



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**EPOKSİ YAPIŞTIRICI İÇERİSİNE FARKLI
NANOGRFEN TOZ ORANLARI
KULLANILARAK TAMİRİ YAPILAN ST37
ÇELİĞİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ
BELİRLENMESİ**

Feremez YÜCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı

**Ağustos-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Feremez YÜCE tarafından hazırlanan “Epoksi Yapıştırıcı İçerisine Farklı Nanografen Toz Oranları Kullanılarak Tamiri yapılan St37 Çeliğin Mekanik Davranışlarının Belirlenmesi” adlı tez çalışması 02/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Anıl İMAK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

FEREMEZ YÜCE

02/08/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EPOKSİ YAPIŞTIRICI İÇERİSİNE FARKLI NANO GRAFEN TOZ ORANLARI KULLANILARAK TAMİRİ YAPILAN ST37 ÇELİĞİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

Feremez YÜCE

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

2023, 68 Sayfa

Jüri

Danışmanın Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN
Dr. Öğr. Üyesi Anıl İMAK
Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİR

Endüstri uygulamalarında parçalar hasar gördüğünde, hasar durumuna göre ya değişim yapılır ya da tamir işlemleri yapılmaktadır. Zaman ve maliyet açısından tasarruf sağladığı için tamir işlemleri çoğu zaman tercih edilmektedir. Tamir işlemleri için genellikle kaynak, cıvata, perçin ve yapıştırma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Yapıştırma ile bağlama yöntemi daha pratik ve yapıştırma yüzeylerinde daha düzgün bir gerilme dağılımı elde edildiği için diğer birleştirme yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada üzerinde 10 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda kanal açılan St37 çelik borular DP460 yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcı içerisine %0.1, %0.2 ve %0.3 takviye oranlarında grafen nano oksit partikülü (GNOP) katılarak yapıştırma işlemi yapılmıştır. Yapılan yapıştırılarda GNOP etkisini gözlemlemek için bütün numuneler çekme ve eğilme testine tabi tutulmuştur. Elde edilen çekme ve eğilme test sonuçlarında en yüksek değerler daha iyi bir yapışma bağlantısının elde edildiği %0,2 GNOP takviyesinde sırasıyla 15138 N ve 356.25 N*m olarak elde edilmiştir. Son olarak çekme ve eğilme deneyleri sonrasında kopan yüzeylerin makro görüntülerinde adhesive hasarları şeklinde kopmaların gerçekleştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: DP460, Eğilme testi, GNOP, St37 çelik, Yapıştırma bağlantısı

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF ST37 STEEL REPAIRED USING DIFFERENT NANOGRAPHENE POWDER RATIOS IN EPOXY ADHESIVE

Feremez YÜCE

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN

2023, 68 Pages

Jury

Advisor Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN

Asst. Prof. Dr. Anıl İMAK

Asst. Prof. Dr. Fatih DEMİR

When parts are damaged in industrial applications, either replacement or repair is performed depending on the damage situation. Repair processings are often preferred because of save time and cost. Methods such as welding, bolts, rivets and bonding are generally used for repair processings. The bonding method by bonding is more practical and preferred more than other bonding methods, as a more uniform stress distribution is obtained on the bonding surfaces. In this study, St37 steel pipes with 10 mm diameter and 20 mm long channels were bonded by adding DP460 adhesive and graphene nano oxide particles (GNOP) at the reinforcement rates of 0.1%, 0.2% and 0.3% into this adhesive. All samples were subjected to tensile and bending tests in order to observe the GNOP effect in the bondings made. In the tensile and bending test results obtained, the highest values were obtained as 15138 N and 356.25 N*m, respectively, in 0.2% GNOP reinforcement, where a better adhesive bond was obtained. Finally, in the macro images of the broken surfaces after the tensile and bending tests, it was observed that there were breaks in the form of adhesive damages.

Keywords: Adhesive joint, Bending test, GNOP, DP460, St37 steel

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında değerli katkılarını benden esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN' e, arkadaşım Mustafa SARUHAN 'a ve eşim selma YÜCE'ye şükranlarımı sunarım

Feremez YÜCE
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER	8
2.1 Yapıştırıcılar	8
2.1.1 Adhezyon	8
2.1.2 Kohezyon	8
2.1.3. Yapıştırıcı Materyallerin Türleri.....	9
2.1.4.Yapıştırıcıları Etkili Bir Şekilde Kullanabilmek İçin Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler	9
2.1.5. Yapıştırıcının Avantajları	10
2.1.6. Yapıştırıcının Dezavantajları	10
2.2. Nanopartiküller	10
2.2.1. Nanopartikül Üretim Yöntemleri.....	10
2.2.2. Grafen	16
2.3. St. 37 Çeliği	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1 Deneyde kullanılan Materyaller.....	21
3.1.1 St37 çelik	21
3.1.2 Yapıştırıcı.....	22
3.1.3 Grafen Oksit.....	23
3.1.4 Yapıştırıcı numunelerin hazırlanması	24
3.2 Çekme deneyleri	31
3.3 Eğilme deneyleri	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	34
4.1 Çekme deneyleri	34
4.2 Eğilme deney sonuçları.....	42
4.3 Yapıştırma numunelerin çekme ve eğilme deneyleri sonrası kopma yüzey görüntüleri.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48

5.1 Sonuçlar	48
5.2 neriler	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Yapıştırma bağlantılarındaki adhezyon ve kohezyonun şematik gösterimi.	9
Şekil 2.2. Nanopartikül üretiminde kullanılan yaklaşımlar (Lan ve ark, 2011)	11
Şekil 2.3. Aşağıdan yukarı üretim yöntemleri (Lan ve ark., 2011)	12
Şekil 2.4. CVC üretim yönteminin şematik gösterimi (Ebin, 2007)	13
Şekil 2.5. Hidrotermal üretim yönteminin şematik gösterimi (Aşık, 2012)	14
Şekil 2.6. Sol-Jel tekniğinin temel adımları ve son ürünlerin şematik gösterimi (Aşık, 2012)	15
Şekil 2.7. Hidrojen redüksiyon yöntemi (Chen, 2009)	15
Şekil 2.8. Arı peteği şekli oluşturan karbon atomlarının iki boyutlu görüntüsü (Kwon, 2010)	16
Şekil 3.1. DP460 Malzemesinin gerilme-gerinme grafiği	23
Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılacak DP460 yapıştırıcı, tabanca ve karıştırıcı uç	23
Şekil 3.3. Figüre 3. Deneysel çalışmada kullanılan grafen partikülün makro ve SEM görüntüleri (a-Makro; b-Mikro)	24
Şekil 3.4. Deneysel çalışmada kullanılan st37 çeliği ve DP460 yapıştırıcına ait solidworks çizimleri yapıştırma işleminin parçaları (a-Ana malzeme, b-Yama malzemesi c-Yapıştırıcı Malzemesi)	25
Şekil 3.5. Deneysel çalışmada yapılan yapıştırma işleminin 3D çizim düzeneği	26
Şekil 3.6. Tez çalışmasında kullanılan st37 çelik numunenin ilk hali	27
Şekil 3.7. Yamaların ve numunelerin aseton işleminden geçilmesi	27
Şekil 3.8. Asetonda bekletilen numunelerin çıkarıldıktan sonra kurutulmaya bırakılması	28
Şekil 3.9. Deneysel çalışma için üretilen yapıştırma ve yama numuneleri	28
Şekil 3.10. Grafen takviyeli yapıştırıcının oranının belirlenmesi	29
Şekil 3.11. Grafen ve DP400 yapıştırıcının karıştırılması	29
Şekil 3.12. Hazırlanan karışımın numunelere sürülmesi	30
Şekil 3.13. Takviyesiz ve GNP takviyeli olarak yapıştırılan numunelerin toplu görüntüleri	31
Şekil 3.14. Shimadzu AG-X 250 kN universal çekme cihazı	32
Şekil 3.14. 3 nokta eğilme deneylerin şematik gösterimi	33
Şekil 3.15. Eğilme deneylerin yapıldığı test cihazı	33
Şekil 4.1. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	34
Şekil 4.2. 120 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	35
Şekil 4.3. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	36
Şekil 4.4. 120 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	37
Şekil 4.5. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.2 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	38
Şekil 4.6. 120 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.2 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	39
Şekil 4.7. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.3 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	40
Şekil 4.8. 120 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.3 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği	41

Şekil 4.9. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırıcıların eğilme momenti-numune-sehim grafiği	42
Şekil 4.10. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırıcıların eğilme momenti-numune-sehim grafiği.....	43
Şekil 4.11. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.2 GNOP takviyeli yapılan yapıştırıcıların eğilme momenti-numune-sehim grafiği.....	44
Şekil 4.12. 90 ⁰ ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.3 GNOP takviyeli yapılan yapıştırıcıların eğilme momenti-numune-sehim grafiği.....	45
Şekil 4.13. Çekme sonra kopma yüzeylerin makro hasar görüntüsü.....	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Çizelge 3.1. St 37 çeliğın kimyasal özellikleri	22
Çizelge 3.2. St 37 çeliğın mekanik özellikleri.....	22
Çizelge 3.3. DP460 mekanik özellikleri (Çetkin, 2021) Hata!	Yer
tanımlanmamış.	işareti
Çizelge 3.4. Yapıştırma işleminde kullanılan parametreler	26

KISALTMALAR

Mm	Milimetre
Mn	Manganez
Si	Silisyum
P	Fosfor
N	Azot
O	Oksijen
GNOP	Grafen nano oksit partikül
kN	Kilonewton

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ışığında endüstrinin birçok dalında değişimler meydana gelmiştir. Bu dallardan biri de günümüzde sıkça kullandığımız boru hatlarında meydana gelen teknolojik gelişmelerdir. Bu gelişmeler neticesinde birçok hammadde ekonomik ve güvenli bir şekilde uzun mesafeler boyunca boru hatlarıyla taşınımı yapılarak sanayide hammaddeye erişim konusunda kolaylık sağlamaktadır. Taşınan hammaddeler çeşitlilik göstermekle beraber en önemli örnekler arasında katı, sıvı, gaz, jet yakıtı ve sulardır. Boruların tarihçesine baktığımızda ilk olarak ABD’de 1800’lü yılların sonunda çıkan petrolün taşınması için geliştirilmiştir. Günümüzde ise boru hatları daha çok doğal gaz nakliyesi, bunun yanı sıra petrol ve mekanik tesisatta kullanılmak için inşa edilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte et kalınlığı ince fakat mukavemeti yüksek çelik borular kullanılmaya başlandı. 1850’lerden sonra metalürjik gelişmeler sonucunda çelik borular makine konstrüksiyon imalatında ve taşıt yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Metalürjik gelişmeler ışığında çapı 60’e kadar çıkabilen ve çok uzak mesafelere sıvı ve gaz nakledebilen et kalınlığı ince ve mukavemeti yüksek boru hatları inşa edilmektedir. Belirlenen basınç sınıflarına göre borular üretilmekte ve makine konstrüksiyon imalatında kullanılmaktadır.

Metalürjik malzemeler, gelişen teknoloji ile birlikte çok dikkatli üretimler yapılmasına rağmen malzemelerde değişik boyutlarda ve doğrultuda makro çatlaklar oluşmaktadır. Yük altında bu çatlakların ucunda gerilmeler oluşmakta ve oluşan bu gerilmeler sonucunda çatlaklar büyümekte ve malzemenin hasara uğramasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca iklim koşullarına bağlı olarak borularda meydana gelen sıcaklık, üretim aşamasındaki insan hatası, bakım-işletme servisi esnasında hasarlar meydana gelmektedir. Boru hatlarında yük altında meydana gelen hasarlı bölgelerde yüksek gerilmeler oluşur ve bu gerilmeler sebebiyle boru mukavemetinde azalmalar, buna bağlı olarak hatlarda yırtılmalar meydana gelir ve sistemin çalışmasının aksamasına hatta durmasına sebebiyet verir. Meydana gelen bu sızıntıların tespiti için servis elemanları incelemeye gider. Yapılan incelemeler sonucunda çatlakların onarımı mümkünse çeşitli yöntemler ile bu çatlaklar onarılır fakat eğer tamiratı mümkün değilse borunun değişimi yapılır. Yapılan onarımların borunun ilk mukavemetine yakın bir değer sağlamasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Dış kuvvetlerin etkisiyle borularda birçok hasar meydana gelmektedir. Bu hasarların giderilebilmesi için teknolojik yenilikler çerçevesinden birçok yöntem

geliştirilmiştir. Dış darbelerden kaynaklı hasara uğramış borunun tamamını değiştirmek yüksek ekonomik maliyetler çıkarmanın yanında zaman kaybına da sebebiyet vermektedir. Hasara uğramış borunun tamamını değiştirmek yerine hasar gören bölgenin tamirinin yapılması maliyet, işçilik ve zaman kaybının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Hasar gören bölgelerin onarımı için birçok yöntem geliştirilmiştir. Cıvatalı kelepçe ve kaynak başlıca kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemlerle yapılan hasar tamirlerinde hammadde temini, işçilik ve zaman kaybı gibi birçok olumsuzlukla karşılaşmaktadır. Ayrıca kayakla yapılan tamiratlardan sonra malzemede meydana gelen yanmalardan kaynaklı malzemenin kimyasal yapısını bozmakta ve buna bağlı olarak mukavemetini düşürmektedir. Bu yöntemlerdeki olumsuzluklara karşı geliştirilen alternatif yöntemlerden biri hasar gören bölgenin yapısal yapıştırıcılar ile yama bağlantısı yapılarak hasarın giderilmesidir. Yapısal yapıştırıcılarla yama bağlantısının yapılması hasar gören bölgenin minimum maliyet ve zaman kaybının en aza indirilerek tamirinin yapılması hedeflenmektedir.

1.1. Literatür Çalışması

Dorigato ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada yapışma bağlantılarının mukavemetini artırmak için sol jel tekniğiyle yapıştırıcıya zirkonyum nano partikül ilavesi yapmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen verilerde zirkonyum partikülün %1 vol'de yaklaşık olarak %60 oranında yapışma mukavemetinde iyileştirme sağlandığını açıklamışlardır. Bunun yanı sıra zirkonyum partikülünün yapıştırıcı ile substrat arasındaki ara yüzey ıslanabilirliğinin ve kimyasal uyumluluğun dengesini artırdığını da belirtmişlerdir.

Pinto ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada yapışma bağlantılarının kesme mukavemetine etkisini görmek için polivinil asetat yapıştırıcının içerisine grafen nano partikül takviyesini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde elde ettikleri deneysel verilerde %0.1 GNP takviyesinin kesme mukavemetini %50 'den daha yüksek oranda arttığını gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra yapıştırıcıya GNP takviyesinin yapışma yüzeyinde iyi bir ıslanabilirliğin meydana gelmesini sağlamıştır. GNP takviyeli yapıştırıcı ile yapılan yapışmaların kesme mukavemetindeki artışlar ile polimer zincirleri ve GNP'ler arasındaki güçlü ara-yüzey etkileşimleri ile ilişkilendirilmiştir.

Zhai ve ark. (2006), çalışmalarında yapıştırma bağlantıları üzerinde nano alümina partiküllerinin etkisini belirlemek için farklı oranlarda nano alümina

partiküllerini epoksi yapıştırıcısına ilave ederek oluşturulan yapıştırma bağlantılarının çekme-koparma deneylerini yapmışlardır. Nano alüminan partiküllerinin %2 oranına kadar yapıştırma bağlantılarının mukavemetini artırdığı görülmüştür. Fakat %2 den fazla alümina ilavesinin yapıştırma bağlantıları üzerinde mukavemetinin olumsuz etkileri olmuştur. %2'den fazla takviyenin ara yüzey ve kohezyon birleşiminin yapısını değiştirdiğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Borghei ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada grafen nano partikül takviyeli tek bindirmeli yapıştırma bağlantıları ve perçinin çekme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerde, %0.5 GNP takviyeli yapıştırıcı ve perçinin kullanıldığında yapılan yapışmaların çekme kuvveti, takviye malzemesi kullanılmadan yapılan yapışma bağlantılarına göre sırasıyla %12 ve %24 oranlarında artış sağlanmıştır. Bunun yanı sıra çekme deneyinden sonra kopan yüzeylerden alınan SEM görüntülerine göre GNP takviyesinin kullanıldığı yapıştırmalarda bağlantı yüzeylerinde homojen bir film tabakasının oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Han ve ark. (2019), çalışmalarında epoksi yapıştırıcılara takviye malzemesi olarak kullandıkları grafen ve karbon nanotüp partiküllerin bağlantı elemanları üzerindeki mekanik ve elektriksel özelliklerini deneysel ve sayısal olarak çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde elde ettikleri verilerde, %0,25 altındaki grafen takviyesinin mekanik özellikleri iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Bunun yanı sıra deneylerinde %0,25 üzerindeki karbon nanotüp takviyesinin mekanik özelliklerini daha iyi artırdığını belirtmişlerdir.

Moriche ve ark. (2016), çalışmalarında farklı oranlarda grafen nano partikülün (GNP) takviyeli epoksi yapıştırıcılar ile yapılan yapışmaların termal iletkenlik üzerindeki etkisini belirlemek deneyler yapmışlardır. Yapılan Deneysel çalışma sonucunda elde ettikleri verilerde GNP'nin %8 ve %10 oranlarında takviyesi ile termal iletkenliğin sırasıyla %206 ve 306 oranlarında arttığını belirtmişlerdir.

İmak (2022), yapılan çalışmada halka kesitli transmisyon çeliği çubukların alın altına bindirmeli olarak iki farklı yapıştırıcı (DP410, DP490), dört farklı bindirme mesafesi (10mm, 20mm, 30mm, 40mm) ve iki farklı bindirme açısı (30^0 , 90^0) ile yapıştırılan numunelerin çevresel yapışma yüzeylerinin mekanik davranışlarını incelemiştir. Belirlenen parametrelerde alın altına bindirmeli olarak yapıştırılan

numuneler çekme ve burulma deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen deneysel verilerde DP410 yapıştırıcıyla yapıştırılmış halka kesitli çubukların mukavemet değerinin DP490 yapıştırıcıyla hazırlanmış olan çubuklara göre daha iyi olduğunu belirtmiştir.

