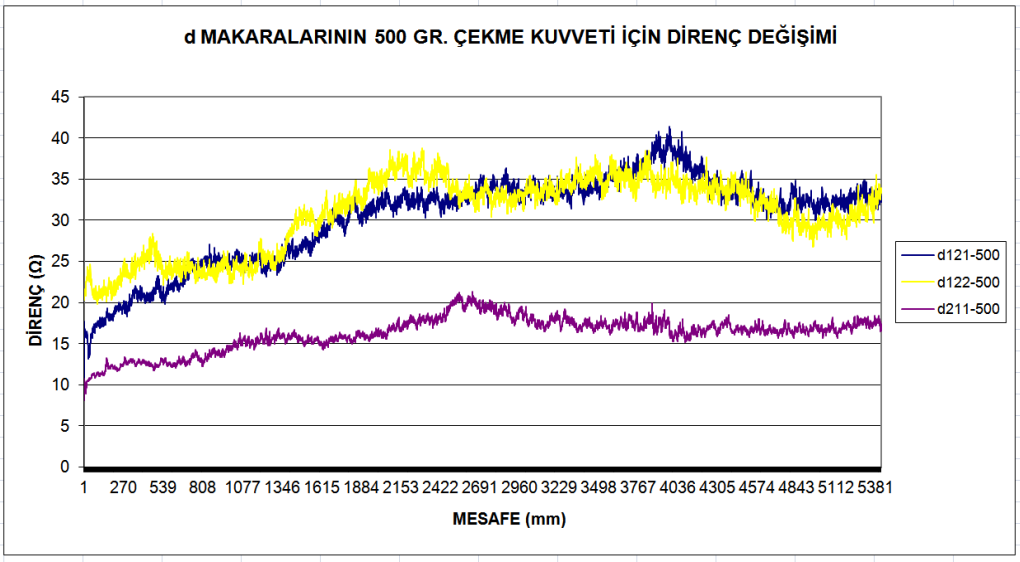
Şekil 4.3 Tüm D Makaralarında Direnç Değişimi

d (32.2mm) çaplı makaralarıyla hazırlanan ön gerilme sisteminde, 1000 gr çekme kuvveti için direnç değişimiyle hasar oluşumu izlenmiştir. **d211-1000** pozisyonunun yaklaşık 11 Ω ortalama direnç ile en düşük ve kararlı değer aldığı kaydedilmiştir. Grafikte görülen ani direnç değişikliği elyafın o noktasındaki hasarını göstermektedir. (Şekil 4.4).



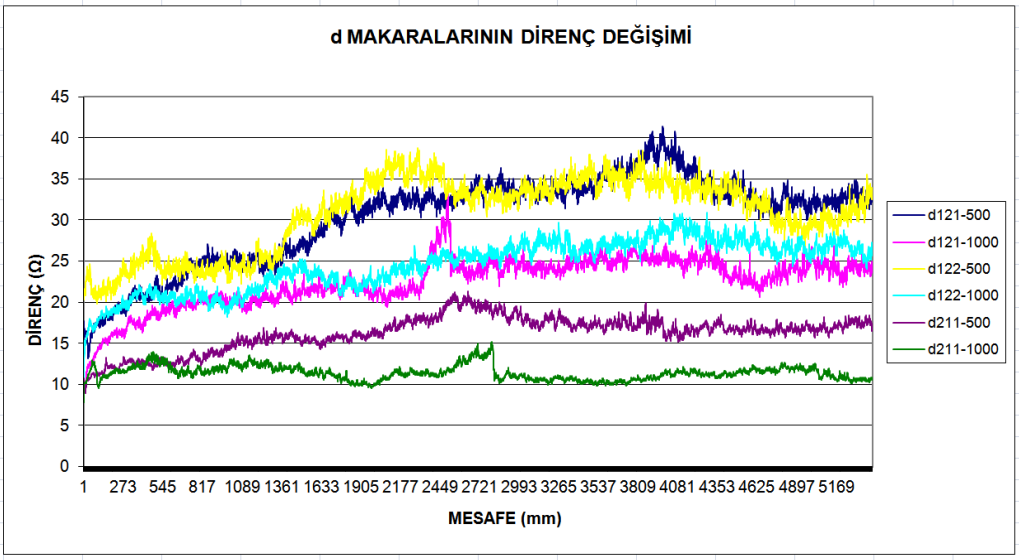
Şekil 4.4 d Makaralarında 1000 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi

d (32.2mm) çaplı makaralarıyla hazırlanan ön gerilme sisteminde, 500 gr çekme kuvveti için direnç değişimiyle izlenen hasar oluşumunda, yine **d212-500** pozisyonunun yaklaşık 16 Ω direnç ortalaması ile en düşük ve en kararlı değeri aldığı kaydedilmiştir (Şekil 4.5).



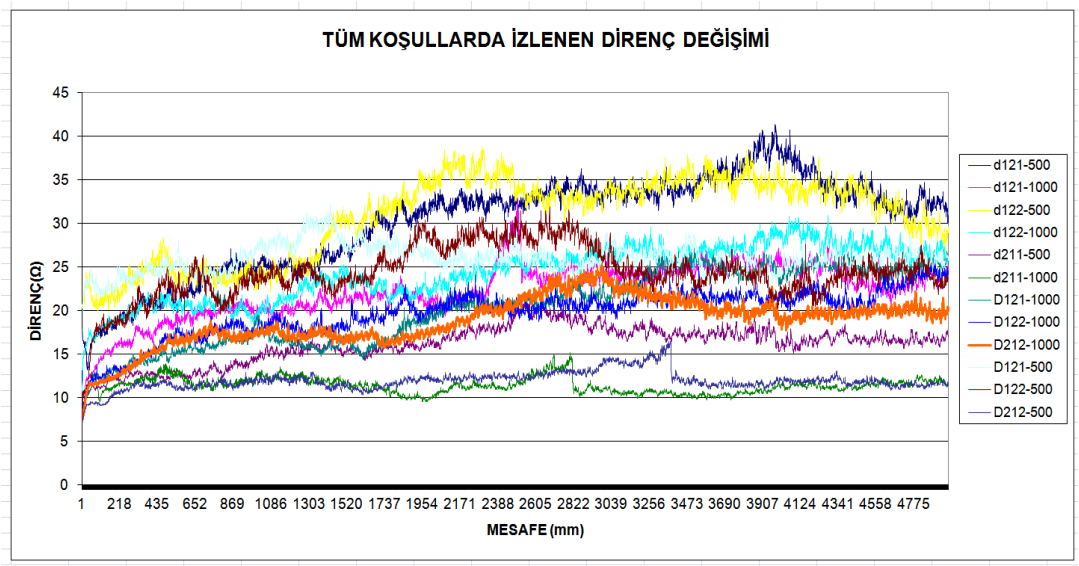
Şekil 4.5 d Makaralarında 500 gr Çekme Kuvvetindeki Direnç Değişimi

Tüm **d** (32,2mm) çaplı makaralarıyla hazırlanan ön gerilme sistemlerinde, 500 ve 1000 gr çekme kuvvetleri için direnç değişimiyle izlenen hasar oluşumunda, optimum sonucun **d212** pozisyonunun ortalama direnç değerlerinin en düşük olmakla beraber her iki çekme kuvvetinde de en kararlı pozisyon olduğu görülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Tüm d Makaralarında Direnç Değişimi

Makara çapları ve çekme kuvvetleri farklı tüm pozisyonların bulunduğu direnç değişim grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. **D212-500, d211-500, d 211-1000** pozisyonları düşük direnç değerine ve kararlılığa sahiptir. Bu da ön gerilme sisteminden geçen karbon elyafın sarın esnasında diğer pozisyonlara göre en az hasara uğradığını göstermektedir.



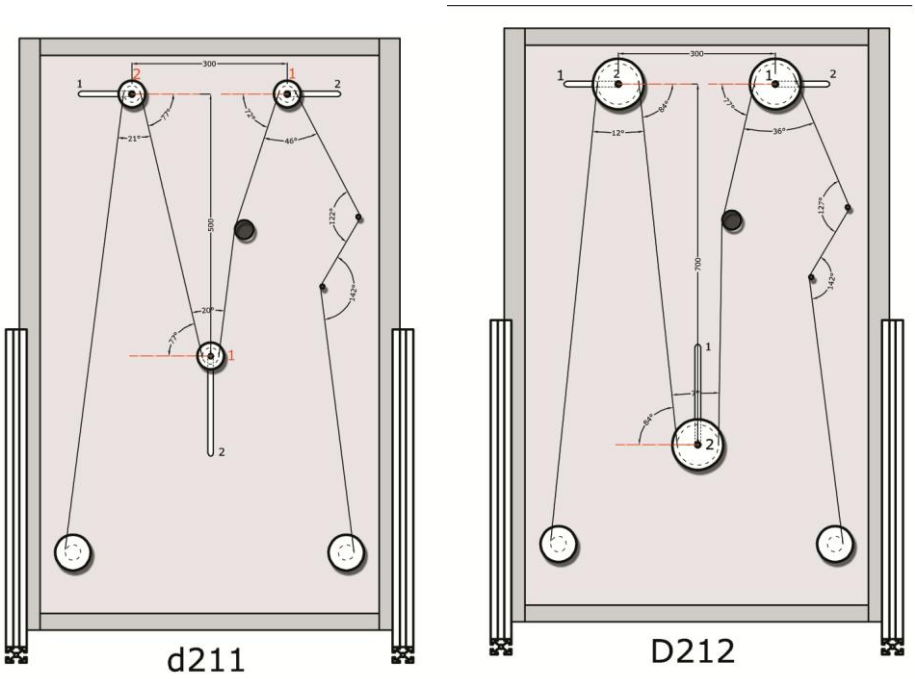
Şekil 4.7 Tüm Koşullarda İzlenen Direnç Değişimlerinin Karşılaştırılması

Büyük çaplı (D 78,9mm) makarada ve küçük çaplı (d 32,2) makarada 1000 gr çekme kuvvetinin uygun çekme kuvveti olduğu söylenebilir.

211 ve 212 koşulunu her iki makara çapı için denenememiştir. D211 ve d212 pozisyonlarında loadcellin karbon elyafa temas miktarı azaldığından sistem hız ve çekme kuvveti kontrolü yapamamıştır. Bu yüzden 211 ve 212 pozisyonu iki farklı çaptaki makarada izlenememiştir.

Elde edilen verilen ışığında;

- d211 ve D212 pozisyonu, imal edilen sistemin en uygun pozisyonu olduğu (Şekil4.8)

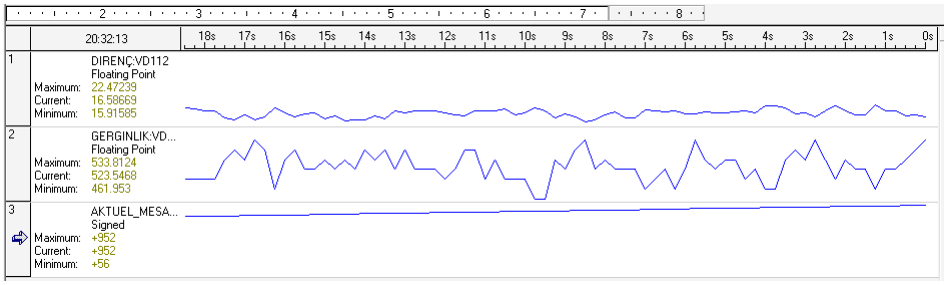


Şekil 4.8 Üretilen Sistemde, Karbon Elyafın En Az Hasara Uğradığı İki Koşul

Makara çapı ve makaralar arası mesafelere bağlı olarak hazırladığımız deney düzeneği senaryolarında, iki farklı çekme kuvveti ve sabit hız uygulanmış, iki prob arası mesafe sabit tutulmuştur. Bu sistemde;