Razavi ve ark. (2018), çalışmalarında tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcıya takviye malzemesi olarak silica nanoparticles (SNPs) and multi walled carbon nanotubes (MWCNTs) partiküllerinin yapışmalar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen verilerde nano partikül takviyeli yapıştırmaların ortalama kesme mukavemeti ve uzamalar üzerinde önemli bir etki yaptıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları deneyler sonucunda tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının hasar mekanizmaları ve kırılma yüzeylerinin bağlantı mukavemetleri arasındaki korelasyonu da incelemişlerdir.

Sadigh ve ark. (2018), yaptıkları araştırmada yapıştırma bağlantılarında yorulma ömrü üzerinde İndirgenmiş oksit grafen partiküllerinin etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar indirgenmiş oksit grafen partikülünün kullanıldığı yapıştırma bağlantılarının yorulma ömrünü %300 oranında artırdığını yaptıkları deneyler sonucunda elde etmişlerdir.

Akpınar ve ark. (2017), yapıştırıcı içerisine %0.25, %0.5, %1, %2 ve %3 farklı oranlarda nano Grafen-COOH, Karbon Nanotüp-COOH ve Fullerene C60 takviyelerini kullanarak, bu takviyelerin tek tesirli yapıştırma bağlantılarında etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak farklı oranlarda kullanılan takviyelilerin yapıştırma bağlantıları üzerinde karışım oranları ve takviyenin türüne bağlı olarak farklı oranlarda etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca en iyi iyileşme %1 oranı ile Fullerene C60 takviyesinden elde edilmiştir.

Jia ve ark. (2018), graphene nanoplatelets takviyeli yapıştırıcının çift konsollu giriş bağlantılarındaki Mod I kırılma direnci üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. %0.25 oranında graphene nanoplatelets takviyesinin bağlantıların kırılma dirençleri üzerinde saf epoksi yapıştırıcıya göre 5 kat daha fazla bir dayanımının olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca graphene nanoplatelets oranı artırdıkça bağlantıların tokluğunun düştüğünü vurgulamışlardır.

Moriche ve ark. (2016), Yaptıkları çalışmada GNP/epoksi nanokompozit yapıştırıcıların ısı iletkenliği ve kesme mukavemeti üzerindeki etkilerini belirlemek için araştırma yapmışlardır. %8 ve %10 graphene nanoplatelets epoksi yapıştırıcı içerisine

takviyeleri sonucunda termal iletkenliğin sırasıyla %206 ve %306 oranlarında artırdığını belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra yapıştırıcıların kesme mukavemeti üzerinde net bir etkinin olmadığını vurgulamışlardır.

Jeroen ve ark., (2010), çalışmalarında yaptıkları yorulma ömrü deneylerinde standart API hat borusu kuplajı ve iki modifiye kuplajını incelemiştir. Bağlantı etkisi üzerindeki kaplinin geometrisinin yorulma ömrünü, 4 noktalı eğilme yorulma testi düzeninde test ederek S-N eğrilerini elde etmişlerdir. Elde edilen verileri, sonlu elemanlar modeliyle karşılaştırıp değerlendirmişlerdir.

Vaziri ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada harmonik bir eksenel kuvvet etkisinde kalan yapışkan olarak bağlanmış, tübüler eklemelerin borulu eklem geometrilerinden esinlenerek malzeme ve yapışkan özelliklerinin dinamik tepkilerini araştırmışlardır.

Das ve ark. (2016), çalışmalarında tabakalı FRP kompozit borular iç basınca maruz bırakarak yapıştırılmış soket bağlantılarının gerilme analizini üç boyutlu incelemiştir.

Li ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada korozyon önlemek için plastik alaşımlı kompozit boruya yapıştırılmış yapışkan metal parçasının yük altında gerilme analizini araştırmışlardır.

Imanaka ve ark. (1995), Yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar metoduyla Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) ile çelik çubuk yapıştırma birleştirmelerinin yorulma mukavemetini farklı bindirme uzunlukları ve farklı boru et kalınlıklarında burulma ve eğilme yüklemeleri incelemiştir. Yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde elde ettikleri verilerde bağlantının yorulma dayanımının temel olarak yapıştırma-bindirme bölgesi ara yüzeyi sonundaki maksimum normal gerilmeye bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Fernando ve ark. (1996), Yaptıkları çalışmada kuru ve ıslak çevre şartlarında epoksi yapıştırıcı ve alüminyum alaşımlı malzeme kullanılarak yapılan yapıştırmaları kırılma mekaniği yaklaşım yöntemini baz alarak çevrimsel yük altındaki yorulma davranışlarını araştırmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde elde ettikleri yorulma deneylerinde, çevrimsel yüke bağlı olarak oluşan çatlak gelişimi ile bu esnada serbest kalan şekil değiştirme enerjisi ($G_{maks.}$) arasındaki ilişkiyi grafiklere aktarmışlardır. Buna göre kuru çevre koşullarında çatlak yayılması sonucunda serbest kalan şekil değiştirme enerjisinin statik yüklemeler sonucunda kırılma sonucu oluşan şekil değiştirme enerjisiyle (G_c) kıyaslandığında daha küçük değerlerde olduğunu yorulma

deneyleri sonucunda elde etmişlerdir. Bunun yanı sıra Islak çevre şartlarında yapılan yorulma deneyleri sonucunda ise kuru çevre koşullarına nazaran daha düşük şekil değiştirme enerji değerlerinde hasar tespit etmişlerdir.

Knox ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada farklı yöntemler kullanarak üretimlerini yaptıkları 100 mm çapındaki Glass Reinforced Epoxy (GRE) boruların yapışma bağlantılarını değişken eksenel, eğilme ve iç basınç yüklerine maruz bırakarak yorulma analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda deneylerden elde edilen sayısal verilerde yorulma yüküne maruz bırakılan numunelerde eksenel simetrik hasarların ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Portillo ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada boru şeklindeki yapıştırma bağlantılarının burulma yüklemesi altındaki yorulma mukavemet dayanımını deneysel ve numerik olarak iki yöntemle incelemişlerdir. Çalışmalar neticesinde yaptıkları deneylerde elde edilen verilerde deneysel ve analitik yöntemlerle yapılan çevrimsel burulma yükleri altındaki yorulma dayanımının çok farklı sonuçlar çıkardığını belirtmişlerdir. Bu ciddi farkların nedenini araştırmak için silindirik yapıştırma bağlantılarının torsional yüklere karşı yorulma davranışı ile alakalı daha fazla araştırma yapılmasını önermişlerdir.

Mengel ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada Mil-göbek yapıştırma bağlantılarını iki bileşenli epoksi yapıştırıcı ve tek bileşenli anaerobik bileşenli yapıştırıcı kullanarak yaptıkları yapışmaların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında şaft malzemesi olarak Ck45 çeliğini, göbek (hub) malzemesi olarak da alüminyum ve magnezyum alaşımlı hafif metalleri seçmişlerdir. Elde edilen yapışma bağlantıları Farklı kürleşme basınçlarına maruz bırakıldıktan sonra numuneler statik ve çevrimsel yüklerin etkisi altında yorulma deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerde, yapışma bağlantıları esnasında uygulanan hidrostatik kürleşme basıncının bağlantılardaki statik ve yorulma dayanımını atmosfer basıncına nazaran artırdığını gözlemlemişlerdir.

Kitching ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada takviye malzemesi olarak cam ilavesi kullanılan eğik plastik kompozit boruların iç basınca, iç ve dış düzlemde eğilmeye maruz bırakıldığı durumda, beş dik açılı çoklu eğik kompozit borulardaki gerilme dağılımlarının ölçümlerini yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda elde edilen verileri deneysel teorik olarak karşılaştırmışlardır.

Tarakçıoğlu ve ark. (2005), Yaptıkları çalışmada filament sarımlı kompozit boruların değişen iç basınç altında yorulma davranışını incelemişlerdir. Elyaf

cam/epoksi malzemelerinden üretilmiş kompozit boruları, uçlarının açık olduğu durumlar altında deneye tabi tutmuşlardır. Test örneklerinde ± 550 sarım açılarına sahip dört tabakalı kompozit borular kullanmışlardır.

Jahromi ve ark. (2017), Yaptıkları araştırmada yüksek artık gerilmelerden kaynaklanan tabakalı hale getirilen seramik ilaveli metal kompozit kaplar ile seramik takviyesi yapılmayan metal kaplar arasındaki farkları araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda değişen plastik ve elastik özellikli malzemeler için değişen malzeme özellikleri metodunun bir uzantısını kompozit kaplardaki artık gerilmeyi hesaplamak için kullanmışlardır.

Ouyang ve Li, (2009), Çalışmalarında yapıştırıcı ile boruları birleştirilerek yapılan yapışmaların burulma yüklemesi ile elastik davranışlarını analiz etmişlerdir ve analitik derivasyonlar kohesive zone model temel alınarak yapılmıştır.

Yaptığımız çalışmada sanayide hazır halde bulunan st37 çelik boruların 150 mm boyutlarında kesimler yaparak hazırlanan numunelerin merkezinde 10 mm genişliğinde ve 40 mm uzunluğunda kama ile oyuk açıldı. Üzerinde oyuk açılan numuneler 75 mm uzunluklarından oyuğun tam ortasından kesimler yapıldı. Oyukların tamiri için yine st37 çelik borulardan 90° ve 120° açısal ve 40, 50, 60 mm uzunluklarında kesimler yapıldı. Üzerinde oyuk açılan ve ortadan ikiye bölünen numune alt yama sabit kalacak ve üst yama oyuğu kapatacak şekilde 40, 50, 60 mm uzunluklarında takviyesiz (DP460) ve %0.1,%0.2,%0.3 oranlarında grafen nano oksit partikül takviyeli yapıştırıcılar yapılmıştır. Yapılan yapıştırma bağlantıları çekme ve eğilme deneylerine tabi tutularak yama yüzey alanı ve grafen nano oksit partikül oranının mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Yapıştırıcılar

Yapışma olayı, yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcı arasında yer alan adezyon ve yapıştırıcının kendi içinde yer alan kohezyon arasındaki fiziksel ve kimyasal etkileşime denir.

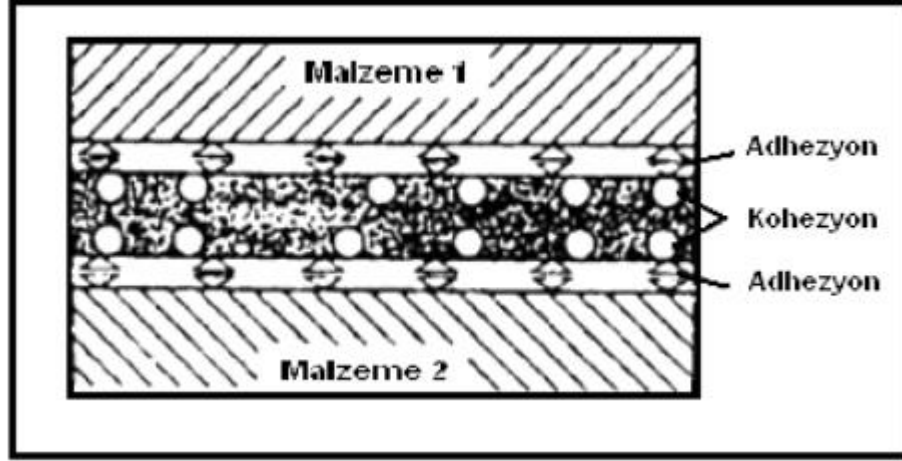
Yapışma birbirinden farklı iki maddenin birbirini çekerek yapışmasıdır. Yapıştırıcılar yüksek mukavemet gücüne sahip olduklarından yapışan iki maddeyi birbirinden ayırmak oldukça caba harcanması gereken bir durumdur. Yapıştırılan iki madde birbirinden farklı malzemeler olmalıdır. Yapıştırılan yüzeyler temizlenerek yapıştırılmaya uygun hale getirilmelidir.

2.1.1 Adhezyon

Yapıştırılan malzeme yüzeyi ve yapıştırıcı arasında bir etkileşim meydana gelir. Meydana gelen bu etkileşimdeki çekim kuvvetine adhezyon denir. Yapışma olayının gerçekleşmesi, yapışan yüzeylerin yapışmaya uygun hale getirilmesi ile mukavemeti artar. Yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme arasındaki yapışma iyi sağlanamazsa aradaki moleküller zayıf kalır ve bağlantının mukavemeti düşük olur.

2.1.2 Kohezyon

Yapıştırıcı malzeme içerisindeki birbirine eş değer maddeler arasında meydana gelen kimyasal etkilerden kaynaklı çekim kuvveti oluşmaktadır. Oluşan bu çekim kuvvetine kohezyon denir. Kohezyon yapıştırıcı malzeme içerisindeki kimyasal bağlar ve moleküllerin çapraz bağlanmasına göre değişim gösterir. Şekil 2.1’de bir yapışma bağlantısında oluşan adhezyon ve kohezyon kuvvetlerin gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Yapıştırma bağlantılarındaki adhezyon ve kohezyonun şematik gösterimi (Rende, 2000)

2.1.3. Yapıştırıcı Materyallerin Türleri

Yapıştırıcı materyallerin birçok farklı türleri mevcuttur. Bunlar; materyalin cinsine, fiziksel ve kimyasal yapısına ve materyalin mekanik özelliklerine göre farklılık göstermekle beraber genel olarak fiziksel ve kimyasal gruplar şeklinde ayrılmaktadır. Kimyasal olarak gruplanan yapıştırıcılar arasında poliüretanlar, akrilikler, ultraviyole yapıştırıcı, sıcak eriyikler ve polivinil asetatlardır. Macun tipi yapıştırıcı, film tipi, düşük viskoziteye sahip yapıştırıcı materyaller, düşük yoğunluğa sahip yapıştırıcı materyaller, reçineler ve köpükler fiziksel yapıştırıcı grubu olarak adlandırılır.

2.1.4. Yapıştırıcıları Etkili Bir Şekilde Kullanabilmek İçin Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler

İki yapıştırma malzemesinin sorunsuz olarak yapışması birden çok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerden başlıcaları yapıştırıcının cinsi, kalitesi, dayanımı ve yapıştırılacak malzemenin türüne bağlı olarak farklı mukavemet direnci göstermektedir. Yapıştırıcı seçimi yapılırken maliyetinin düşük olmasına, mukavemetinin yüksek olmasına ve dayanım ömrünün uzun olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca yapışma olayının sağlıklı gerçekleşebilmesi için yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelerin uyumlu olması gerekir. Sıcaklık, nem, gerilim, kimyasal ve fiziksel çevre şartlarından kaynaklı olumsuzlukları en aza indireyecek malzeme seçimi yapılmalıdır.

2.1.5. Yapıştırıcının Avantajları

- ✓ Maliyetinin ucuz olması.
- ✓ Yapışması yapılacak malzemelerin yüzeyi pürüzsüz olduğundan gerilme sıklığı yaşanmaması.
- ✓ Sıcaklığa bağlı gerilmeler oluşmaması.
- ✓ Bütün malzemelere kolayca uygulanabilir olması.
- ✓ Farklı boyutlardaki malzemelere kolayca uygulanabilir olması.
- ✓ Yapışma homojen olarak gerçekleştiğinden gerilmelerin her tarafa eşit dağılarak mukavemet direncini artırması.

2.1.6. Yapıştırıcının Dezavantajları

- ✓ Sıcaklığa bağlı olarak mukavemeti düşer.
- ✓ Kaliteli yapışma olayının gerçekleşmesi için yüzeylerin pürüzsüz olmasına dikkat edilmesi gerekir.
- ✓ Kuvvet uygulandığında mukavemeti düşer.
- ✓ Yapışma olayının tamamlanması bazı yapıştırıcılarda uzun ömürlü olur.
- ✓ Zamana bağlı olarak yaşlanma gerçekleşir ve mukavemet düşer.
- ✓ Çevre şartlarına bağlı olarak yapışma mukavemeti düşer.

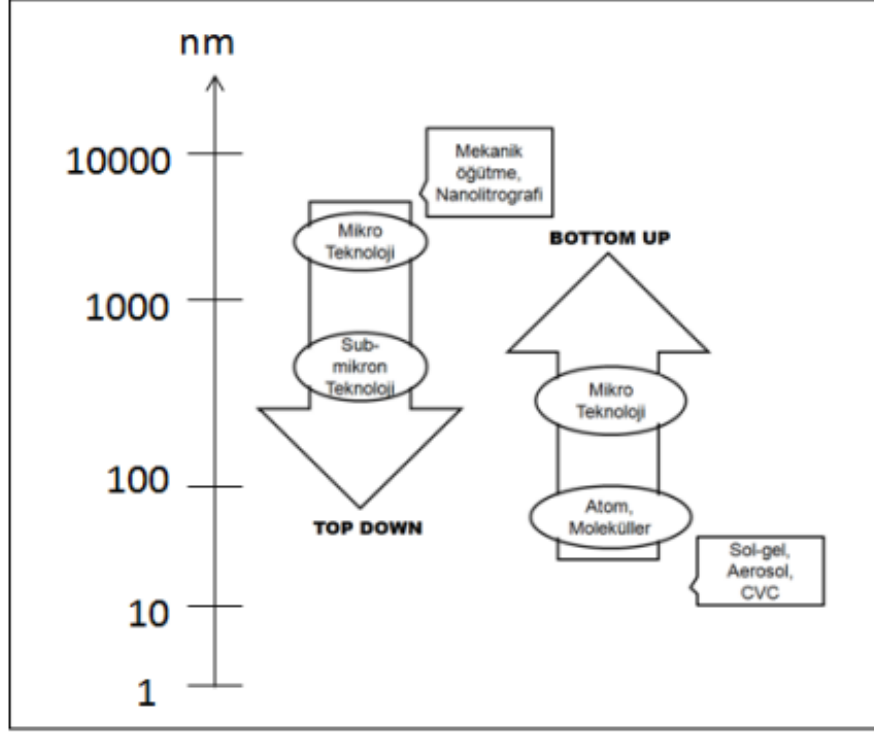
2.2. Nanopartiküller

Nanoteknoloji, nano ölçekte 100 nm'den daha küçük boyuta sahip malzemeler olarak tanımlanır. 1-100 nm nanomalzemelerin kimyasal özellikleri, mikro ve makro ölçekteki malzemelerin özelliklerinden büyük ölçüde farklıdır. Nanomalzemeler, fiziksel ve kimyasal kararlılıklarının yüksek olması, fonksiyonelleştirilebilme gibi çok yönlü kimyasal özellikleri ve yüksek yüzey alanı gibi benzersiz özelliklere sahiptir olduğundan dolayı bilimsel çalışmalarda oldukça ilgi görmektedir.