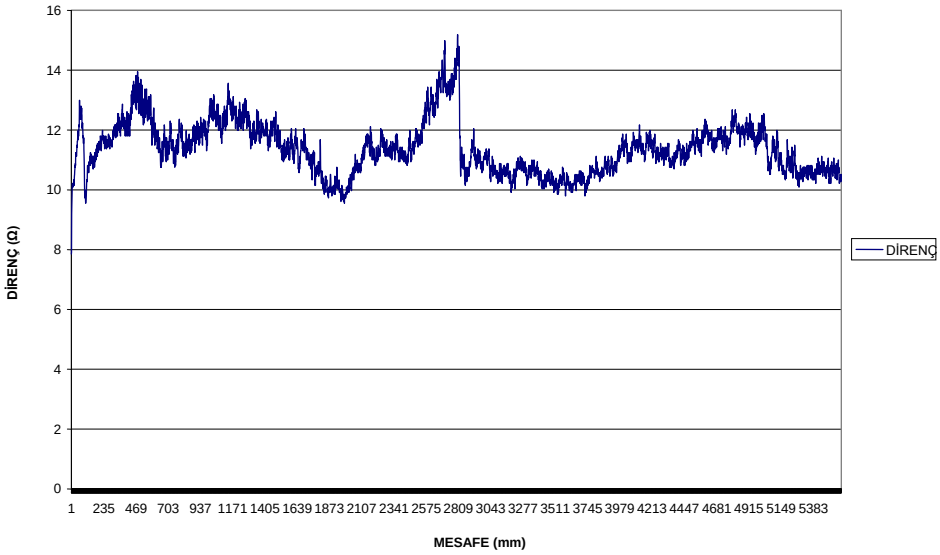
- Sabit yük ve sabit hızda ön gerilme sisteminden geçen karbon elyafın işlem anında oluşan ya da var olan hasar gözleyip, izlenebilmektedir.
- Sistemde üç makaradan oluşan ön gerilme sisteminden geçen elyaf, iki prob arasında DC direnç değeri ölçülerek hasar ölçülüp kaydedilebilmektedir.
- Ölçüm sürekli olarak izlenebilmektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4. 1. İzleme Ekranından Okunan Direnç, Çekme Kuvveti Ve Mesafe Değerleri



- Sistemde pozisyonlama ve hız, sekron edilerek hız kontrolü sağlanmış, bu sayede çekme kuvvetindeki sapma ± 50 gr ‘da sabitlenmiştir.

- İzlenen ve kaydedilebilen ani direnç değişimine göre hasarın yeri milimetre olarak tayin edilebilmektedir(Şekil 4.9 ve Tablo 4.2).



Şekil 4.9 Hasar Anının Ani Direnç Değişimine Bağlı Olarak Gözlenmesi

Tablo 4.2 Kırılma Anındaki Ani Direnç Değişimi Ve Hasar Yerinin Milimetrik Olarak Belirlenmesi

TARİH-SAAT	HIZ (mm/dk)	MESAFE (mm)	DİRENÇ	ÇEKME KUVVETİ (gr)
2011.02.19 21:06:08	470	2158	11,738	1006,031
2011.02.19 21:06:08	470	2159	11,738	975,234
2011.02.19 21:06:37	470	2382	**13,564**	1016,297
2011.02.19 21:06:37	470	2383	**13,628**	1026,562
2011.02.19 21:06:37	470	2384	**13,756**	985,5
2011.02.19 21:06:40	470	2405	**14,597**	1006,031
2011.02.19 21:06:40	470	2407	**15,055**	1006,031
2011.02.19 21:06:40	470	2408	**15,187**	944,437
2011.02.19 21:06:40	470	2409	**14,793**	964,969
2011.02.19 21:06:42	470	2422	11,738	995,765
2011.02.19 21:06:42	470	2423	11,8	1006,031

- Tepki süresi 1ms.'dir, ya da 1 ms. PID çözünürlüğündedir.
- 500-1000 gr sabit gerginlikte 1 ms. PID çözünürlüğünde $\pm$ 50 gr iken, PID çözünürlüğü 0,1ms.' ye düşürülürse ± 5 gr çekme kuvveti hassasiyeti sağlanabilir.
- DC ölçüm yapılan problar arası mesafe 150 'dir. Problar arası mesafe küçültülürse direnç ölçüm hassasiyeti de artacaktır.

4.2 Karbon Elyaf Hasarlarının Belirlenmesinde, Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi Ve DC Direnç Ölçümü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Karbon elyaf hasarlarının tespitinde, çekme dayanımı deneyi sonuçları, karbon elyafın, mekanik davranışlarını belirlemekten öte, tahribatsız muayene sonucu elde edilen verilerle karşılaştırılmasıdır. Sonuçlar arasında paralellik olması, cihazın güvenilirliğini bir kat daha arttıracaktır.

Çekme deneyine tabi tutulan karbon elyaf numuneleri ile DC direnç ölçümü sonuçları arasındaki bağlantının varlığını tespit ederek, geliştirilen ölçüm sistemi de test edilmiştir.

Geliştirilen ölçme sistemi sayesinde, DC direnç ölçüm metoduyla farklı zamanlarda yapılan ölçüm sonuçları ile çekme değerleri sonuçları Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Büyük çaplı D makarasına ait iki farklı zamanda ölçülen direnç, ortalama ve standart sapmaları, ölçülen çekme değeri ile hesaplanan çekme gerilmeleri, ortalama ve standart sapmaları tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.3 D Makaraları İçin Direnç Ve Çekme Sonuçları

	DİRENÇ ÖLÇÜMÜ				ÇEKME DEĞERLERİ			
	I. ÖLÇÜM		II. ÖLÇÜM					
D Makaraları İçin	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Çekme Kuvveti Ortalama	Standart Sapma	Çekme Gerilmesi Ortalama	Standart Sapma
	(Ohm)		(Ohm)		(Newton)		(Mpa)	
D 121-500	25,961	1,6	26,811	1,22	545,897	14,643	1181,59524	31,69480
D121-1000	20,99	4,374	20,582	1,755	535,6664	12,8433	1159,45108	27,79935
D122-500	24,339	2,937	23,084	1,483	578,4883	14,1299	1252,13918	30,58419
D122-1000	19,773	2,754	19,629	3,311	532,136	7,8699	1151,80952	17,03441
D212-500	19,746	0,521	12,707	1,09	463,6863	14,5789	1003,65	31,55606
D212-1000	12,0955	0,728	8,492	0,288	457,377	7,274	989,993506	15,74458

Küçük çaplı d makarasına ait, iki farklı zamanda ölçülen direnç ortalama ve standart sapmaları, ölçülen çekme değeri ile hesaplanan çekme gerilmeleri ortalama ve standart sapmaları Tablo 4.4'de görülmektedir.

Tablo 4.4 d Makaraları İçin Direnç Ve Çekme Sonuçları

	DİRENÇ ÖLÇÜMÜ				ÇEKME DEĞERLERİ			
	I. ÖLÇÜM		II. ÖLÇÜM					
d MAKARALARI İÇİN	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Çekme Kuvveti Ortalama	Standart Sapma	Çekme Gerilmesi Ortalama	Standart Sapma
	(Ohm)		(Ohm)		(Newton)		(Mpa)	
d121-500	30,426	5,355	22,602	2,43	578,59	19,7253	1252,359	42,69545
d121-1000	22,581	3,104	18,099	1,747	665,4397	25,0935	1440,345	54,31493
d122-500	30,8132	4,505	22,979	1,917	526,154	2,6898	1138,861	5,822077
d122-1000	27,0734	1,189	19,548	1,307	594,7018	12,4825	1287,233	27,01839
d211-500	16,2599	2,087	10,752	0,503	555,6718	9,6744	1202,752	20,94025
d211-1000	11,37	0,866	7,487	0,45	438,32	22,6856	948,7445	49,10303

Değerlendirme sonucunda, direnç ölçümündeki cihaz hassasiyetindeki belirgin fark olmayışı, standart sapma değerlerinde görülen azalmaya bakıldığında sistemin daha da başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çekme sonuçlarıyla karşılaştırıldığında da, yüksek direnç ortalamasına sahip pozisyonların çekme dayanımının düşük olduğu yorumu yapılabilir. Ancak her bir pozisyonda direnç ölçümü verisi minimum 5000 adettir. Çekme deneyinde bu sayıda çalışma yapılmadığından standart sapma değerlerinde bu verileri ulaşılamamıştır.

Tablo 4.5 Tüm Pozisyonlarda Makara Çapı, Makaralar Arası Mesafe, Makaralar Arası Açı, Direnç Ve Çekme Değerleri

	Makara Çapı	**Mesafe**		**Ön Gerilme**	**Açı**	**Direnç**		**Çekme**	
POZİSYONLAR	**mm**	**X**	**Y**	**Kgf**	**σ**	**Ortalama**	**S.Spt**	**Ortalama**	**S.Spt**
D122-1000	78,9	500	700	1000	15	19,629	3,311	532,136	7,8699
D122-500	78,9	500	700	500	15	23,084	1,483	578,4883	14,13
D121-1000	78,9	500	500	1000	20	20,582	1,755	535,6664	12,843
D121-500	78,9	500	500	500	20	26,811	1,22	545,897	14,643
D212-1000	78,9	300	700	1000	7	8,492	0,288	457,377	7,274
D212-500	78,9	300	700	500	7	12,707	1,09	463,6863	14,579
d122-1000	32,2	500	700	1000	21	19,548	1,307	594,7018	12,483
d122-500	32,2	500	700	500	21	22,979	1,917	526,154	2,6898
d121-1000	32,2	500	500	1000	30	18,099	1,747	665,4397	25,094
d121-500	32,2	500	500	500	30	22,602	2,43	578,59	19,725
d211-1000	32,2	300	500	1000	20	7,487	0,45	438,32	22,686
d211-500	32,2	300	500	500	20	10,752	0,503	555,6718	9,6744

Tüm pozisyonları ve onlara ait fiziksel, mekaniksel özellikleri gösteren Tablo 4.5'de yapılan deney düzeneklerinin ve elde edilen verilerin kısa bir özeti niteliğindedir. Çekme deneyi sonucu; yüksek direnç ortalamasına sahip pozisyonların, çekme dayanımlarının düşük olduğu ve böylelikle DC direnç ölçümü metoduyla ölçüm yapan cihazın ölçüm değerleriyle paralellik gösterdiği yorumu yapılabilir.

4.3 Karbon Elyaf Hasarlarının Belirlenmesinde DC Direnç Ölçümü Sonuçları İle Çekme Deneyi Sonuçlarının İstatistiksel Değerlendirilmesi

Uygun analiz türünün belirlenmesinde ilk kriter verilerin türüdür. Analiz yöntemleri verilerin özelliklerine göre iki temel gruba ayrılır. Bu gruplarda yer alan temel analiz yöntemleri aşağıdaki gibidir.

(1) Parametrik veriler için kullanılan analiz yöntemleri; Varyans Analizi, T-Testi, Pearson Korelasyonu.

(2) Parametrik olmayan veriler için kullanılan analiz yöntemleri; Ki-Kare Testleri, Spearman Korelasyonu.

Dolayısıyla uygun analiz türünü seçebilmek için öncelikle verilerin özelliklerinin belirlenmesi gerekecektir.

İlk bakacağımız kriter örneklem büyüklüğü olacaktır. Eğer örneklem büyüklüğünüz **30**'dan az ise parametrik olmayan yöntemler kullanılmalıdır. Eğer veri seti 30'dan büyük ise her bir faktörün normal dağılıma sahip olup olmadığını ve verilerin homojen dağılıp dağılmadığı incelemelidir.