2.2.1. Nanopartikül Üretim Yöntemleri

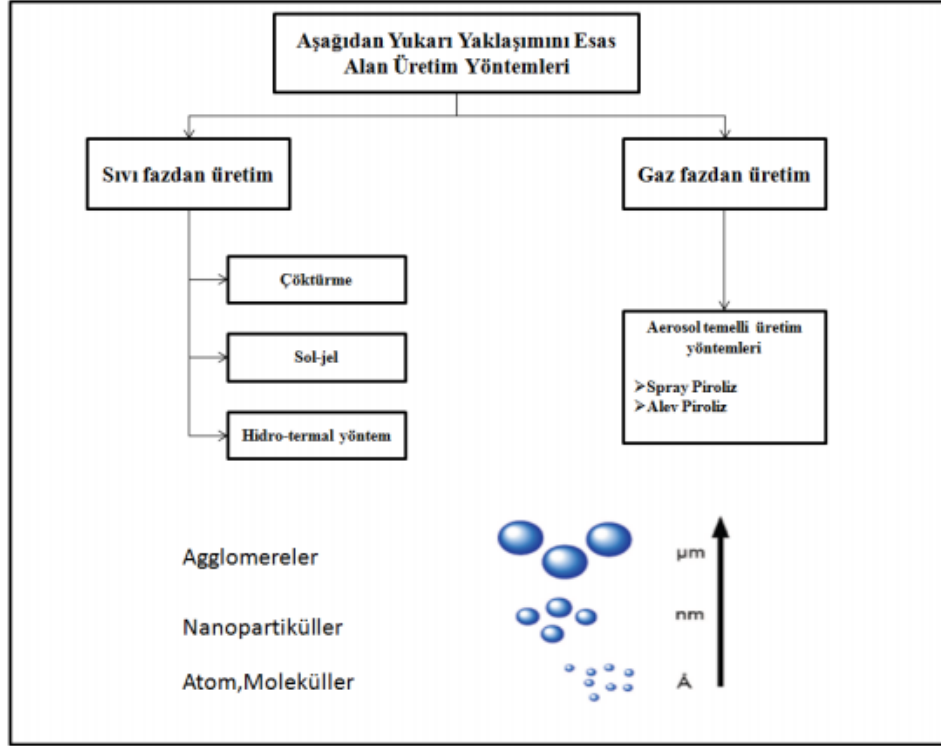
Nanopartikül üretiminde iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlardan birincisi yukarıdan aşağıya (top down), ikincisi ise aşağıdan yukarıya (bottom up) üretim yöntemleridir. Bu partiküller enerji yardımıyla öğütülüp 1-100 nm boyutlarına

aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yöntemiyle kimyasal olarak atomik bileşenlerin birleştirilmesiyle elde edilir. Şekil 2.2’ de nanopartikül üretiminde kullanılan yaklaşımlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Nanopartikül üretiminde kullanılan yaklaşımlar (Lan ve ark., 2011)

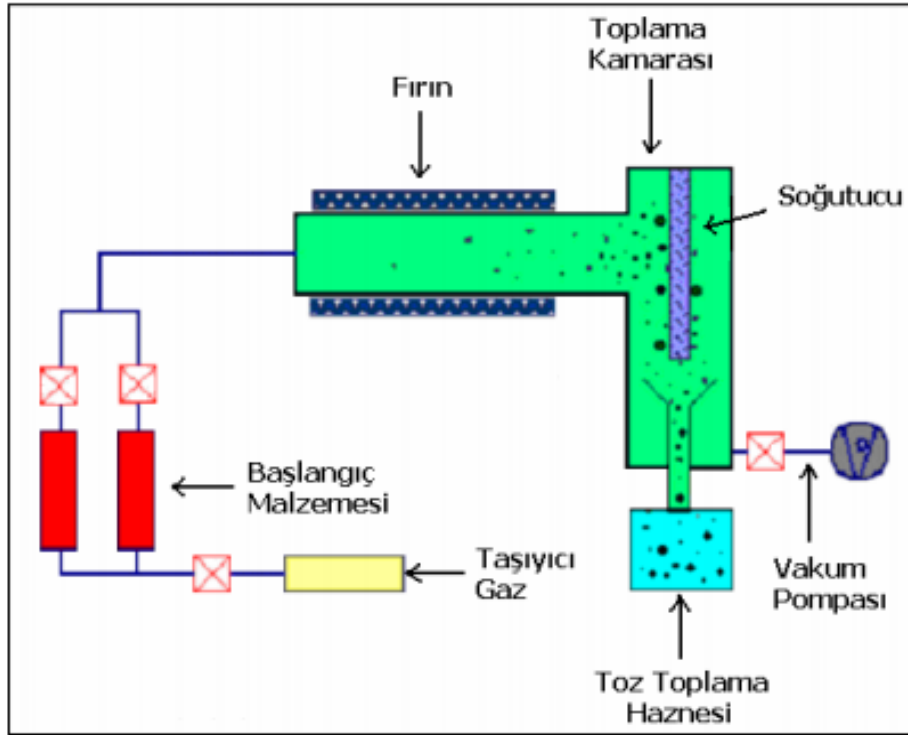
Top-down yöntemi daha büyük boyutlu malzemeleri küçük boyutlu parçalara ayırarak nano boyutlu parçacıklar elde etmek için kullanılan bir nanopartikül yöntemidir. Bu yöntem çeşitli tekniklerle uygulanabilir, örneğin mekanik öğütme, öğütme, atomize etme veya lazer çekiştirme gibi teknikler kullanılabilir. Bottom-up yönteminde ise kimyasal reaksiyonları kullanarak nano boyutlu parçacıkların üretilmesi işlemidir. Bu yöntemler daha büyük moleküllerden veya atomlardan başlayarak, moleküller veya atomik ölçekte parçacıkların üretilmesini içerir. Şekil 2.3’te aşağıdan yukarıya üretim yöntemi ile ilgili bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 2.3. Aşağıdan yukarı üretim yöntemleri (Lan ve ark., 2011)

2.2.1.1. Kimyasal buhar çöktürme

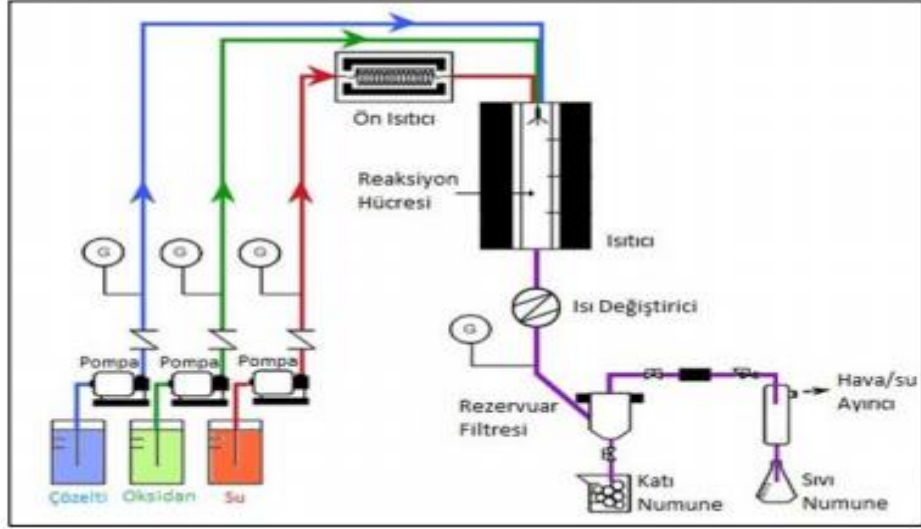
Nanopartikül kimyasal buhar çöktürme yöntemi (Chemical Vapor Deposition, CVD), kimyasal reaksiyonlar kullanarak gaz fazındaki moleküllerin yüzeylerine bağlanarak nano boyutlu parçacıkların oluşmasını sağlar. Bu yöntemi kullanarak, çeşitli metal oksitler, metaller, karbon, alüminyum nitrit, silisyum nitrit gibi malzemelerde nanoparçacıklar üretilebilir. Bu yöntem, çözünürlüğü yüksek malzemelerin üretiminde faydalıdır ve yüksek saflıkta ve kontrol edilebilir boyutlarda partiküllere izin verir. Bu yöntem, çok yüksek sıcaklıklar gerektirir ve vakum koşulları altında çalışır. Yapılan işlemin süresi, partikülün boyutu ve şekli üzerinde kontrol sağlamak için ayarlanabilir. Şekil 2.4' te CVC üretim yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.4. CVC üretim yönteminin şematik gösterimi (Ebin, 2007)

2.2.1.2 Hidrotermal üretim yöntemi

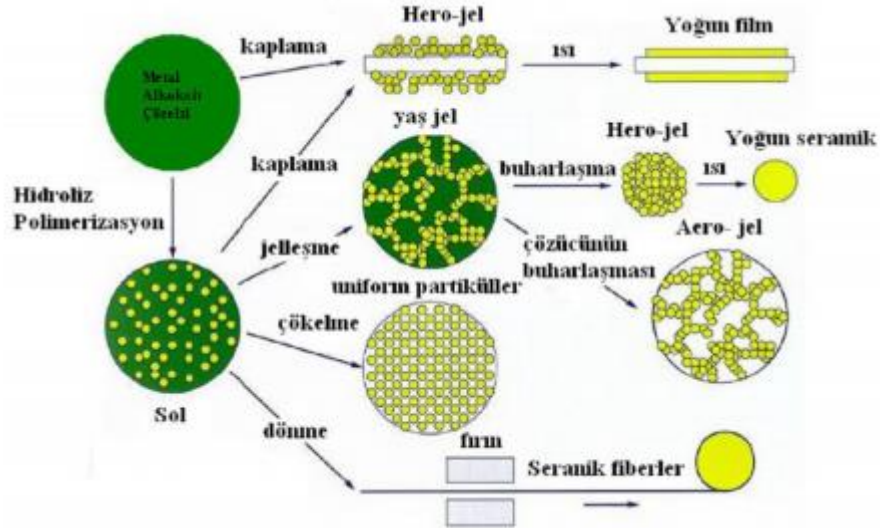
Nanopartikül hidrotermal üretim yöntemi, yüksek basınç ve sıcaklıklar ile belirli kimyasal reaksiyonları birleştirerek nano boyutlu parçacıkların üretilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kaynama noktasının üzerindeki su basıncı kullanılır ve reaksiyonlar bu ortamda gerçekleştirilir. Bu yöntem, metal oksitler, nitratlar, sülfatlar, organik asitler ve bazlar bitki özleri gibi çeşitli malzemelerle kullanılabilir. Bu yöntemde, metal kaynakları, bir çöktürme maddesi ve uygun bir çözelti ile reaksiyona sokulur. Daha sonra, çözelti yüksek sıcaklık ve basınç altında kalır ve bu işlem sonucunda nano boyutlu parçacıklar elde edilir. Şekil 2.5'te hidrotermal üretim yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. Hidrotermal üretim yönteminin şematik gösterimi (Aşık, 2012)

2.2.1.3 Sol-jel üretim yöntemi

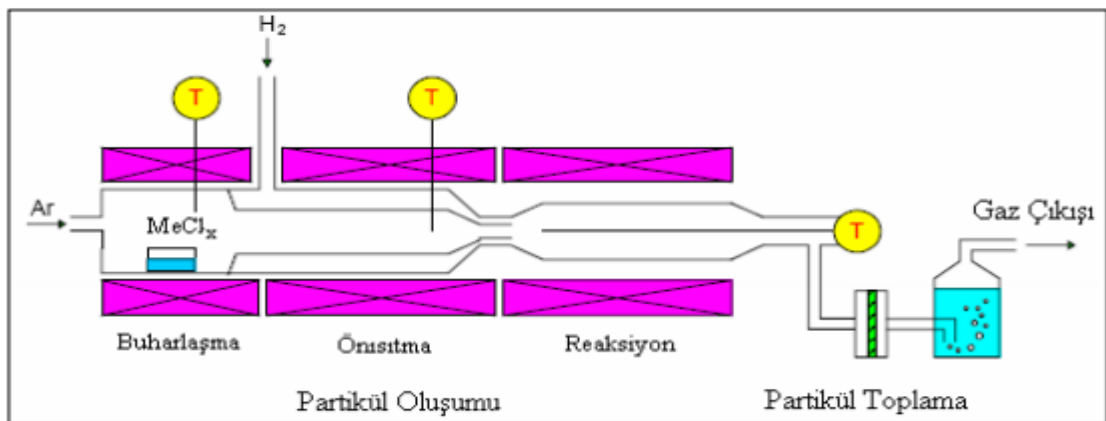
Nanopartikül sol-jet üretim yöntemi, bir tahrik sıvısı (örneğin su, organik çözücüler vb.) içeren bir solüsyonun, yüksek basınç altında bir nozulden püskürtülmesi ve atomize edilmesi ile nano boyutlu parçacıkların elde edildiği bir üretim yöntemidir. Bu yöntemde, bir pompa kullanılarak solüsyon yavaşça nozula gönderilir ve bu sırada yüksek basınç altında atomize edilir. Bu atomize solüsyon, bir toplayıcı yüzeye püskürtülür. Bu sırada solüsyondan hızla uçan su veya çözücü buharlaşır ve yalnızca nano boyutlu partiküller toplayıcı yüzeye çöker. Şekil 2.6' te Sol-Jel tekniğinin temel adımları ve son ürünlerin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.6. Sol-Jel tekniğinin temel adımları ve son ürünlerin şematik gösterimi (Aşık, 2012)

2.2.1.4 Hidrojen redüksiyonu yöntemi

Nanopartikül hidrojen redüksiyon üretim yöntemi, redüksiyon reaksiyonları kullanarak nano boyutlu parçacıkların üretilmesini sağlar. Bu yöntemde, başlangıç malzemeleri genellikle bir hidrojen kaynağı ve metal tuzlarıdır. Bu yöntemde, hidrojen gazı veya hidrojenli bir çözelti, bir metal tuzu solüsyonuna damlatılır. Bu işlem sırasında, hidrojen molekülleri metal iyonlarını indirgeyerek metal nanopartiküllerin üretimini sağlar. Bu yöntem, yüksek kontrollü bir üretim sürecine sahip olup, çöktürmenin boyutu ve şekli kontrol edilebilir. Bu yöntemde, parçacık boyutu, demirleyici maddelerin türü ve konsantrasyonları, pH ve sıcaklık da dahil olmak üzere birçok farklı değişken ayarlanabilir. Şekil 2.7' de hidrojen redüksiyon yöntemi şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.7. Hidrojen redüksiyon yöntemi (Chen, 2009)

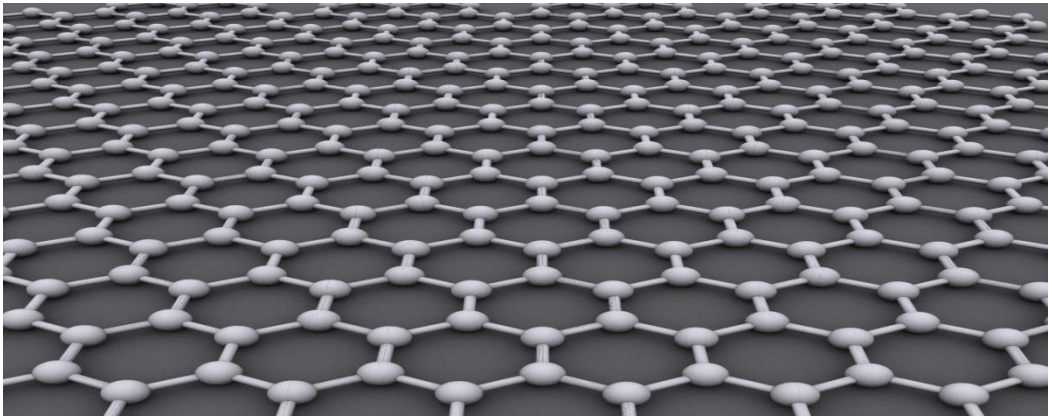
2.2.1.5 Mekanik aşındırma yöntemi

Nanopartikül mekanik aşındırma üretim yöntemi, çeşitli malzemelerin nano boyutlu parçacıklarının elde edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, malzeme öğütücü olan bir cihazda, öğütme ortamı ve malzeme parçaları bir arada öğütülerek nanopartiküller elde edilir.

Bu yöntem, mekanik öğütme yöntemi olarak da bilinir ve birçok farklı malzeme için uygulanabilir. İşlem sırasında, düşük sürtünme, yüksek enerji darbeleri ve sıcaklık artışı gibi faktörler, malzemelerin küçük parçalara ayrılmasına neden olur, bu da nanopartikül üretimine yol açar.

2.2.2. Grafen

Grafen, tek bir karbon atomu kalınlığında ve iki boyutlu kristal yapısıyla bilinen allotropik formdur. Temel olarak grafen, grafitin tek bir tabakasıdır ve karbon atomları sp^2 hibridizasyonu ile bağlanarak altıgen yani arı peteği örgüsü oluşturur. Bu özelliği nedeniyle elektronların serbestçe hareket edebildiği ve yüksek iletkenlik özelliği olan bir malzeme olarak tanınır. Grafen, dayanıklılığı, hafifliği ve esnekliği nedeniyle birçok uygulama alanında potansiyel olarak kullanışlıdır, örneğin elektronikler, malzeme bilimi, biyoteknoloji ve enerji depolama sistemleri gibi alanlarda kullanılabilir. Şekil 2.8’ de arı peteği şeklindeki grafenin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.8. Arı peteği şekli oluşturan karbon atomlarının iki boyutlu görüntüsü (Kwon, 2010)

2.2.2.1. Grafenin Yapısı ve Özellikleri

Grafenin içerisinde yer alan karbon-karbon bağ arası mesafe 1.42 Angstrom iken grafen tabakalarının üst üste gelmesiyle meydana gelen grafitte ise iki grafen tabakası arasındaki uzaklık yaklaşık olarak 3.35 Angstrom 'dur. Grafende içerisinde yer alan güçlü karbon bağları, yeryüzünde bilinen en iyi malzeme özelliğini ona kazandırmıştır. Grafenin bazı güçlü özellikleri vardır. Bunlar;

- I. Elektronlar kütsüz gibi, tek atom kalınlığındaki karbon tabakasında hareket ederler ve elektronların grafen içindeki hızı, silikondaki hızına göre oldukça fazladır.
- II. Grafen, çelikten 100 kat daha güçlüdür. Malzeme olarak en ince olmasına rağmen, mekanik özellikleri bakımından en iyi malzeme olarak bilinir.
- III. Grafen, ısıyı iletmede en iyi malzeme olarak bilinir.
- IV. Grafen atomları çok sıkı bir şekilde dizilmiş olup içerisinden en küçük atom (Helyum) dahi geçemez. Ancak grafen rahat esneyebilmekte ve farklı formlardaki malzemelerin yüzeyine kolayca kaplanabilmektedir.