İstatistikte değişkenler, sayısal (nicel) değişkenler ve sayısal olmayan (nitel) değişkenler olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Günümüzde yapılan birçok araştırmada sayısal olmayan değişkenlerin dikkate alındığı gözlemlenmektedir.

Sayısal olmayan değişkenler arasında herhangi bir ilişkinin var olmadığını ileri sürerek (H_0 hipotezi), bu hipotezin reddedilip edilemeyeceğinin incelenmesinde uygulanan test Ki-Kare testi'dir.

Bir örneklemin gözlemlenmesi sonucunda elde edilen frekans dağılımının binom, Poisson, normal vb. gibi genellenmiş bir dağılıma uygun olup olmadığına karar verebilmek için kullanılan test yine Ki-kare testidir. Diğer yandan iki ya da daha fazla örneklemin aynı ana kütleden seçilip seçilmedikleri konusunda karar verilirken de ki-kare testinden yararlanılır.

İki ya da daha fazla sınıflı iki nitel değişken arasında bağımsızlık olup olmadığını incelemek için, ki-kare bağımsızlık testine başvurmak gerekir. Bu test yapılırken, Kontenjans tablosundan yararlanılmaktadır. Bu tablo, incelenen iki değişkenin şıklarına düşen gözlenen frekansların yazıldığı, yatay (satırlar) ve düşey (sütunlar) bantlardan oluşan, çift yönlü tablodur. Ki-kare bağımsızlık ve homojenlik

testlerini yapabilmek üzere hazırlanan kontenjans tablosunun (Tablo 4.6) aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.6 Büyük Çapli Makaralardan Alınan Direnç Değeri İle Küçük Çaplı Makaralardan Alınan Direnç Değeri İçin Hazırlanan Kontenjans Tablosu

MAKARA ÇAPI		Küçük Çaplı Makaralardan Alınan Direnç Değeri						Total
		7,49	10,75	18,10	19,55	22,60	22,98	
Büyük çapli	8,49	1	0	0	0	0	0	1
makaralarda	12,71	0	1	0	0	0	0	1
n alınan	19,83	0	0	0	1	0	0	1
direnç	20,58	0	0	1	0	0	0	1
değeri	23,08	0	0	0	0	0	1	1
	26,81	0	0	0	0	1	0	1
Total		1	1	1	1	1	1	6

Aralarında bağıntı bulunduğu düşünülen birinci değişkenin D (78,9 mm çaplı) makaraları (satır), ikinci değişkenin d (32,2 mm çaplı) makaraları (sütun) yazılarak, rxc tablosu olarak da isimlendirilen tablo oluşturulur. Satır ve sütunların kesiştikleri yerlerde bulunan gözelerdeyse ilgili frekanslar kaydedilir.

Homojenlik testi ise; farklı örneklemlerin aynı ana kütleden seçilip seçilmediğinin test edebilmesidir.

Çözüm adımları aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.7 Ki-Kare Tablosu

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	30,000(a)	25	,224
Likelihood Ratio	21,501	25	,664
Linear-by-Linear Association	4,743	1	,029
N of Valid Cases	6		

1. Adım: Hipotezlerin Oluşturulması

Sıfır Hipotezi (H_0): İki örneklem de aynı ana kütleden seçilmiştir.

H_0: Makara boyutları arasındaki fark homojen değildir.

Karşıt Hipotez (H_1): Örneklemler farklı ana kütlelerden seçilmiştir.

2. Adım: İstatistiksel Test

İki örneklemin aynı ana kütleden gelip gelmediği test edileceğinden, ilgili test ki-kare homojenlik testi olmalıdır.

3. Adım: Anlamlılık Düzeyi

α = 0.05

(% 5 anlamlılık düzeyinde makara çapları arasıda homojenlik)

4. Adım: H_0'ın ret bölgesinin belirlenmesi

Hesaplanan pearson kikare değeri 30'dur. Değeri serbestlik derecesi (df=25) ve anlamlılık düzeyi α = 0.05 değeri için ki-kare tablosundan **46,92789** olarak bulunmuştur. 30< 46,92789 olduğu için hipotezi **kabul edilir.**

Başka bir yöntemle de yapıldığında Asymp. Sig. (2-sided) değeri (p=0,224>0,05) olduğu için de hipotez kabul edilir.

Parametrik testlerde bu kadar ısrar etmemizin nedeni; hesaplamalarda veri setinin tümünü kullanmaları ve bu nedenle parametrik olmayan testlere göre daha üstün olmalarıdır. Ancak parametrik testlerin kullanabilmesi için verilerin normal dağılması ve homojen olması gerekmektedir.

Korelasyon analizi ile iki farklı değişken arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti hakkında bilgi edinebiliriz. Ancak daha önce de belirttiğimiz gibi korelasyon, neden-sonuç ilişkisinin göstergesi değildir.

Her bir pozisyon için direnç ve çekme değerleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Buna göre;

4.3.1 D212-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları

Tablo 4.8 D212-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Tablosu

		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	-,570(**)
(direnç)	Sig. (2-tailed)		,001
	N	173	173
VAR00002	Pearson Correlation	-,570(**)	1
(çekme)	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	173	173

Pearson korelasyon ifadesinin karşısındaki -0,570 değeri "r" ile ifade edilir ve –1 ile + 1 arasında bir değer alır. Burada ilişkinin yönünü "r"nin işareti, derecesini ise katsayının büyüklüğü belirler. Eksi değerler bir değişken artarken diğerinin azaldığının, artı değerler ise her iki değişkenin aldığı değerlerin birlikte artış ve azalış gösterdiğinin göstergesidir. r eğer;

Tablo 4.9 Korelasyon Değerlendirme Tablosu

KORELASYON	"r"
ÇOK ZAYIF	0,00-0,25
ZAYIF	0,26-0,49
ORTA	0,50-0,69
YÜKSEK	0,70-0,89
ÇOK YÜKSEK	0,90-1,00

Tablo 4.8'daki -0,570 değeri ise direnç ile çekme arasında **negatif doğrusal orta düzeyde ilişki** olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında bir neden sonuç ilişkisi olmamakla birlikte, çok fazla **direnç artışı olduğunda çekme mukavemetinin düştüğü** yönünde olduğu yorumu yapılabilir.