2.2.2.2. Grafenin sentezlenmesi

Grafeni; katman ayırma yöntemi, silisyüm karbür, kimyasal buhar biriktirme ve kimyasal ayrıştırma yöntemi ile sentezlenmesi yapılmaktadır.

2.2.2.2.1. Katman Ayırma Yöntemi

Grafen katman ayırma yöntemi (Graph Partitioning Method), büyük boyutlu bir grafiği daha küçük parçalara ayırmak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, özellikle büyük çaplı bilimsel simülasyonlar veya veri işleme uygulamaları gibi yüksek performans gerektiren hesaplama uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.

Grafen katman ayırma yöntemi, grafiği bölge veya katmanlara ayırmak için bir dizi algoritma kullanır. Bu algoritmalar genellikle grafen yapısını, ağırlıklarını veya düğüm bağlantılarını göz önünde bulundurarak çalışırlar. Yöntem genellikle, optimum bölme için bölünecek katman boyutlarının nasıl belirleneceğine ilişkin bir optimizasyon problemiyle başlar ve ardından grafiği istenen katman sayısına bölerek ayırır.

2.2.2.2.2. Silisyum karbür (Epitaksiyel büyüme)

Grafen silisyum karbon ayırma yöntemi, bir malzemenin bileşenlerini birbirinden ayırmak için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, grafen ve silisyum karbür gibi malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Grafen silisyum karbon ayırma yöntemi iki aşamalı bir işlemdir. İlk aşamada, karışımdaki silisyum karbür ve grafen numunesi, yüksek sıcaklıkta inert bir gaz atmosferinde ısıtılır. Bu işlem, malzemelerin grafen ve silisyum karbür olmak üzere iki bileşene ayrılmasını sağlar. Grafen, yüksek saflıkta bir şekilde ayrılırken, silisyum karbürün yaklaşık yarısı açığa çıkar.

İkinci aşamada, çıkan silisyum karbür numunesi, yine yüksek sıcaklıkta bir atmosfer altında ısıtılır ve saf silisyuma ayrılır. Bu işlem, grafen ve silisyum karbürün ayrıldığı ilk aşamada oluşan atığın daha da azaltılmasını sağlar.

2.2.2.2.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

Grafen kimyasal buhar biriktirme yöntemi, grafen tabakalarının üretiminde yaygın bir tekniktir. Bu yöntem, özellikle CNCMT (Chemical Vapor Deposition Method) olarak da bilinir ve bir grafen filminin bir yüzeydeki ince bir bölgeye kimyasal olarak biriktirilmesi yoluyla gerçekleştirilir.

Bu yöntem, özel bir reaktör kullanılarak gerçekleştirilir. Reaktör, bir taşıyıcı gaz akışı ile birlikte yanmış gazların kullanıldığı bir atmosferik odadır. Sonrasında taşıyıcı gaz, birkaç katman grafen kalınlığında karbon gazı sağlar. Bu reaktör, saf metal katalistlerine sahip buhar tüpleri üzerinden ısıtılır ve birbirine benzer sıcaklık özellikleri olan metal alt katmanlar yardımıyla bir cihaza bağlanır.

2.2.2.2.4. Kimyasal ayrıştırma yöntemi

Grafen kimyasal ayrıştırma yöntemi, grafen tabakalarının ayrıştırması için bir tekniktir. Bu yöntem, grafen nanotüpü gibi diğer karbon nano yapılardan ayrıştırılmak için de kullanılabilir. Bu yöntem, kimyasal olarak daha az kararlı olan hedef malzemeleri ayırmak için kullanılır.

Teknik olarak, grafen kimyasal ayrıştırma yöntemi, grafen katmanlarının yan tarafındaki bağlantıları kimyasal olarak parçalamak için kullanılan bir tekniktir. Malzeme, bu yöntemde özel bir kimyasal solüsyona batırılır ve sonra bu solüsyon kullanılır. Grafen tabakaları, bu solüsyonda ayrıntılı bir şekilde seçilir.

2.2.2.3. Grafenin kullanım alanları

Grafen, tek bir karbon atom tabakasından oluşan ve yüksek mukavemet, esneklik, yüksek iletkenlik, renksizlik ve saydam olma özellikleri gösteren bir malzemedir. Bu özellikler, grafenin birçok farklı uygulama alanında kullanılabilmesini sağlar. Bazı grafen kullanım alanları şunlardır:

1. Elektronik: Grafen, yüksek iletkenlik özelliği nedeniyle çok sayıda elektronik uygulama için kullanılabilir. Transistörler, sensörler, yarı iletkenler, enerji depolama cihazları ve daha birçok elektronik cihazda kullanılabilir.

2. Malzeme Bilimi: Grafen, yüksek mukavemet özelliği nedeniyle çeşitli malzemelerde bir katman olarak kullanılabilir. Kompozit malzemeler, polimerler, seramikler, cam ve diğer malzemelerin mukavemeti artırılabilir.

3. Tıp: Grafen, biyoyumluğu ve biyoyumluluğu nedeniyle biyomedikal uygulamalarda da kullanılabilir. Grafen tabanlı implantlar, biyolojik sensörler, hücre kültürü ve benzeri tedavi yöntemlerinde kullanılabilir.

4. Enerji: Grafen, enerji depolama cihazları, güneş pilleri ve elektrotlar için de kullanılabilir. Yüksek iletkenlik özelliği, enerjinin daha verimli bir şekilde iletilmesini sağlar.

5. Optik: Grafen, saydam ve renksiz olma özelliği nedeniyle optik uygulamalarda kullanılabilir. Mikroskoplar, fiber optikler, oled ekranlar, güçlendirilmiş optik camlar ve diğer optik cihazlar için potansiyel bir malzemedir.

6. Filtrasyon: Grafen, su ve hava gibi çeşitli sıvıların ve gazların filtrelenmesi için kullanılabilir. Su filtreleme, hava filtreleme, gıda sterilizasyonu ve diğer filtreleme uygulamaları için potansiyel bir malzemedir.

2.3. St. 37 Çeliği

St37 çeliği, Alman standartlarında (DIN), S235JR olarak bilinen yapısal bir çelik türüdür. St37 çeliği, düşük karbonlu bir çelik türüdür ve hafif yapışmaya dayanıklıdır.

St37 çeliği, inşaat, makine imalatı ve genel yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Dayanıklılığı, şekillendirilebilirliği ve kaynaklanabilirliği nedeniyle çeşitli yapısal elemanlar ve bileşenler için ideal bir malzemedir. Aynı zamanda tesislerde kullanılan boru hatları, boru konektörleri ve basınçlı kaplar gibi birçok sanayi uygulamasında da kullanılır.

St37 çeliği genellikle sıcak haddeleme yöntemiyle üretilir ve bu yöntem çeliğin mukavemetini, işlenebilirliğini ve düzgün bir yüzey elde edilmesini sağlar. S235JR çeliği, Alman standartlarında DIN 17100 olarak belirtilir ve Avrupa standartlarında EN 10025-2 olarak belirtilir.

St37 çeliği, çoğu yapısal uygulama için uygun bir malzemedir, ancak yüksek mukavemetli çelikler ile karşılaştırıldığında daha düşük bir mukavemet seviyesine sahiptir. Ayrıca, düşük karbonlu yapısı nedeniyle sıcaklıktaki yükselmelere karşı dayanıklılığı sınırlıdır ve yüksek sıcaklıklarda kullanımda bazı dezavantajlara sahip olabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan tez çalışmasında 75 mm uzunluk ve 2 mm et kalınlığındaki st37 çelik boruların üzerinde 10 mm genişliğinde ve 20 mm uzunluğunda kama oyukları açılmıştır. Oyukların tamiri için yine st37 çelik borulardan 90° ve 120° açısız ve 40, 50, 60 mm uzunluklarında yama kesimleri yapılmıştır. Üzerinde oyuk açılan ve ortadan ikiye bölünen numune alt yama sabit kalacak ve üst yama oyuğu kapatacak şekilde 40, 50, 60 mm uzunluklarında takviyesiz ve %0.1, %0.2, %0.3 oranlarında grafen nano oksit partikül (GNOP) takviyeli DP460 yapıştırıcı ile yapıştırılmalar yapılmıştır. Yapılan yapıştırma bağlantıları çekme ve eğilme deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonrasında numunelerde meydana gelen kopmaların yüzey morfolojik görüntüleri çekilmiştir. Görüntülerden yola çıkarak eğilme ve çekme testlerinde meydana gelen kopmaların nedenleri incelenmiştir.

3.1 Deneyde kullanılan Materyaller

3.1.1 St37 çelik

St37 çeliği makine konstrüksiyonlarında sıklıkla tercih edilen 17100 standardına göre belirlenmiş, akma dayanımı 220 MPa, çekme dayanımı 362,85 MPa olan bir çelik türüdür. St. 37 çeliği içerisinde birden fazla element bulunmaktadır. Bunlar; Mn, Si, P, N ve O elementleridir. Bu çeliğin yüksek mukavemete karşı direnci yüksek olup korozyona karşı direnci mükemmel seviyededir.

St 37 çeliğin çekme dayanımları ve sınır değerleri göz önünde bulundurularak birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin köprü yapımı, basınçlı kaplar, mekanik tesisat borularında, taşıt yapımı ve makine konstrüksiyonlarında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1’de st37 çeliğin kimyasal bileşimi ve çizelge 3.2 de st 37 çeliğin mekanik özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. St 37 çeliğin kimyasal bileşimi (%)

Malzeme	Malzeme No	C	Si	Mn	P	S	N
St37	1,0254	0,17	-	-	0,4	0,4	0,009-0,0014
St44	1,0256	0,21	-	-	0,4	0,4	0,009-0,0014
St52	1,0421	0,22	0,60	1,70	0,4	0,35	0,009-0,0014

Çizelge 3.2. St 37 çeliğin mekanik özellikleri

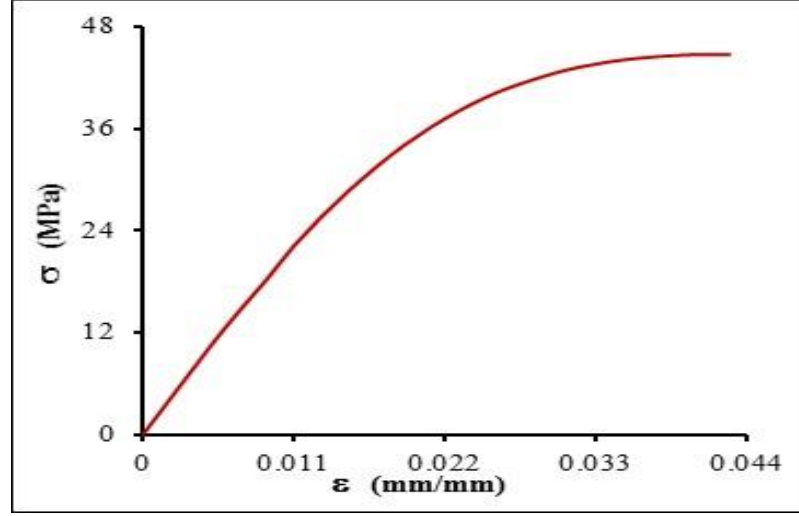
Malzeme	Malzeme No	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
St37	1,0254	350-480	235	25
St44	1,0256	420-550	275	21
St52	1,0421	500-650	355	21

3.1.2 Yapıştırıcı

Tez çalışmasında yapıştırıcı malzemesi olarak, yüksek kayma ve soyulma direncine sahip olan, kolay karışabilen ve 60 dakika çalışma özeliğine sahip olan 3M DP460 Beyaz epoksi yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. 3M DP460 yapıştırıcısının iki temel bileşeni vardır. Bunlar; epoksi (B) ve hızlandırıcı (A)'dır. Hacimsel olarak epoksi/hızlandırıcı oranı B:A=2:1 olduğunda yapıştırıcı yüksek dayanım göstermektedir. Bu oranı sağlamak için özel helezonik uçlar kullanılır. DP460 yapıştırıcısına ait mekanik özellikler çizelge 3.3'te ve gerilme-gerinme grafiği Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2'de ise yapıştırma işleminde kullanılan tabanca, DP460 yapıştırıcısı ve helezonik karıştırıcı uçların şematik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 3.3. DP460 mekanik özellikleri (Çetkin, 2021)

Elastisite Modülü	2077.1 MPa
Poisson Oranı	0.38
Çekme Dayanımı	44.616 MPa



Şekil 3.1. DP460 Malzemesinin gerilme-gerinme grafiği

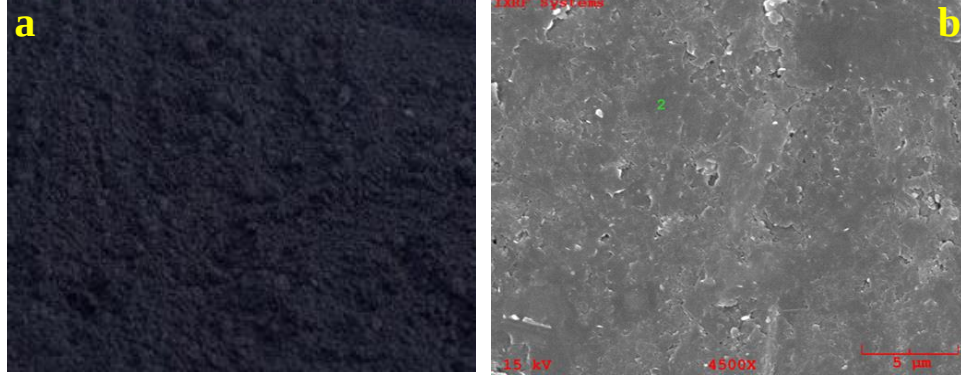


Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılacak DP460 yapıştırıcı, tabanca ve karıştırıcı uç

3.1.3 Grafen Nano Oksit

Yapıştırıcı malzeme ile birlikte takviye elemanı olarak grafen oksit nano partikülü (GNOP) kullanılmıştır. İki boyutlu (2D) bir karbonun allotropu olan grafen, sahip olduğu sıra dışı özelliklerinden dolayı 2004'ten beri plaka benzeri karbon nanomalzemeler 2D'de yeni bir çağ açtılar. Grafen, olağanüstü özgül yüzey alanına, üstün mekanik ve elektriksel özelliklere sahiptir. Grafenin bu özelliklere sahip olması, onu çok işlevli ve yapısal takviyeli kompozitler geliştirmek için diğer karbon allotroplarına göre avantaj sağlar. Literatürde grafen bazlı epoksi yapıştırıcıların

mekanik, termal, elektriksel ve termomekanik özellikleri ile ilgili önemli sayıda makale bulunmaktadır. Yapılan bu çalışma içinde epoksi yapıştırıcıları ile birlikte kullanımının yapıştırma bağlantıları üzerinde etkileri araştırılmıştır. Nano-grafen partiküllü kalınlığı 5-8 mm, çapı 5 μm , yüzey alanı 120-150 m^2/g , saflığı 99% ve yoğunluğu 0.05 g/cm^3 'dir. Şekil 3'te deneysel çalışmada kullanılan grafenin makro ve mikro görüntüleri verilmiştir.

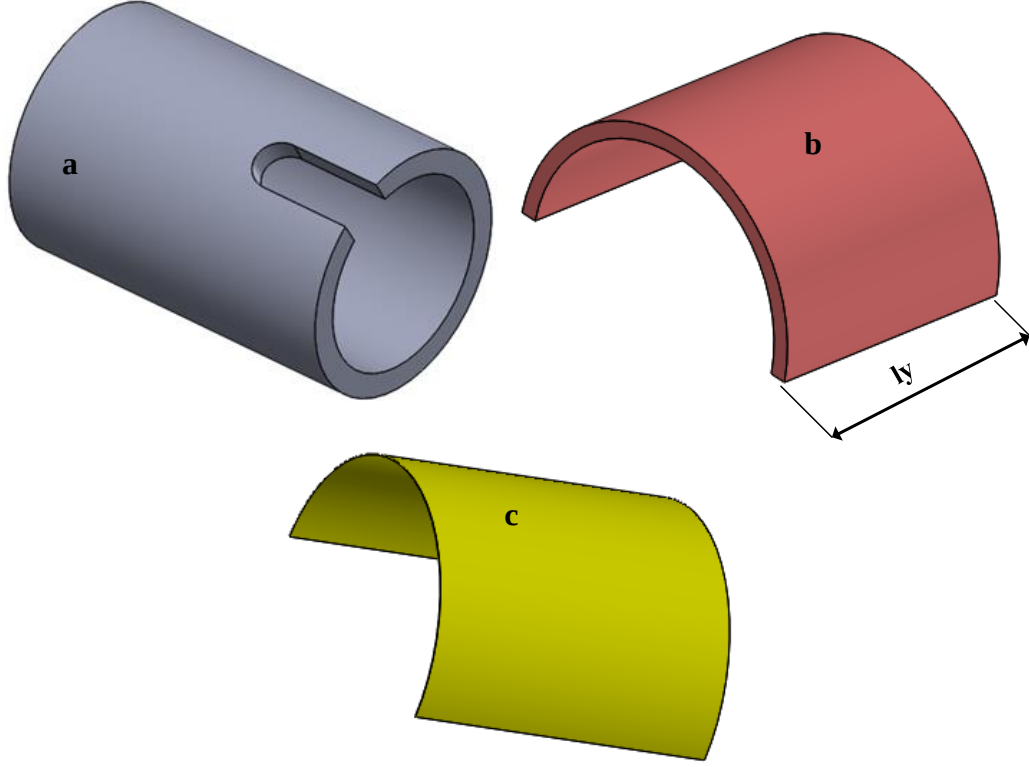


Şekil 3.3. Figure 3. Deneysel çalışmada kullanılan grafen partiküllünün makro ve SEM görüntüleri (a-Makro; b-Mikro)

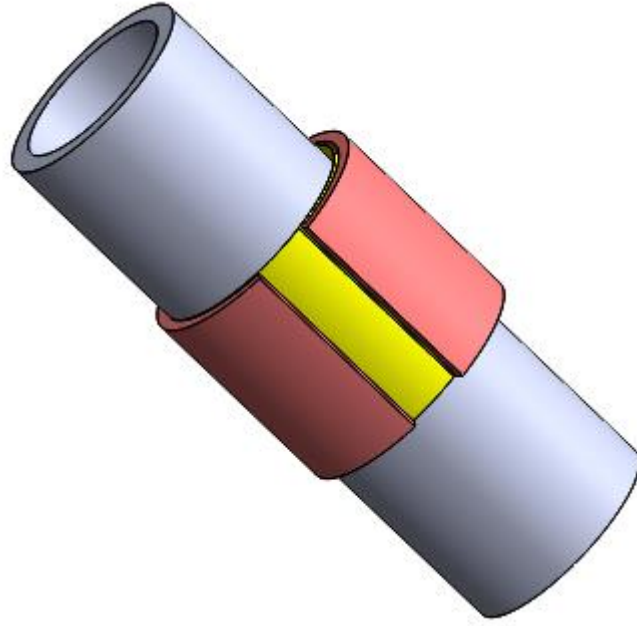
3.1.4 Yapıştırıcı numunelerin hazırlanması

St37 çeliği, DP460 yapıştırıcısı ve grafen nano partiküllerinin ticari olarak temin işlemleri tamamlandıktan sonra numunelerin yapıştırma işlemi için uygun hale getirilmesi işlemine geçilmiştir. Bu aşamada freze tezgahında parmak freze çakısı ile st37 çelikleri üzerinde 10 çapında ve 20 mm uzunluğunda çentikler açılmıştır. Çizelge 3.1'de yapıştırma işleminde kullanılan parametreler verilmiştir. Daha sonra yama ile yapıştırma yapılacak bölgeler torna tezgahında ince talaş kaldırmak suretiyle yapıştırma alanı yapıştırma işlemi için uygun hale getirilmiştir. Daha sonra yine malzemesi st37 çeliği olan yamaların torna tezgahında farklı boyutlarda kesimleri yapılmıştır. Şekil 3.4'de ve şekil 3.5'de yapıştırma işlemi için ön çalışma olarak solidworks paket programında çizilmiş katı modeller verilmiştir. Numunelerin hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra yapıştırma işlemine geçilmiştir. Bu işlem için öncelikle yama ve yapıştırma numunelerin asetona daldırma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.7'de yapıştırma numuneleri ve yamaların aseton işleminden geçilme işlemi verilmiştir. Aseton işleminden sonra numunelerin yapıştırma işleminde geçilmiştir. Bunun için öncelikle numuneler takviyesiz olarak yapıştırılmıştır. Daha sonra hassas terazide GNOP %0.1,

%0.2 ve %0.3 ölçümleri yapıldıktan sonra DP460 yapıştırıcısı ile karışımı hazırlanmıştır. Şekil 3.11’de bu hazırlama işlemleri verilmiştir. Yapıştırıcı ve GNOP karışımları hazırlama işleminden sonra yapıştırma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.12’de yapıştırma işleminin uygulama şekli verilmiştir. Şekil 3.13’de ise toplu bir şekilde yapılan yapıştırma işlemleri verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneyisel çalışmada kullanılan st37 çeliği ve DP460 yapıştırıcısına ait solidworks çizimleri yapıştırma işleminin parçaları (a-Ana malzeme, b-Yama malzemesi c-Yapıştırıcı Malzemesi)



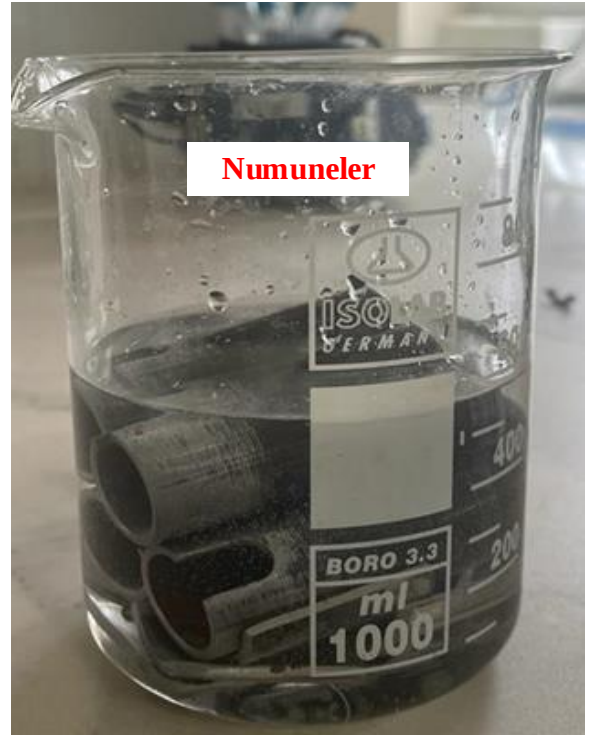
Şekil 3.5. Deneysel çalışmada yapılan yapıştırma işleminin 3D çizim düzeneği

Çizelge 3.4. Yapıştırma işleminde kullanılan parametreler

Numune Boyutu (l-mm)	Numune Çapı (D, d-mm)	Yama Boyutu (θ , ly-mm)	Numune Kalınlığı (t-mm)	Grafen Nano oksit takviye Oranı (%)
75	27-25	90 ⁰ -40	2	%0.1
		90 ⁰ -50		
		90 ⁰ -60		
		120 ⁰ -40		
		120 ⁰ -50		
		120 ⁰ -60		



Şekil 3.6. Tez çalışmasında kullanılan st37 çelik numunenin ilk hali



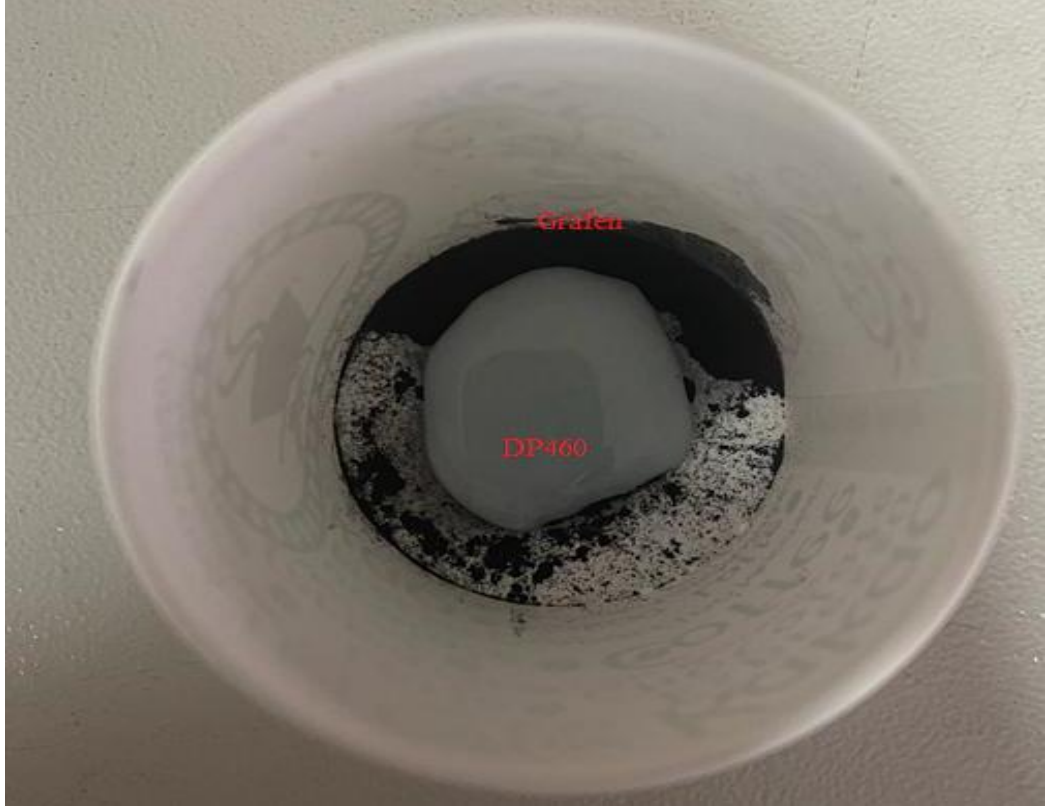
Şekil 3.7. Yamaların ve numunelerin aseton işleminden geçilmesi



Şekil 3.8. Asetonda bekletilen numunelerin çıkarıldıktan sonra kurutulmaya bırakılması



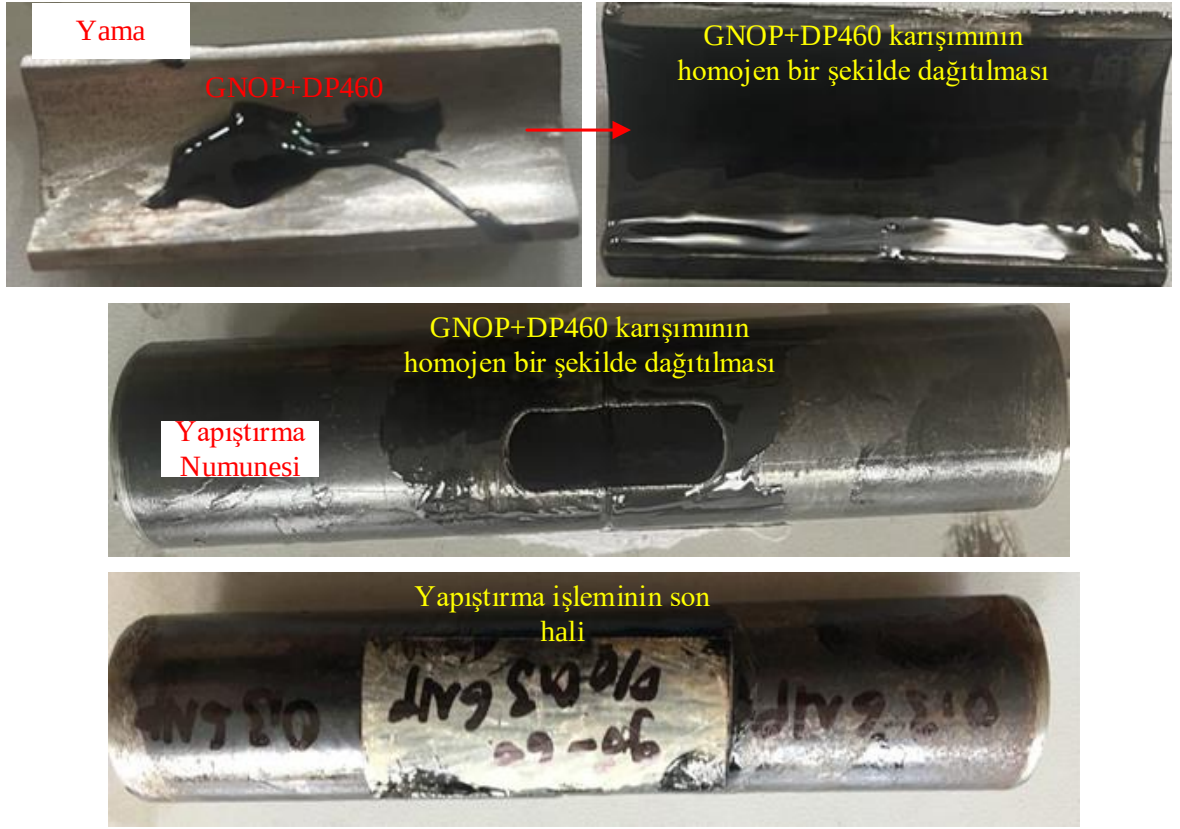
Şekil 3.9. Deneysel çalışma için üretilen yapıştırma ve yama numuneleri



Şekil 3.10. Grafen takviyeli yapıştırıcının oranının belirlenmesi



Şekil 3.11. Grafen ve DP400 yapıştırıcının karıştırılması



Şekil 3.12. Hazırlanan karışımın numunelere sürülmesi



Şekil 3.13. Takviyesiz ve GNOP takviyeli olarak yapıştırılan numunelerin toplu görüntüleri

3.2 Çekme deneyleri

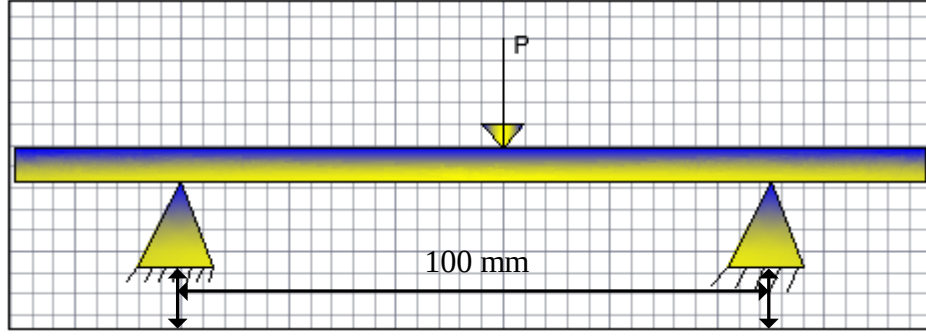
Yapılan çalışmada st37 çelik boru üzerine freze tezgahında oyuk açılarak hazırlanan numuneler ve yine 90° ve 120° açı ve 40, 50, 60 mm uzunluklarında kesilen yamalar ile takviyesiz ve %0.1, %0.2, %0.3 oranlarında grafen nano oksit partikül (GNOP) takviyeli DP460 yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmalar yapılmıştır. Yapılan yapıştırma bağlantılarında farklı yama yüzey alanı ve farklı oranlardaki grafen nano oksit partikül ilavesiyle elde edile yapıştırma bağlantılarının çekme yükü karşısındaki davranışlarını belirlemek için bütün yapıştırma numuneleri Shimadzu AG-X 250 kN universal test cihazında 1mm/dk. çekme hızında çekme yüklerine tabi tutulmuştur. Çekme deneylerinde hata payını minimize etmek için her bir parametrede deney üç kez tekrar edilmiştir. Şekil 3.14’de deney esnasında çekilen bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.14. Shimadzu AG-X 250 kN universal çekme cihazı

3.3 Eğilme deneyleri

Farklı parametrelerde yapıştırırmaları yapılan st37 çelik boruların eğilme yükü karşısındaki davranışlarını belirlemek için bütün numuneler SHİMADZU AG-X 250 kN Universal test cihazında 100 mm sabit mesnet açıklığında üç nokta eğilme yüküne tabi tutulmuştur. Eğilme deneylerinde hata payını minimize etmek için her bir parametrede deney üç kez tekrar edilmiştir. Daha sonra bu üç deneyin ortalaması alınarak eğilme kuvveti deplasman grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.15'te 3 nokta eğilme deneylerin şematik gösterimi ve Şekil 3. 16'da ise eğilme deneyi esnasında çekilen bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.14. 3 nokta eğilme deneylerin şematik gösterimi



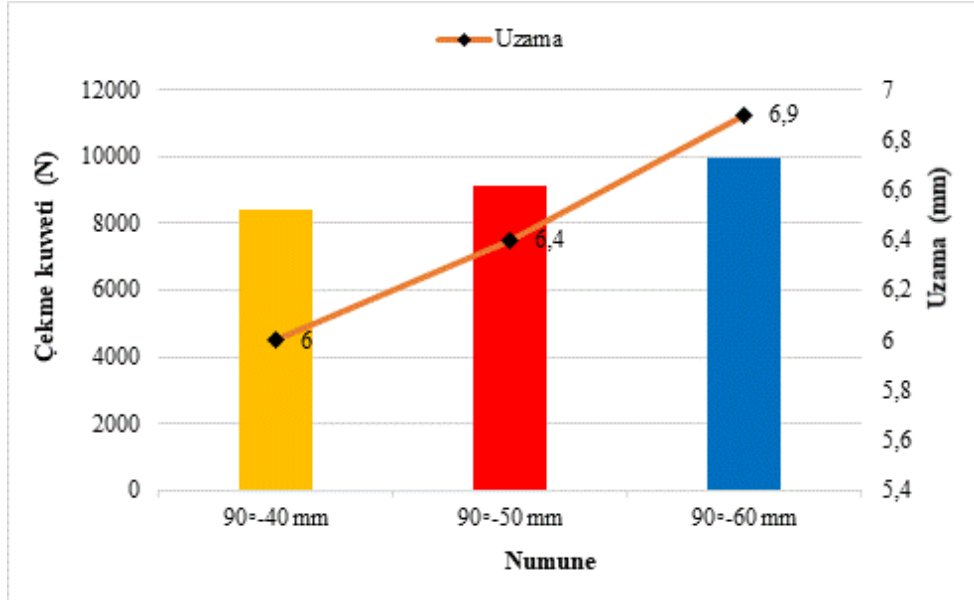
Şekil 3.15. Eğilme deneylerin yapıldığı test cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmada st37 çelik borusu üzerinde 10 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda oyuklar açılan karşılıklı iki numune DP460 yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcı içerisine farklı takviye oranlarında (%0.1, %0.2 ve %0.3) GNOP eklenerek ve yine st37 çeliğinden farklı boyutlarda hazırlanan yama parçaları ile yapıştırmalar yapılmıştır. Çalışmada parametrelerin etkisi çekme ve eğilme açısından belirlenmek için deneyler yapılmıştır. Elde edilen veriler çekme deneyleri ve eğilme deneyleri başlıkları altında verilmiştir. Ayrıca kopma işleminden sonra yapıştırma bağlantılarında oluşan yüzey morfolojisini incelemek için çekme sonrası numunelerin makro görüntüleri alınmıştır.