4.3.2 D212-1000 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları

Tablo 4.10 D212-1000 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu

		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	-,782(**)
(direnç)	Sig. (2-tailed)		,000
	N	1732	1732
VAR00002	Pearson Correlation	-,782(**)	1
(çekme)	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	1732	1732

Tablo 4.10'daki -0,782 değeri ise direnç ile çekme arasında **negatif doğrusal yüksek düzeyde ilişki** olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında bir neden sonuç ilişkisi olmamakla birlikte, çok fazla **direnç artışı olduğunda çekme mukavemetinin düştüğü** yönünde olduğu yorumu yapılabilir.

4.3.3 d121-1000 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları

Tablo 4.11 d121-500 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu

		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	-,419(*)
(direnç)	Sig. (2-tailed)		,021
	N	5583	5583
VAR00002	Pearson Correlation	-,419(*)	1
(çekme)	Sig. (2-tailed)	,021	
	N	5583	5583

Tablo 4.11'deki -0,419 değeri ise direnç ile çekme arasında **negatif doğrusal zayıf düzeyde ilişki** olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında bir neden sonuç

ilişkisi olmamakla birlikte, çok fazla **direnç artışı olduğunda çekme mukavemetinin düştüğü** yönünde olduğu yorumu yapılabilir.

4.3.4 d122-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları

Tablo 4.12 d122-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Tablosu

		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	-,532(**)
(direnç)	Sig. (2-tailed)		,002
	N	5429	5429
VAR00002	Pearson Correlation	-,532(**)	1
(çekme)	Sig. (2-tailed)	,002	
	N	5429	5429

Tablo 4.12'deki -0,532 değeri ise direnç ile çekme arasında **negatif doğrusal orta düzeyde ilişki** olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında bir neden sonuç ilişkisi olmamakla birlikte, çok fazla **direnç artışı olduğunda çekme mukavemetinin düştüğü** yönünde olduğu yorumu yapılabilir.

4.3.5 d122-1000 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları

Tablo 4.13 d122-1000 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu

		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	-,450(*)
	Sig. (2-tailed)		,013
(direnç)	N	5564	5564
VAR00002	Pearson Correlation	-,450(*)	1
(çekme)	Sig. (2-tailed)	,013	
	N	5564	5564

Tablo 4.13'deki -0,450 değeri ise direnç ile çekme arasında çok **negatif doğrusal zayıf düzeyde ilişki** olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında bir neden sonuç ilişkisi olmamakla birlikte, çok fazla **direnç artışı olduğunda çekme mukavemetinin düştüğü** yönünde olduğu yorumu yapılabilir.

4.3.6 d211-500 Pozisyonu İçin Korelasyon Analizi Sonuçları

Tablo 4.14 d211-500 Pozisyonu için Korelasyon Tablosu

		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	-,538(**)
(direnç)	Sig. (2-tailed)		,002
	N	5583	5583
VAR00002	Pearson Correlation	-,538(**)	1
(Çekme)	Sig. (2-tailed)	,002	
	N	5583	5583

Tablo 4.14'deki -0,538 değeri ise direnç ile çekme arasında **negatif doğrusal orta düzeyde ilişki** olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında bir neden sonuç ilişkisi olmamakla birlikte, çok fazla **direnç artışı olduğunda çekme mukavemetinin düştüğü** yönünde olduğu yorumu yapılabilir.

Spss programı yardımıyla yaptığımız değerlendirme sonucunda; parametrik olmayan bir yöntem olan Ki-kare homojenlik testi ile makara çaplarının çalışmadaki etkisi ve anlamlılığı tartışılmış ve makara boyutları arasındaki farkın homojen olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu, makara çaplarının sonuca etkisi olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Hesaplamalarda veri setinin tümünü kullanmaları ve bu nedenle parametrik olmayan testlere göre daha üstün olmaları nedeniyle parametrik bir yöntem olan korelasyon analize başvurulmuştur. Bu analizde direnç ölçümü ile çekme gerilmesi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Korelasyon analizi ile iki farklı değişken arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti hakkında bilgi edinebiliriz. Ancak daha önce de belirttiğimiz gibi korelasyon, neden-sonuç ilişkisinin göstergesi değildir.

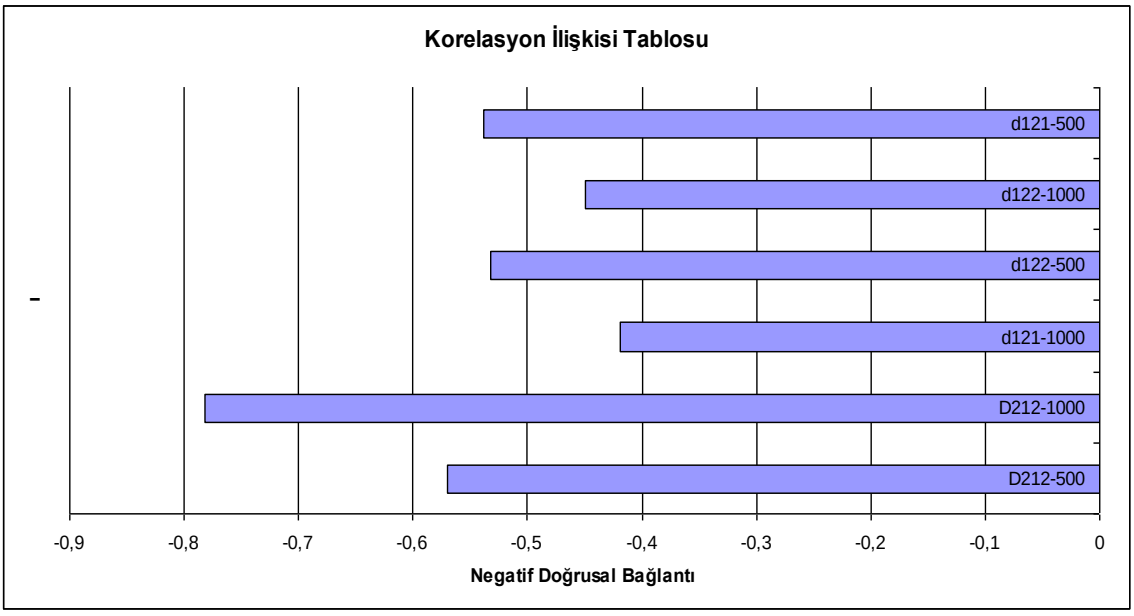
Elde ettiğimiz sonuçlar arasında anlamlı görülen altı pozisyon için toplu sonuçlar Tablo 4.15'de belirtilmiştir.