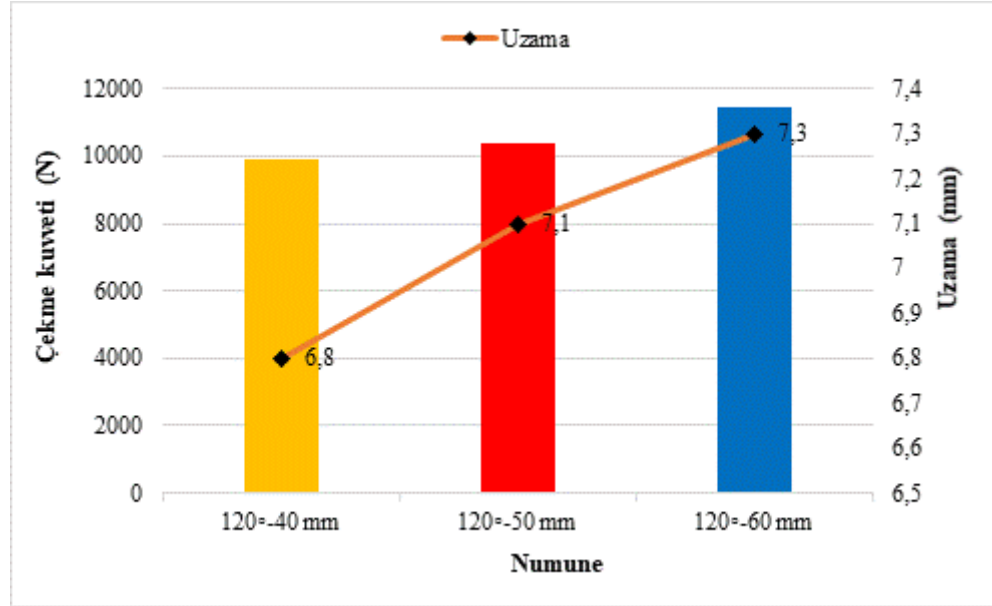
4.1 Çekme deneyleri

Takviyesiz, farklı takviye oranları ve farklı yama ebatları kullanılarak yapıştırmalar yapılmıştır. Yapılan yapıştırmalarda parametre etkilerinin çekme kuvveti karşısındaki etkisini belirlemek için bütün yapıştırma bağlantıların çekme deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de takviyesiz olarak farklı yama açısı ve farklı yama uzunluklarında yapılan yapıştırmaların çekme kuvveti ve uzama grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.1. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırmaların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.1’de takviyesiz olarak 90^0 açısal ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında kesilen yamaların kullanıldığı yapıştırma bağlantıların çekme-uzama grafiği incelendiğine sabit yama açısında yapılan yapıştırılmalarda yama uzunluğu artıkça yapıştırma numunelerin çekme kuvvetine karşı dirençlerinin arttığı görülmektedir. Bu bağlamda çekme kuvvetleri sonuçlarına bakıldığında maksimum çekme kuvveti 90^0 -60 mm yama parametresinin de 9968,7 N olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde numunelerin çekme yükü karşısındaki uzama değerleri incelendiğinde yapışma alanının artışına bağlı olarak uzama değerlerinde de artışların olduğu gözlemlenmektedir. En büyük uzama çekme kuvvetinin de en yüksek olduğu 90^0 -60 mm yapıştırma numunesinde 6,9 mm olarak elde edilmiştir.

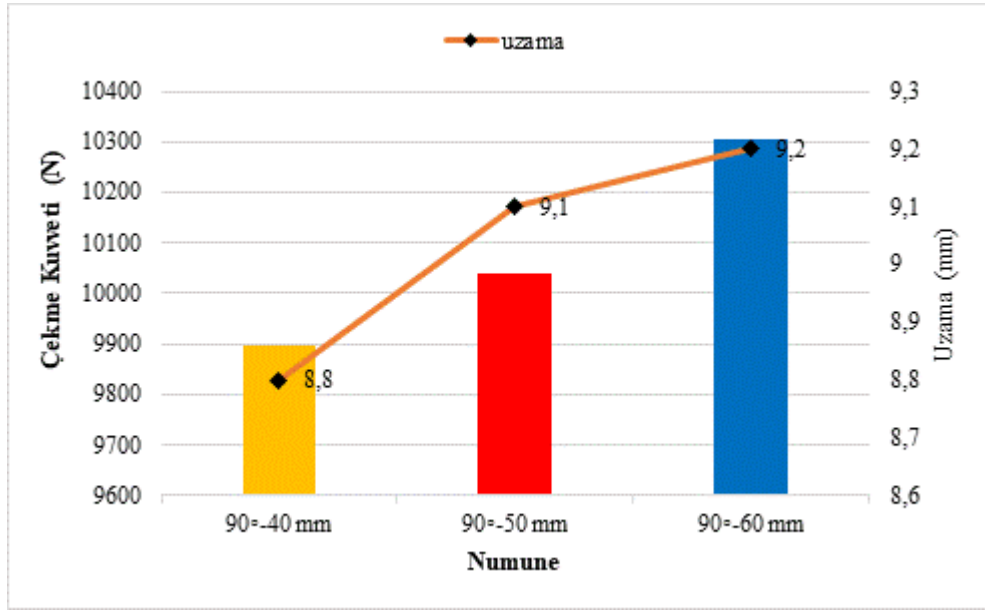


Şekil 4.2. 120^0 ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.2 de 120^0 açısal ve 40, 50, 60 mm uzunluklarında kesilen yamalarla yapılan yapıştırılmalarda çekme kuvveti-numune-uzama grafiği incelendiğinde, yama uzunlukların artışına bağlı olarak çekme mukavemetine karşı direncin de arttığı görülmektedir. Buna göre en yüksek çekme kuvveti 120^0 ve 60 mm parametredeki yama boyutunda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda çekme kuvvetleri sonuçlarına bakıldığında maksimum çekme kuvveti 120^0 -60 mm yama parametresine 13456 N olarak elde edilmiştir. Ayrıca yama yüzey alanı artırıldığında çekme kuvvetlerinde artış sağladığı gibi uzama miktarlarında da artışların olduğu tespit

edilmiştir. En büyük uzama çekme kuvvetinin de en yüksek olduğu 120⁰-60 mm parametresine 7,3 mm olarak elde edilmiştir.

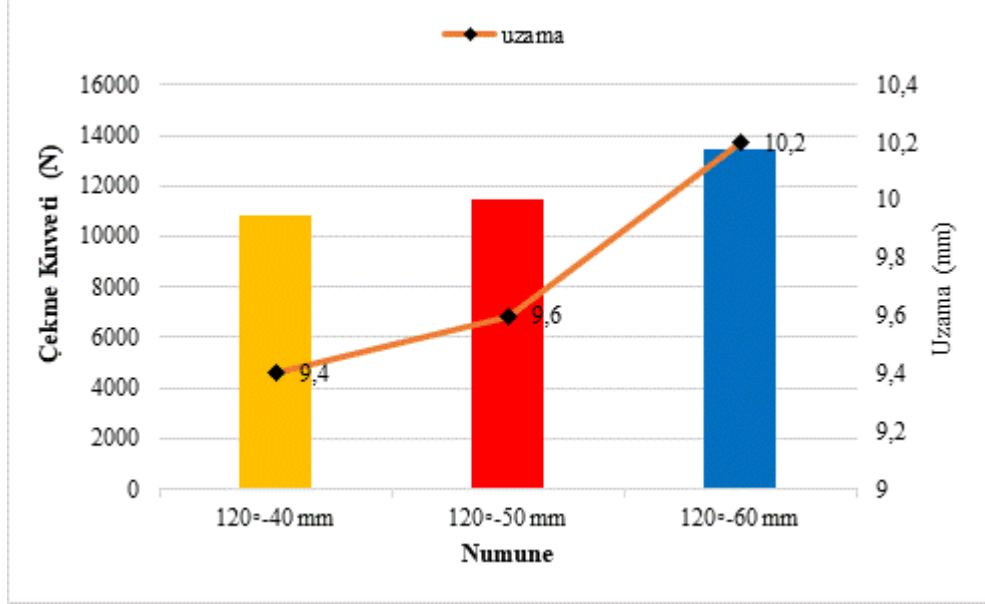
Takviyesiz olarak yapılan yapıştırma bağlantıların çekme deneylerinde yama alanı arttırıldığında çekme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Yapıştırıcının yapışma mukavemetini artırmak için yapıştırıcıya farklı oranlarda GNOP takviyesi yapılmıştır. Yapıştırıcıya %0.1, %0.2 ve %0.3 oranlarında GNOP takviyesi yapılarak yapılan yapıştırma bağlantıların çekme deney sonuçları Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.3. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırmaların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.3’te 90° açısıl ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak yapılan yapıştırmalarda yapıştırıcıya takviye malzemesi olarak %0.1 oranında GNOP ilavesi yapılmıştır. Numunelerin yapıştırma mukavemetine karşı göstermiş olduğu dirence baktığımızda en yüksek mukavemet direncinin %0.1 GNOP ilaveli 90°-60 mm parametrede meydana geldiği görülmektedir. Buna göre en yüksek çekme mukavemetinin değeri 10304 N olduğu çekme uzama miktarının da 9,2 mm olduğu görülmüştür. GNOP takviyeli olarak yapılan yapıştırmaların aynı parametredeki takviyesiz olarak yapılan yapıştırmalara oranla mukavemet direncinin arttığı görülmüştür. Buna göre 90°-60 mm yama parametresinde takviyesiz olarak yapılan deneylerde maksimum çekme mukavemeti 9968,7 N olarak ölçülürken aynı

parametredeki %0.1 GNOP takviyeli yapıştırma mukavemetinin ise 10304 N çıktığı görülmüştür. Benzer şekilde 90^0 -60 mm yama parametresinde takviyesiz olarak yapılan yapıştırılarda çekme uzama miktarının 6,9 mm olduğu görülmüş buna karşılık %0.1 GNOP takviyeli aynı parametredeki yapıştırmanın çekme uzama miktarının 9,2 mm çıktığı görülmektedir.

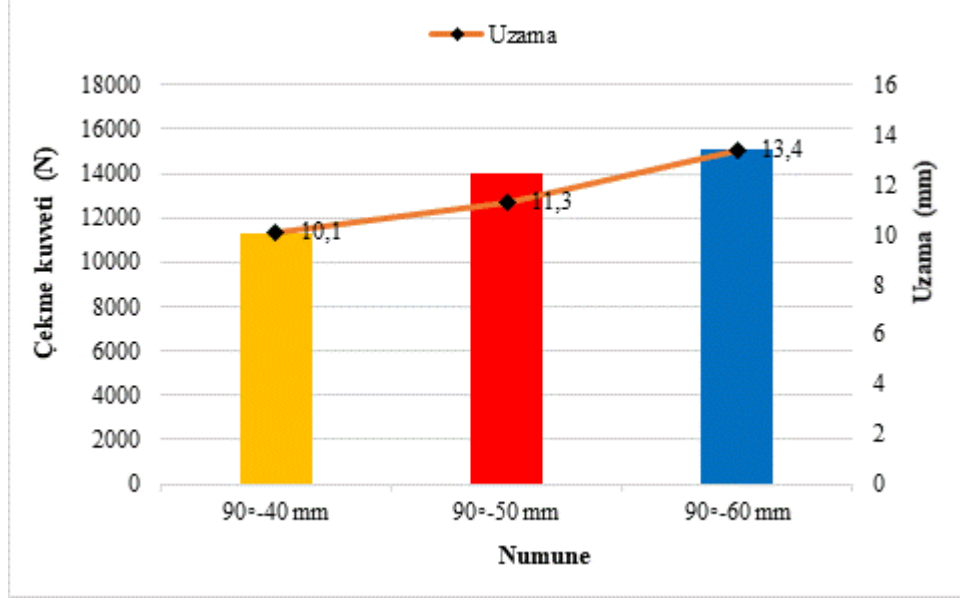


Şekil 4.4. 120^0 ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.4 incelendiğinde 120^0 açısız ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiğinde yüzey alanı arttıkça çekme kuvvetinin ve numune uzama miktarının arttığı görülmektedir. Buna göre maksimum çekme mukavemetinin 120^0 -60 mm yama ile yapılan yapıştırımda ölçülmüş ve değeri 13456 N olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra aynı parametrede maksimum çekme uzama miktarı 10.2 mm olarak elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 120^0 -60 mm yama parametresinde %0.1 GNOP takviyeli olarak yapılan yapıştırımların yapışma mukavemetin takviyesiz olarak yapılan yapıştırımlara oranla mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde %0.1 GNOP takviyeli yapıştırılarda numunenin çekme uzama miktarının takviyesiz olarak yapılan yapıştırımlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

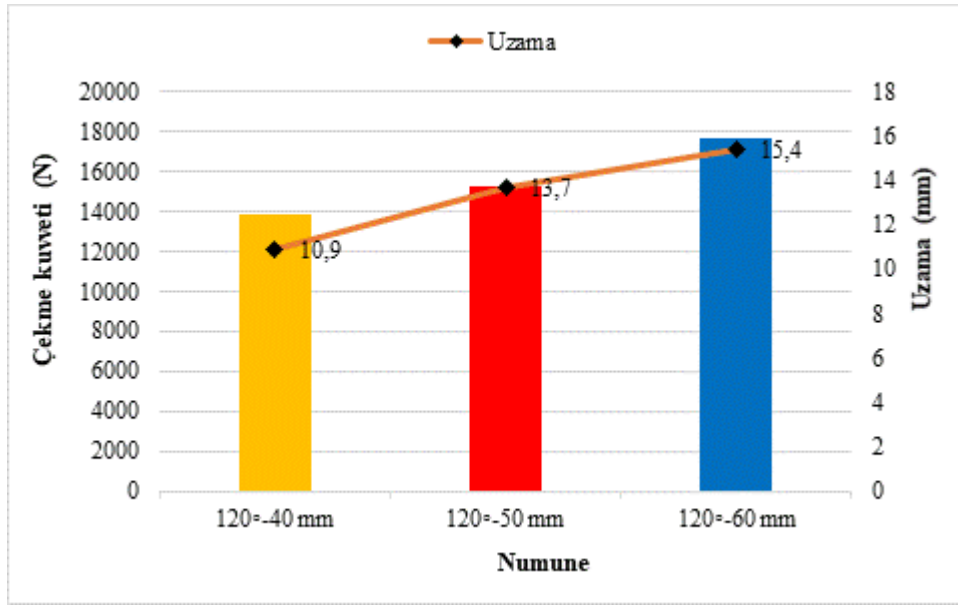
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 grafiklerinde GNOP oranı %0.2 olarak sabit tutularak farklı açısız boyutlarda ve farklı uzunluklardaki yamalarla numune yapıştırımları

yapılmıştır. Numuneler hata payı göz önünde bulundurularak 3 'er defa çekme cihazında deneyler yapılmıştır. Yapılan üç deneyin ortalaması alınarak sonuçlar yazılmıştır.



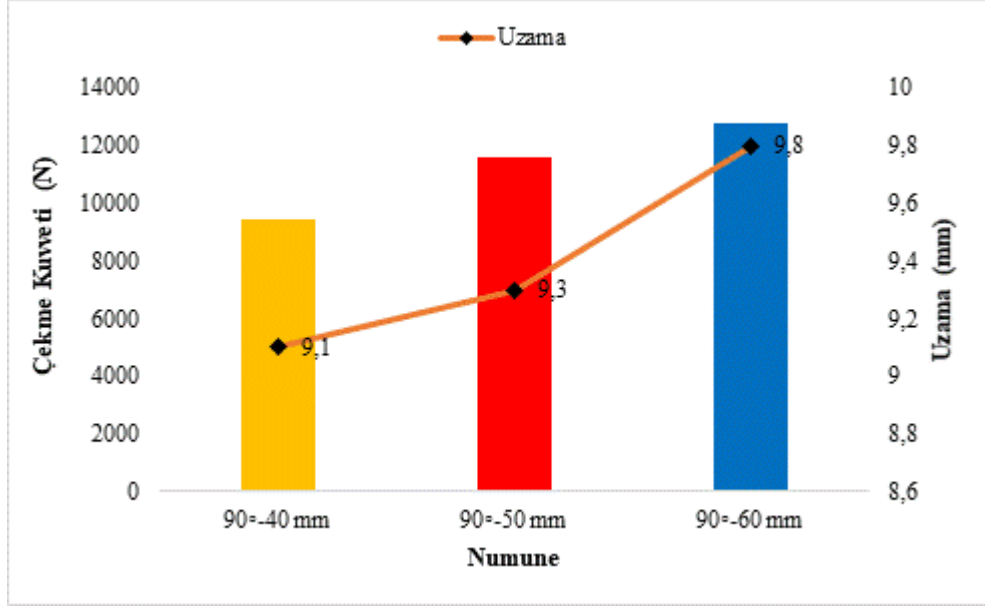
Şekil 4.5. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.2 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.5'i incelediğimizde yapıştırıcıya takviye malzemesi olarak %0.2 GNOP kullanılmıştır. Bunun yanı sıra 90° açısal ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında kesilmiş yama parametrelerinin kullanıldığı görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında yapıştırımlarda en yüksek mukavemet değerinin 90°-60 mm parametresinde görüldüğü ve değerinin 15138 N olduğu görülmektedir. Yine aynı parametrede numunenin en yüksek çekme uzama miktarına ulaştığı ve değerinin de 13.4 mm olduğu görülmektedir.