Tablo 4.15 Pozisyoların Korelasyon İlişkisi

D212-500	-0,57	ORTA
D212-1000	-0,782	YÜKSEK
d121-1000	-0,419	ZAYIF
d122-500	-0,532	ORTA
d122-1000	-0,45	ZAYIF
D212-1000	-0,538	ORTA

Şekilde görüleceği gibi, ölçülen direnç ile çekme mukavemeti değerleri arasında negatif doğrusal orta düzeyde bir korelasyon vardır. Bu da, direnç değeri arttığında çekme mukavemetinin düştüğü anlamına geldiği şeklinde yorumlanabilir. Bilindiği gibi karbon elyaftaki ani direnç değişikliği elyafta meydana gelen hasarı göstermektedir. Hasara uğrayan karbon elyafın da çekme dayanımı düşecektir.

Tablo 4.16 Korelasyon İlişki Tablosu



Tablo 4.16’da en kuvvetli ilişkinin sırasıyla **D212-1000,D212-500, D212-1000, d122-500** arasında olduğu görülmektedir. D212-1000 pozisyonu direnç artışı ve çekme mukavemeti arasında negatif doğrusal yönlü bir ilişki vardır. Düşük direnç ölçüm değerlerinde yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Tablo 4.16, doğru akım direnç ölçüm metodu ile çekme deneyi sonucunun istatistiksel olarak gösterilmesidir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE TARTIŞMA

Makara çapı ve makaralar arası mesafelere bağlı olarak hazırladığımız deney düzeneği senaryolarında, iki farklı çekme kuvveti ve sabit hız uygulanmış, iki prob arası mesafe sabit tutulmuştur. Bu sistemde;

- Sabit yük ve sabit hızda ön gerilme sisteminden geçen karbon elyafın işlem anında oluşan ya da var olan hasar gözleyip, izlenebilmektedir.
- Sistemde üç makaradan oluşan ön gerilme sisteminden geçen elyaf, iki prob arasında DC direnç değeri ölçülerek hasar ölçülüp kaydedilebilmektedir.
- Ölçüm sürekli olarak izlenebilmektedir.
- Sistemde pozisyonlama ve hız, sekron edilerek hız kontrolü sağlanmış, bu sayede çekme kuvvetindeki sapma $\pm$ 50 gr ‘da sabitlenmiştir.
- İzlenen ve kaydedilebilen ani direnç değişimine göre hasarın yeri milimetre olarak tayin edilebilmektedir.
- Tepki süresi 1ms.’dir, ya da 1 ms. PID çözünürlüğündedir.
- 500-1000gr sabit gerginlikte 1 ms. PID çözünürlüğünde $\pm$ 50 gr iken, PID çözünürlüğü 0,1ms.’ ye düşürülürse ± 5 gr çekme kuvveti hassasiyeti sağlanabilir.
- DC ölçüm yapılan problar arası mesafe 150 ‘dir. problar arası mesafe küçültülürse direnç ölçüm hassasiyeti de artacaktır.

Yapılan çalışmaları üç ayrı başlık altında incelediğimizde; **DC direnç ölçüm metoduyla yapılan çalışma sonuçlarına göre;**

- Büyük ve küçük çaplı makaralarda 1000gr ‘lık ön gerilme kuvvetinin uygun sarım kuvveti olduğu,
- D212 ile d211 pozisyonlarının en düşük direnç değerlerine sahip olduğundan en uygun pozisyon olduğu söylenebilir.

Çekme deneyi sonuçlarına göre ise;

- DC direnç ölçüm değeri yüksek olan pozisyonlardaki elyaf numunelerinin çekme mukavemetlerinin düşük olduğu yorumu yapılabilir. Bu yorumdan hareketle, çekme dayanım değerleri DC direnç ölçümünü doğruladığı söylenebilir.

Karbon elyaf hasarlarının belirlenmesinde, DC direnç ölçüm sonuçları ile çekme deneyi sonuçlarının **istatistiksel değerlendirilmesinde;**

- Makara boyutları arasındaki fark homojen değildir. Bu, makara boyutlarının sonuca etkisi olmadığı şeklinde yorumlanabilir.
- Çekme sonuçları ile DC direnç sonuçları arasında negatif doğrusal orta düzeyde bir bağıntı vardır. Bu da, direnç değeri arttığında çekme mukavemetinin düştüğü anlamına geldiği şeklinde yorumlanabilir. Bilindiği gibi karbon elyaftaki ani direnç değişikliği elyafta meydana gelen hasarı göstermektedir. Hasara uğrayan karbon elyafın da çekme dayanımı düşecektir.
- İstatistik değerlendirmenin sonucunda; DC direnç ölçümü sonucunda olduğu gibi, en yüksek bağıntı D212-1000 pozisyonu için tespit edilmiş olup, bulunan sonucun doğrulandığı söylenebilir.

Karbon elyaf hasarlarının belirlenmesinde, DC direnç ölçüm sonuçları ile çekme deneyi sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesinde;

- Makara boyutları arasındaki fark homojen değildir. Bu, makara boyutlarının sonuca etkisi olmadığı şeklinde yorumlanabilir.
- Çekme sonuçları ile DC direnç sonuçları arasında negatif doğrusal orta düzeyde bir bağıntı vardır. Bu da, direnç değeri arttığında çekme mukavemetinin düştüğü anlamına geldiği şeklinde yorumlanabilir. Bilindiği gibi karbon elyaftaki ani direnç değişikliği elyafta meydana gelen hasarı göstermektedir. Hasara uğrayan karbon elyafın da çekme dayanımı düşecektir.
- İstatistik değerlendirmenin sonucunda; DC direnç ölçümü sonucunda olduğu gibi, en yüksek bağıntı D212-1000 pozisyonu için tespit edilmiş olup, bulunana sonucun doğrulandığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

Balaguru, P.N., 2005, "Construction of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Jackets For The Protection of PierCaps" **,**Professor of Civil Engineering, Rutgers University

Chung D.D.L., 1994, "Carbon Fiber Composites", Material Science/Composites, Butterworth Heinemann, ISBN 0-7506-9147-7

Chung D.D.L., Chung J. H., 2005, "Impact Damage Of Carbon Fiber Polymer–Matrix Composites,Studied By Electrical Resistance Measurement Shoukai Wanga", Composites: Part A 36 , sayfa: 1707–1715

Genç, G., 2008, "Elyaf Sarma Yöntemiyle Üretilen Karbon elyaf Kompozitlerde Ön Gerilme Parametrelerinin Elyaf ve Kompozit Mukavemetine Etkisi", Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi

Iwasaki A., Todoroki A., 2005, "Statistical Evaluation of Modified Electrical Resistance Change Method for Delamination Monitoring of CFRP Plate", SHM (Structural Health Monitoring), Sage Publications,Vol 4(2): 0119–18

Kalamkarova A., Sahaa G., Rokkama S., Newhookb J., Georgiadesa A., 2005,"Strain And Deformation Monitoring İn İnfrastructure Using Embedded Smart FRP Reinforcements", Composites: Part B 36, sayfa: 455–467

Kupke M., Schulte K., Schüler R., 2001 ," Non-destructive Testing of FRP by d.c. and a.c. Electrical methods", Composite Science and Technology, sayfa: 837-847

Mallick, P.K., 1993, Fiber Reinforced Composites: Materials", Manufacturing and Design, Marcel Dekker, New York

Mazumdar K. S., 2002, "Composites Manuafcturing", CRC Press. ISBN 0-8493-0585-3

McConnel, V.P., 1994, Sports Applications — Composites At Play, High Performance Composites"

Olcay Y., Akyol M., Gemci R., 2002, Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Cilt 7, Sayı 1, Bursa

Rosato D.V., Grove, C.S., 1964, "Filament Winding: Its Development Manufacture, Applications, and Design", Interscience Publishers a Division of John Wiley and Sons, Inc., New York, London

Şahin Y., 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayınevi, Ankara, syf 48,61-70

Töre, C., 2011, Kompozit Malzeme Temelleri Polimer Matrisli, TBMMO Makine Mühendisleri Odası, Ankara

Wang S., Chung D. D. L., Chung J H., 2006, ”Self-Sensing of Damage in Carbon Fiber Polymer–Matrix Composite Cylinder by Electrical Resistance Measurement”, Journal Of Intelligent Material Systems And Structures, Vol. 17, sayfa:57-62

Wu Z. S., Yang C. Q., Tobe Y. H. , Ye L. P., Harada T., 2006 ,“Electrical and Mechanical Characterization of Hybrid CFRP Sheets”, Journal Of Composite Material, Vol.40, No. 3

Yang C. Q.,. Wu Z. S, Ye L. P., 2006 , “Self-Diagnosis of Hybrid CFRP Rods and As-Strengthened Concrete Structures”, ”, Journal Of Intellıgent Materıal Systems And Structures, Vol. 17, sayfa: 609-618

Yaşar H., 2001, Plastikler Dünyası,TMMOB Makina Mühendisleri Odası, yayın no 142/2.baskı, Ankara, sayfa: 160-162

SIGRAFIL CFRP Components SGL CARBON GROUP LUSAS is a trademark and trading name of Finite Element Analysis Ltd., October 05, 2006

Composites Fabricators Association, U.S.A., 2000.

Automotive Composites Consortium, U.S.A., 1994.

Web Kaynakları

1.http://www.istatistikmerkezi.com/makale,spss-uygun-analiz-turunun-belirlenmesi,111.html
2. www.lbl.gov/MicroWorlds/Kevlar
3. www.mrl.columbia.edu

ÖZGEÇMİŞ

07.10.1975 tarihinde Edirne'de eğitimci bir ailenin ikinci kızı olarak dünyaya gelmişim. İlkokulu Edirne İstiklal İlkokulu'nda, Orta Okulu I. Murat Lisesi'nde, liseyi Edirne Anadolu Öğretmen Lisesi'nde okudum. Lisans eğitimimi Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği, Enerji İletimi ABD.'da tamamladım. 2000 yılında Trakya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladıktan sonra, yüksek lisans eğitimi için **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD**.' a müracaat ettim. Mühendislik hazırlık programının ardından, başladığım programdan 2004 yılında "Pamuk ve İpek Elyaflarla Takviye Edilmiş Plastik Matrisli Kompozitlerin Elektriksel Özellikleri" başlıklı tezle mezun oldum. Çalışma, plastik sektörünün temsilcisi **PAGEV** tarafından birincilik ödülüne layık bulundu. Ardından doktora eğitimime aynı üniversite ve bölümde devam ettim. 2009 yılı Eylül ayında Erasmus Doktora Bursu kapsamında, Macaristan'da **Szent Istvan Üniversitesi**'nde beş ay süreyle çalışmalarıma devam ettim. Halen Kırklareli Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım. İyi düzeyde İngilizce ve az düzeyde Macarca biliyorum.