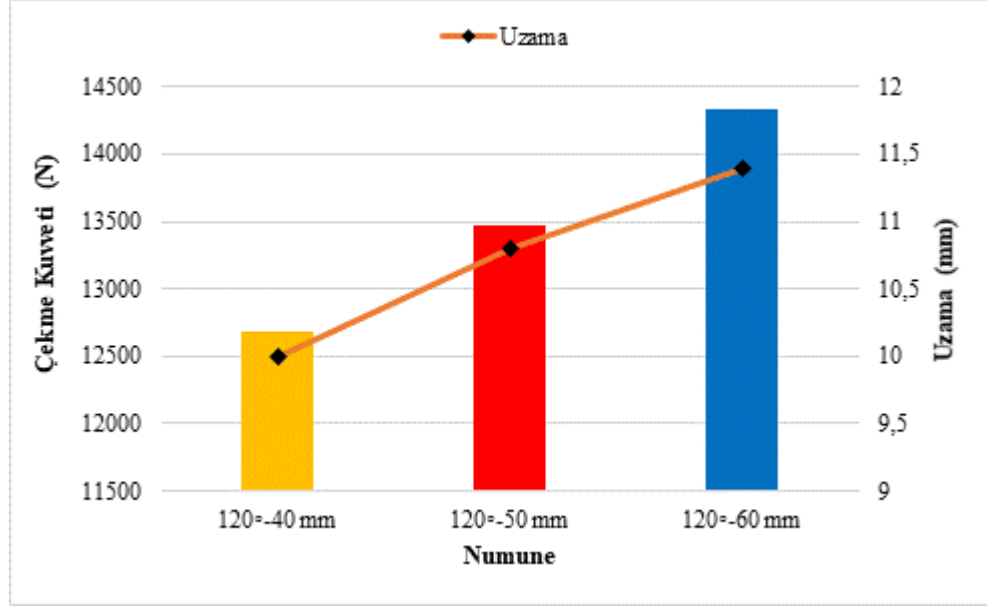
Şekil 4.6. 120° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.2 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.6 'ya baktığımızda %0.2 GNOP takviyeli yapıştırıcı karışımı kullanılmıştır. Bu takviye oranında 120° açısal ve 40, 50 ve 60 mm farklı açısal ve boyutlarda kesilmiş yama parametrelerinin kullanıldığı görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında yapıştırımlarda en yüksek çekme kuvveti değerinin 120°-60 mm parametresinde görüldüğü ve değerinin 17625 N olduğu görülmektedir. Yine aynı parametrede numunenin en yüksek çekme uzama miktarına ulaştığı ve değerinin de 15.4 mm olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.3 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

Şekil 4.7’de yapıştırıcıya %0.3 oranında GNOP takviyesi yapılarak 90° açısı ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak yapılan yapıştırımların çekme deney sonuçları verilmiştir. Yapılan çekme deneyleri sonucunda GNOP oranı sabit tutularak yama boyutları artırıldığında yapıştırma mukavemetinin arttığı görülmüştür. Buna göre en yüksek çekme kuvveti değerinin 90°-60 mm uzunluğundaki yama boyutunda gerçekleştiği ve değerinin 12759 N olduğu görülmüştür. Benzer şekilde en yüksek çekme uzama miktarının da aynı parametrede gerçekleştiği ve değerinin 9,8 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. 120° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.3 GNOP takviyeli yapılan yapıştırıcıların çekme kuvveti-numune-uzama grafiği

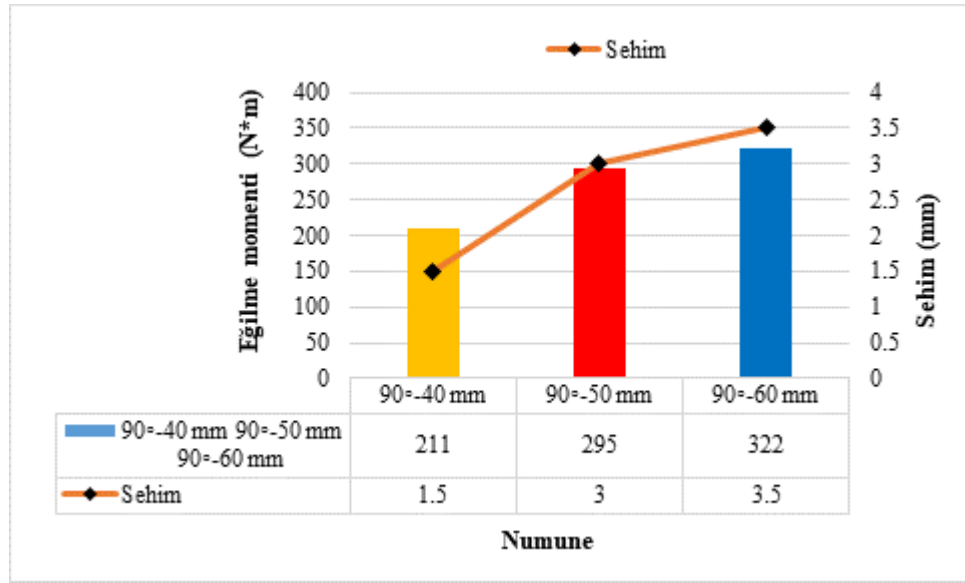
Şekil 4.8'e bakıldığında yapılan deneylerde GNOP oranı %0.3 ile sabit tutulmuş, yama boyutları ise 120° açısız ve 40, 50 ve 60 mm parametrelerinde yapıştırıcılar yapılmıştır. Yapılan çekme deney sonuçlarına göre en yüksek yapışma mukavemet direncinin ve çekme uzamasının 120°-60 mm parametresinde gerçekleştiği görülmüştür. Buna göre maksimum çekme kuvveti 14329 N ve maksimum numune çekme uzama değeri de 11.4 mm olarak elde edilmiştir.

Yapılan deneylerde üzerinde 10 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda oyuk açılan numunelerin farklı yüzey alanlarına sahip yamalar ile yapıştırıcıyı takviyesiz ve farklı oranlarda GNOP takviyeli yapıştırıcılar yapılarak çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Çekme deneyleri sonucunda yama yüzey alanını artırdığımızda yapıştırıcıların çekme mukavemetine karşı gösterdiği direncin arttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra %0.2 oranında GNOP takviyesi yaptığımız yapıştırıcılarda mukavemet direncinin ve numune çekme uzamasının %0.1 ve %0.3 'e göre daha yüksek olduğu görülmüştür. GNOP takviyesinde en uygun değere %0.2 oranında ulaştığımızı görmekteyiz. Bu değer üzerine çıktığımızda yapıştırıcının etkisini kaybettiğini ve çekme kuvvetine karşı göstermiş olduğu direncin düştüğünü tespit etmiş bulunmaktayız. Quan ve ark. (2018), ve Wang ve ark. (2013), çalışmalarında epoksi yapıştırıcılar ile birlikte grafen kullanılarak yapılan yapıştırma bağlantılarının çekme dayanımını artırdığını

belirtmişlerdir. Topkaya ve ark. (2020), hibrit kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemeye takviye elemanı olarak kullandıkları GNOP'nin üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımını ve elastisite modülünü artırdığını belirtmişlerdir.

4.2 Eğilme deney sonuçları

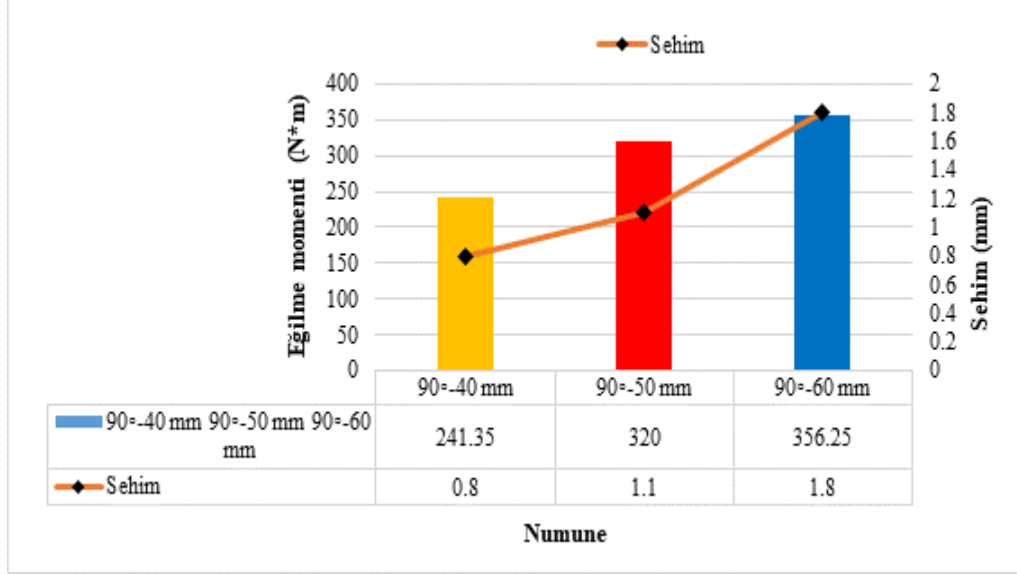
Sabit 90^0 açısız ve farklı uzunluklarda (40mm, 50mm, 60mm) kesilmiş olan yamaların takviyesiz ve %0.1, %0.2, %0.3 oranlarında GNOP takviyeli olarak yapılan numune yapıştırırmaları 3 nokta eğilme deneyleri yapılmıştır. Yapılan takviyeli ve takviyesiz yapıştırırmaların eğilme etkisi altında numunelerde meydana gelen sehim (çökme) ve numunenin kopması için gerekli maksimum eğilme momentleri elde edilmiştir. Şekil 4.9'da takviyesiz olarak yapılan yapıştırırma bağlantılarının eğilme-sehim grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.9. 90^0 ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırırmaların eğilme momenti-numune-sehim grafiği

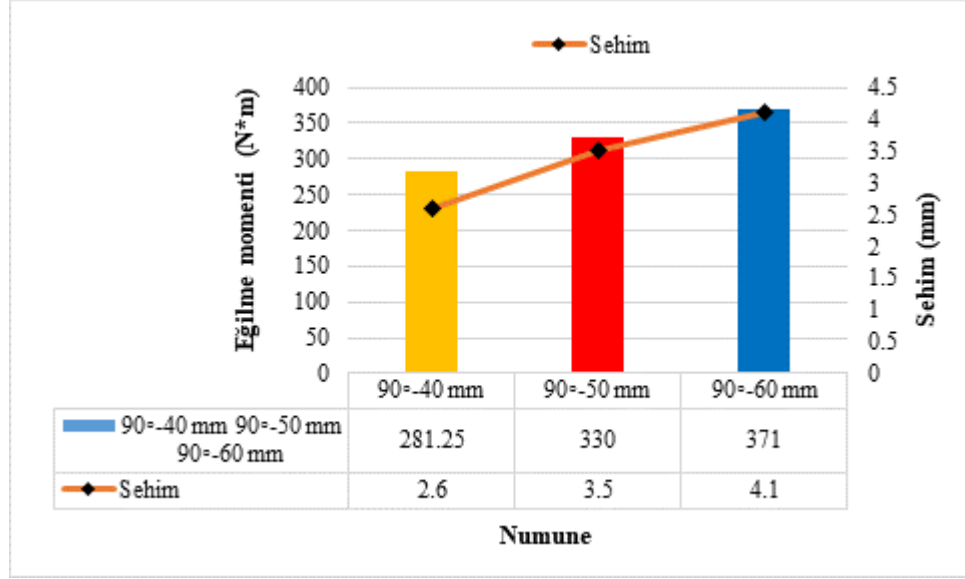
Şekil 4.9'da verilen 90^0 açısız ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak takviyesiz yapılan yapıştırırmaların eğilme momenti ve sehim miktarı incelendiğinde, yamanın yüzey alanı arttıkça yapıştırırmaların mukavemetinin arttığı ve buna bağlı olarak eğilme momentine karşı göstermiş olduğu direncin arttığı görülmektedir. Üç nokta eğilme deneyine tabi tutulan numunelerde yamaların yüzey alanı arttıkça sehim miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Buna göre en yüksek eğilme

momenti 90°-60 mm numunesinde görülmüş ve değeri 322 N*m olarak elde edilmiştir. Yine aynı numune de en yüksek sehim miktarına ulaşılmış ve değeri 3.5 mm olarak tespit edilmiştir.



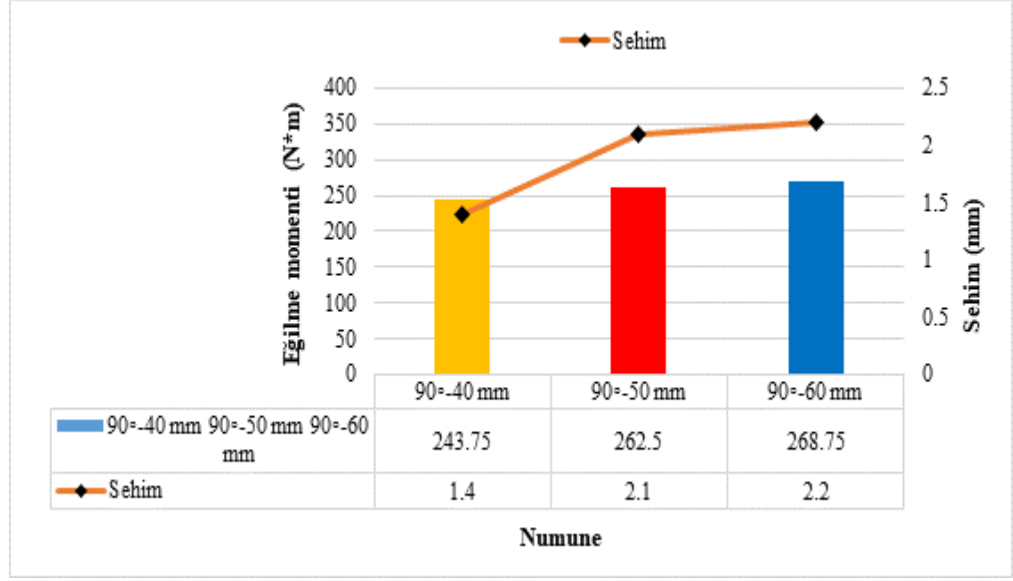
Şekil 4.10. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.1 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların eğilme momenti-numune-sehim grafiği

Şekil 4.10 incelediğimizde %0.1 GNOP takviyeli yapıştırıcı ve 90° açısıl, 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak numune yapıştırımları yapılmıştır. %0.1 GNOP takviyeli olarak yapılan yapıştırımların yapıştırma mukavemetinin takviyesiz olarak yapılan yapıştırımlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Buna göre en yüksek mukavemet yapıştırma direnci 90°-60 mm parametresinde görülmüş olup değeri 356,25 N*m'dir. Yama yüzey alanının artırılması ve yapıştırıcıya %0.1 GNOP takviyesiyle yapılan yapıştırımlarda meydana gelen sehim miktarı takviyesiz olarak yapılan yapıştırımlara göre daha düşük olduğu görülmüş olup değerinin ise 1.8 mm.



Şekil 4.11. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.2 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların eğilme momenti-numune-sehim grafiği

Şekil 4.11'i incelediğimizde yama boyutları bir önceki yapıştırma bağlantısına göre 90° açısal, 40, 50 ve 60 mm parametresinde sabit tutulmuş olup GNOP takviye oranı artırılmıştır. Sonuçlara baktığımızda GNOP oranını %0.2 'ye çıkardığımızda bağlantıların yapıştırma mukavemetinin arttığını görmekteyiz. Buna göre %0.1 GNOP takviyeli olarak yaptığımız yapıştırımlardaki maksimum eğilme moment değeri 356,25 N*m iken %0.2 GNOP takviyeli yapıştırımlarda bu değer 371 N*m olmaktadır. Bunun yanı sıra %0.1 GNOP takviyeli olarak yapılan yapıştırımlarda maksimum sehim değeri 1.8 mm iken, %0.2 GNOP takviyeli olarak yapılan yapıştırımlarda maksimum sehim değerinin 4.1 mm olduğu görülmüştür.

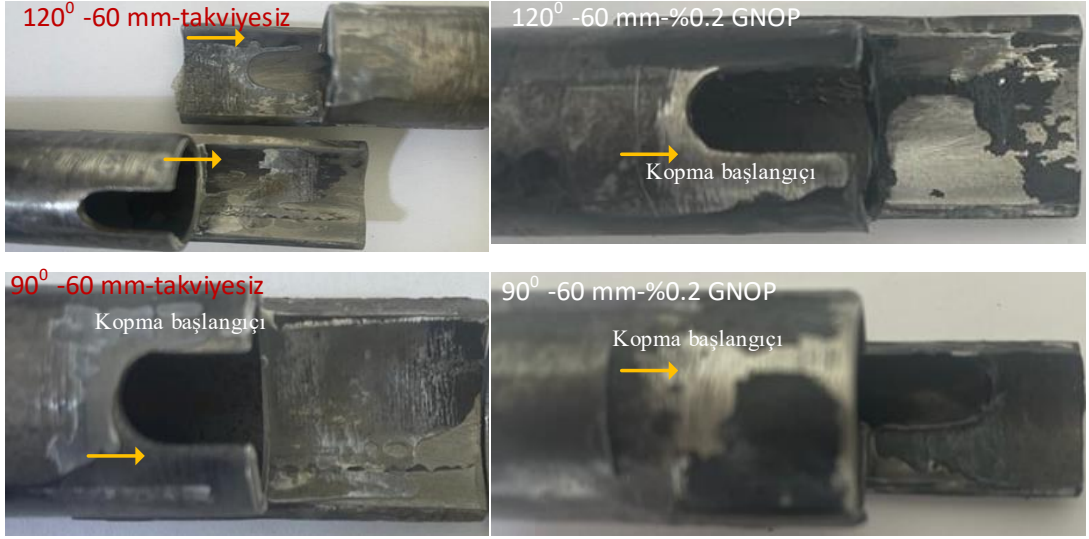


Şekil 4.12. 90° ve 40, 50 ve 60 mm uzunluklarında yama kullanılarak %0.3 GNOP takviyeli yapılan yapıştırımların eğilme momenti-numune-sehim grafiği

Şekil 4.12 'i incelediğimizde yama parametreleri 90° açısal, 40, 50 ve 60 mm değerlerinde tutulup, GNOP oranı ise %0.3 oranına artırılarak yapılan yapıştırma bağlantılarının eğilme deneylerinde, yapıştırımların yapışma mukavemet direncinin düştüğünü görmekteyiz. Buna göre %0.3 GNOP takviyeli yapıştırıcı ile yaptığımız yapıştırımlarda maksimum eğilme momenti 268.75 N*m ve sehim değeri 2.2 mm olarak tespit edilmiştir.

4.3 Yapıştırma numunelerin çekme ve eğilme deneyleri sonrası kopma yüzey görüntüleri

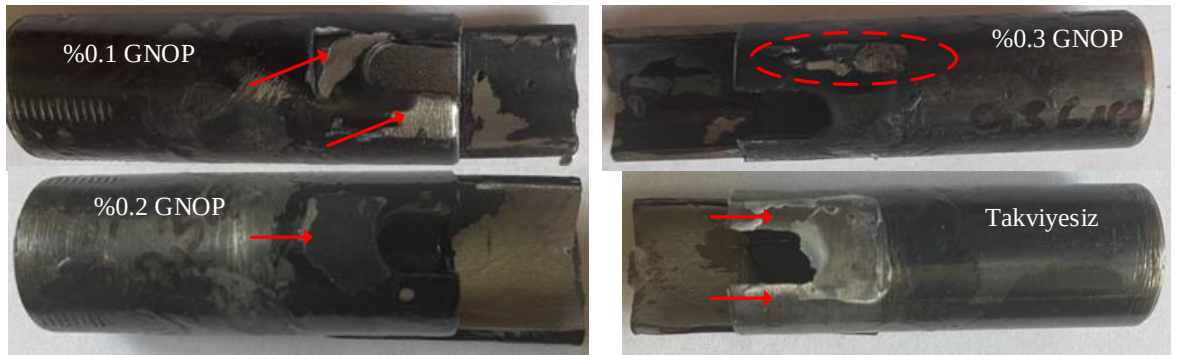
Takviyeli ve grafen nano oksit partikül (GNOP) takviyeli yapıştırma bağlantılarının çekme sonrası kopma yüzeylerin morfolojisi ile çekme kuvvetleri arasındaki ilişkiyi görmek için çekme deneyi sonrasında %0.2 GNOP takviyeli numunelerin makro görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.13'te takviyesiz (sade) ve %0.2 GNOP takviyeli yapıştırma bağlantısının çekme sonrası yüzey hasarların makro görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.13. Çekme sonra kopma yüzeylerin makro hasar görüntüsü

Şekil 13'te çekme sonrası numunelerin kopma hasar görüntüleri incelendiğinde başlangıç hasarların st37 çelik boru üzerinde açılan oyuk etrafında meydana geldiği görülmektedir. GNOP takviyeli yüzeylerde yapıştırıcı karışımı hem yama numunesinde hem de yapıştırma numunesinin yüzeylerinde hasar şeklinde yapının varlığına rastlanılmıştır.

Şekil 4.14'te takviyesiz (sade) ve takviyeli (GNOP) yapıştırma bağlantılarının eğilme deneyinde kopan yüzeylerin makro görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.14. Çekme sonra kopma yüzeylerin makro hasar görüntüsü

Şekil 4.14'te verilen makro görüntüleri incelendiğinde genelde kopma olayı st37 çeliği üzerinde açılan oyuk etrafında %0.2 GNOP hariç adhezyon ayrılması şeklinde olmuştur. %0.2 GNOP takviyeli yapıştırma bağlantısının makro görüntüsünde yapıştırıcı molekülleri kendi arasındaki bağ kuvveti olan kohezyon kopması şeklinde

hasarın gerçekleştiği görülmektedir. Çekme deneylerine tabi tutulan numunelerde genellikle oyuk etrafında birkaç yerde kopma olayı başlarken eğilme deneylerinde ise numune üzerine kuvvet uygulanan noktada kopmanın gerçekleştiğini görmekteyiz. Razavi ve ark. (2018), SEM görüntüleri üzerindeki hasar mekanizmalarının analizlerinde, nanopartiküllerin üniform dağılımının ve matriks ile nanopartiküller arasındaki yapışmanın önemli ölçüde buna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Chatterjee ve ark. (2012), Epoksi içinde iyi dağılmış bir grafen nano-paletin termal iletkenliği, kırılma tokluğunu ve mekanik özellikleri iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmada st37 çelik borusu üzerinde 10 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda oyuklar açılan karşılıklı iki numune DP460 yapıştırıcısı ve bu yapıştırıcı içerisine farklı takviye oranlarında (%0.1, %0.2 ve %0.3) GNOP eklenerek ve yine st37 çeliğinden farklı boyutlarda hazırlanan yama parçaları ile yapıştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada parametrelerin etkilerini çekme ve eğilme açısından belirlenmek için çekme ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Son olarak çekme kuvveti ile yapıştırma bağlantıların kopma yüzey morfolojileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- 1- Takviyesiz olarak yapılan yapıştırmalarda yama yüzey alanı arttıkça numunelerin çekme kuvvetine karşı göstermiş olduğu direnç ve numune uzama miktarı artmaktadır.
- 2- Takviyesiz olarak yapılan yapıştırmalarda 90⁰, 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama yüzey alanları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme kuvveti 90⁰-60 parametresinde görülmüş ve değeri 9968,7 N ve maksimum numune uzama miktarı ise 6,9 mm olarak tespit edilmiştir.
- 3- Takviyesiz olarak yapılan yapıştırmalarda 120⁰, 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama yüzey alanları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme kuvveti 120⁰-60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 13456 N ve maksimum numune uzama miktarı ise 7,3 mm olarak tespit edilmiştir.
- 4- %0.1 GNOP takviyeli ve 90⁰, 40, 50 ve 60 mm parametresindeki yama boyutları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme değeri 90⁰-60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 10304 N olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum numune çekme miktarı da 9,2 mm olarak tespit edilmiştir.
- 5- %0.1 GNOP takviyeli ve 120⁰, 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama boyutları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme değeri 120⁰-60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 10304 N olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum numune uzama miktarının 120⁰-

- 60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 9,2 mm olduğu tespit edilmiştir.
- 6- %0.2 GNOP takviyeli ve 90^0 , 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama boyutları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme değerini 90^0 -60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 15138 N olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum numune uzama miktarının 120^0 -60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 13,4 mm olduğu tespit edilmiştir.
- 7- %0.2 GNOP takviyeli ve 120^0 , 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama boyutları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme değerini 120^0 -60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 17625 N olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum numune uzama miktarının 120^0 -60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 15,4 mm olduğu tespit edilmiştir.
- 8- %0.3 GNOP takviyeli ve 90^0 - 120^0 , 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama boyutları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum çekme değerini 120^0 -60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 14329 N olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum numune uzama miktarının 120^0 -60 mm parametresinde gerçekleştiği ve değerinin 11,4 mm olduğu tespit edilmiştir.
- 9- Takviyesiz olarak yapılan yapıştırmalarda 90^0 , 40 mm, 50 mm ve 60 mm parametresindeki yama yüzey alanları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum eğilme moment 90^0 -60 mm parametresinde ve değerini $322 \text{ N} \cdot \text{m}$ ve sehim miktarı ise 3,5 mm olarak tespit edilmiştir.
- 10- %0.1,%0.2,%0.3 GNOP takviye oranları ve 90^0 , 40 mm, 50 mm ve 60 mm yama uzunlukları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum eğilme momenti %0.2 GNOP takviyeli ve 90^0 -60 mm parametresindeki yama boyutunda meydana geldiği ve değerinin ise $356,25 \text{ N} \cdot \text{mm}$ olduğu grlmştir.
- 11- %0.1,%0.2,%0.3 GNOP takviye oranları ve 90^0 , 40 mm, 50 mm ve 60 mm yama uzunlukları kendi içlerinde değerlendirildiğinde maksimum sehim miktarının %0.2 GNOP takviyeli ve 90^0 -60 mm parametresindeki yama boyutunda meydana geldiği ve değerinin ise 4.1 mm olduğu grlmştir.

5.2 Öneriler

Çekme ve eğilme deneyleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen verilerde yapıştırılmalarda yama yüzey alanı artırıldıkça yapıştırırmaların çekme kuvveti ve eğilme momentine karşı göstermiş olduğu direncin arttığını görülmekte ise de farklı oranlarda ve farklı takviye malzemesi kullanılarak yapılan çalışmaların faydalı sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akpınar, İ.A., Gültekin, K., Akpınar, S., Akbulut, H., Ozel, A., 2017, Experimental analysis on the single-lap joints bonded by a nanocomposite adhesives which obtained by adding nanostructures. *Composites Part B* 110, 420-428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.046>.
- Araby, S., Li, J., Shi, G., Ma, Z., Ma, J., 2017, Graphene for flame-retarding elastomeric composite foams having strong interface. *Compos A Appl Sci Manuf*; 101:254–64.
- Araby, S., Qiu, A., Wang, R., Zhao, Z., Wang, C-H, Ma, J., 2016, Aerogels based on carbon nanomaterials *J Mater Sci*;51(20):9157–89.
- Aşık, B.,2012, Ultrasonik Sprey Piroiliz (USP) Yöntemi ile Nano Yapılı Kurşun Oksit Üretimi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ay, İ., 2002, Kırılma mekaniği ve yorulma, Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Balıkesir,
- Bisht., A., Dasgupta, K., Lahiri, D., 2018, Effect of graphene and CNT reinforcement on mechanical and thermomechanical behaviour of epoxy-A comparative study. *J Appl Polym Sci*;135(14):46101.
- Borghei, H.R., Behjat, B., Yazdani, M., 2019, The impact of graphene nanoparticle additives on the strength of simple and hybrid adhesively bonded joints, *Journal of Composite Materials*, Vol. 53(23) 3335–3346. <https://doi.org/10.1177/0021998318817588>.
- Borghei, HR, Behjat B., Yazdani, M., 2019, The impact of graphene nanoparticle additives on the strength of simple and hybrid adhesively bonded joints. *Journal of Composite Materials*, Vol. 53(23) 3335–3346. <https://doi.org/10.1177/0021998318817588>.
- Çetkin, E., 2021, Investigation of the Effects of Use of GNP and GNP Reinforced Nano-Fibers with Epoxy Adhesive on Tension Tests, *European Journal of Technique (EJT)*, 11 (2), 175-181. doi: 10.36222/ejt.957654.
- Chatterjee, S., Wang, JW, Kuo, WS, Tai, NH, Salzmann, C., Li, WL, et al. 2012, Mechanical reinforcement and thermal conductivity in expanded graphene nanoplatelets reinforced epoxy composites. *Chem Phys Lett*; 531:6–10.
- Chen, Q., Soutar, A., M., 2009, Progress on nanoceramics by sol-gel process. *Key Engineering Materials*, 391, 79-95

- Das, R.R., Baishya, N., 2016, Failure Analysis of Bonded Composite Pipe joints subjected to internal Pressure and Axial loading, *Procedia Engineering*, 1047-1054.
- Dorigato, A., Pegoretti, A., Bondioli, F., Messori, M., 2010, Improving epoxy adhesives with zirconia nanoparticles. *Compos Interfaces*;17(9):873–92.
- Ebin, B., 2007, Demir Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz ve Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi ile Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fernando, M., Harjoprayitno, W., W., Kinloch, A.J., 1996, A fracture mechanics study of the influence of moisture on the fatigue behaviour of adhesively bonded aluminium-alloy joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 16, 113-119.
- Haghpanah, Jahromi, B., Ajdari, A., Nayeb-Hashemi, H., Vaziri, A., 2010, Autofrettage of layered and functionally graded metal–ceramic composite vessels, *Composite Structures*, 92, 1813–1822.
- Han, S., Meng, Q., Arabi, S., Liu, T., Demiral, M., 2019, Mechanical and electrical properties of graphene and carbon nanotube reinforced epoxy adhesives: *Experimental and numerical analysis*, *Composites Part A*, 120, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.02.027>.
- Han, S., Meng, Q., Arabi, S., Liu, T., Demiral, M., 2019, Mechanical and electrical properties of graphene and carbon nanotube reinforced epoxy adhesives: Experimental and numerical analysis. *Composites Part A* 120, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.02.027>.
- Han, W., Zhang H-P, Tavakoli, J., Campbell, J., Tang, Y., 2018, Polydopamine as sizing on carbon fiber surfaces for enhancement of epoxy laminated composites. *Compos Part A: Appl Sci Manufact*;107: 626–32.
- Imanaka, M., Nakayama, H., Morikawa, K., Nakamura, M., 1995, Evaluation of fatigue life of adhesively bonded CFRP pipe/steel rod joints, *Composite Structures*, 31, 235-241.
- Jakubinek, MB, Ashrafi, B., Zhang, Y., Martinez-Rubi, Y., Kingston, CT, Johnston, A, et, al, 2015, Single-walled carbon nanotube–epoxy composites for structural and conductive aerospace adhesives. *Compos B Eng*; 69:87–93.
- Jeroen, Van, W., Jan De, P., Patrick De, B., Wim De, W., Magd A.W., Guido De, R., 2010, Experimental determination of the fatigue life of modified threaded pipe couplings, *Procedia Engineering* 2,1849-1858.
- Jia, Z., Feng, X., Zou, Y., 2018, Graphene Reinforced Epoxy Adhesive for Fracture Resistance *Composites Part B* 155:457–462. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.093>.

- K., S., Novoselov, A.K.G., 1* S., V., Morozov, 2 D., Jiang, 1, Y., Zhang, S.V.D., 2 I. V., Grigorieva, 1 A., A. Firsov, 2, 2004, Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films.
- Knox, E.M., Cowling, M.J., Hashim, S.A., 2000, Fatigue performance of adhesively bonded connections in GRE pipes, *International Journal of Fatigue*, 22, 513–519.
- Li, H., Zhang, X., Qi, D., Cai, X., Ding, N., Wei, B., Qi, G., 2015, Failure analysis of the adhesive metal joint bonded on anticorrosion plastic alloy composite pipe, *Engineering Failure Analysis* 47, 49–45.
- Li, X., Chen, Y., Cheng, Z., Jia, L., Mo, S., Liu, Z., 2014, Ultrahigh specific surface area of graphene for eliminating subcooling of water. *Appl Energy*; 130:824–9.
- Mahmood, H., Vanzetti, L., Bersani, M., Pegoretti, A., 2018, Mechanical properties and strain monitoring of glass-epoxy composites with graphene-coated fibers. *Compos A Appl Sci Manuf*; 107:112–23.
- Mengel, R., Haberle, J., Schlimmer, M., 2007, Mechanical properties of hub/shaft joints adhesively bonded and cured under hydrostatic pressure, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 27, 568–573.
- Moriche, R., Prolongo, S.G., Sánchez, M., Jiménez-Suárez, A., Chamizo, F.J., Ureña, A. 2016, Thermal conductivity and lap shear strength of GNP/epoxy nanocomposites adhesives. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 68, 407–410. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.012>.
- Moriche, R., Prolongo, S.G., Sánchez, M., Jiménez-Suárez, A., Chamizo, F.J., Ureña, A., 2016, Thermal conductivity and lap shear strength of GNP/epoxy nanocomposites adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 68, 407–410. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.012>.
- Moriche, R., Prolongo, S.G., Sánchez, M., Jiménez-Suárez, A., Chamizo, F.J., Ureña, A., 2016, Thermal conductivity and lap shear strength of GNP/epoxy nanocomposites adhesives. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 68, 407–410. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.12.012>.
- Moriche, R., Prolongo, S.G., Sánchez, M., Jiménez-Suárez, A., Chamizo, F.J., Ureña, A., 2016, Thermal conductivity and lap shear strength of GNP/epoxy nanocomposites adhesives. *Int J Adhes Adhes*; 68:407–10.
- Oh, H., Kim, K., Ryu, S., Kim, J., 2019, Enhancement of thermal conductivity of polymethyl methacrylate-coated graphene/epoxy composites using admicellar polymerization with different ionic surfactants. *Compos A Appl Sci Manuf*; :206–15.
- Ouyang, Z., Li, G., 2009, Cohesive zone model based analytical solutions for adhesively bonded pipe joints under torsional loading. *International Journal of Solids and Structures*, 46: 1205–1217.

- P., Kwon, L., T., Drzal, 2010, "Nanoparticle Graphite –Based Minimum Quantity Lubrication Method and Composition," *USA, Patent Numarası:US 2010/0204072 A1*.
- Pinto, A.M., Martins, J., Moreira, J.A., Mende, A.M., Magalhães, F.D., 2013, Dispersion of graphene nanoplatelets in poly (vinyl acetate) latex and effect on adhesive bond strength. *Polym Int*, 62(6):928–35.
- Pinto, AM, Martins J., Moreira, JA, Mendes, AM, Magalhães, 2013, FD. Dispersion of graphene nanoplatelets in poly (vinyl acetate) latex and effect on adhesive bond strength. *Polym Int*;62(6):928–35.
- Portillo, P., Dr. Kreiner, J., Dr. Lancey, T., 2007, Torsional fatigue behaviour of adhesively joined tubes, *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 339–341.
- Quan, D., Carolan, D., Rouge, C., Murphy, N., Ivankovic, A. 2018, Mechanical and fracture properties of epoxy adhesives modified with graphene nanoplatelets and rubber particles, *Int J Adhesion Adhes*, 81:21–9.
- Razavi, SMJ, Ayatollahi, MR, Nemati, Giva, A., Khoramishad, H., 2018, Single lap joints bonded with structural adhesives reinforced with a mixture of silica nanoparticles and multi walled carbon nanotubes. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 80, 76–86.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.10.007>.
- Rende, H., 2000, Makine Elemanları, İstanbul.
- Sadigha, M.A.S, Marami, G., 2018, Enhancing fatigue life in adhesively bonded joints using reduced graphene oxide additive: Experimental and numerical evaluation. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 84, 283–290.
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.04.001>.
- Şimşek, T., Akansel, S., Özcan, Ş., (2012), Effect of Hexane on Magnetic Blocking Behaviour of FePt, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324, 3924–3928.
- Sydlik, SA, Lee, J-H, Walish, JJ, Thomas, EL, Swager, TM, 2013, Epoxy functionalized multiwalled carbon nanotubes for improved adhesives. *Carbon*;59:109–20.
- Tan, G., 2012, Nano Ürünler, Nanobülten, 15, 24-25.
- Tarakçioğlu, N., Gemi, L., Yapici, A., 2005, Fatigue failure behaviour of glass/epoxy ± 55 filament wound pipes under internal pressure, *Composites Science and Technology*, 65, 703–708.

- Temiz, S., 2006, Application of bi-adhesive in double-strap joints subjected to bending moment. *J. Adhesion Sci. Technol.* 20, 1547–1560.
- Topkaya, T., Çelik, YH, Kilickap, E., 2020, Mechanical properties of fiber/graphene epoxy hybrid composites. *Journal of Mechanical Science and Technology*. v (34), P,4589–4595.
- Vaziri, A., Nayeb-Hashemi, H., 2002, Dynamic response of tubular joints with an annular void subjected to a harmonic axial load, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 22, 367-373.
- Wang, X., Song, L., Pornwannchai, W., Hu, Y., Kandola, B., 2013, The effect of graphene presence in flame retarded epoxy resin matrix on the mechanical and flammability properties of glass fiber-reinforced composites, *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf.*; 53:88-96. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.05.017>.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., Wang, Y., 2006, The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive. *Mater Lett*;60(25):3031–3.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Feremez YÜCE
Uyruğu : T.C

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Süleyman Demirel Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2013	Borsa Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi
2013-2014	Onur kent Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi
2014-2016	KKC	Mekanik Kontrol
2016-	BCT	Mekanik Kontrol Mühendisi

YAYINLAR

Yuce, F., Çetkin, E., 2023, Determination of Graphene Nanoparticle Effects On Adhesive Joints. 3. international congress on construction materials engineering and architecture, 89-95, Gaziantep/Turkey.