

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TABAKALI KARBON ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERDE NANO  
BOYUTTA SiC, NiO, KİL VE KARBON TÜP PARTİKÜL  
KATKILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YASİN MUSA UÇAK**

**DENİZLİ, EYLÜL - 2018**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TABAKALI KARBON ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERDE NANO  
BOYUTTA SiC, NiO, KİL VE KARBON TÜP PARTİKÜL  
KATKILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YASİN MUSA UÇAK**

**DENİZLİ, EYLÜL - 2018**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

YASİN MUSA UÇAK tarafından hazırlanan "TABAKALI KARBON ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERDE NANO BOYUTTA SiC, NiO, KİL VE KARBON TÛP KATKILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 14/09/2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT



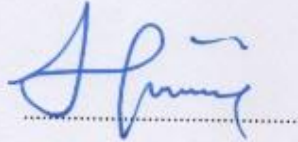
Üye  
Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU



Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat TOPAÇ



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
26/09/2018 tarih ve ..41/14.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**YASİN MUSA UÇAK** tarafından hazırlanan “TABAKALI KARBON ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERDE NANO BOYUTTA SiC, NiO, KİL VE KARBON TÜP KATKILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 14/09/2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT

.....

Üye

Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat TOPAÇ

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2018FEBE019 nolu proje ile desteklenmiştir.**

## ÖZET

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İNSTITÜSÜ  
MAKİNA MÜHÜRİNDİĞİ ANABİLİM DALI

(İZLE DANIŞMANI: PROF. DR. OLCAY ERSEL ÇANUĞRİ)

DENİZLİ, KVI ÜL. 2019

Bu tez kapsamında nano boyutta fakülte mekanik özellikleri 50C, 100C, 150C, 200C ve 250C sıcaklıklarda karbon elyaf kompozit plakalar mekanik özellikleri için Deneysel ve SEM incelemeleri ile basınç ortamında 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200, 1250, 1300, 1350, 1400, 1450, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1750, 1800, 1850, 1900, 1950, 2000, 2050, 2100, 2150, 2200, 2250, 2300, 2350, 2400, 2450, 2500, 2550, 2600, 2650, 2700, 2750, 2800, 2850, 2900, 2950, 3000, 3050, 3100, 3150, 3200, 3250, 3300, 3350, 3400, 3450, 3500, 3550, 3600, 3650, 3700, 3750, 3800, 3850, 3900, 3950, 4000, 4050, 4100, 4150, 4200, 4250, 4300, 4350, 4400, 4450, 4500, 4550, 4600, 4650, 4700, 4750, 4800, 4850, 4900, 4950, 5000, 5050, 5100, 5150, 5200, 5250, 5300, 5350, 5400, 5450, 5500, 5550, 5600, 5650, 5700, 5750, 5800, 5850, 5900, 5950, 6000, 6050, 6100, 6150, 6200, 6250, 6300, 6350, 6400, 6450, 6500, 6550, 6600, 6650, 6700, 6750, 6800, 6850, 6900, 6950, 7000, 7050, 7100, 7150, 7200, 7250, 7300, 7350, 7400, 7450, 7500, 7550, 7600, 7650, 7700, 7750, 7800, 7850, 7900, 7950, 8000, 8050, 8100, 8150, 8200, 8250, 8300, 8350, 8400, 8450, 8500, 8550, 8600, 8650, 8700, 8750, 8800, 8850, 8900, 8950, 9000, 9050, 9100, 9150, 9200, 9250, 9300, 9350, 9400, 9450, 9500, 9550, 9600, 9650, 9700, 9750, 9800, 9850, 9900, 9950, 10000, 10050, 10100, 10150, 10200, 10250, 10300, 10350, 10400, 10450, 10500, 10550, 10600, 10650, 10700, 10750, 10800, 10850, 10900, 10950, 11000, 11050, 11100, 11150, 11200, 11250, 11300, 11350, 11400, 11450, 11500, 11550, 11600, 11650, 11700, 11750, 11800, 11850, 11900, 11950, 12000, 12050, 12100, 12150, 12200, 12250, 12300, 12350, 12400, 12450, 12500, 12550, 12600, 12650, 12700, 12750, 12800, 12850, 12900, 12950, 13000, 13050, 13100, 13150, 13200, 13250, 13300, 13350, 13400, 13450, 13500, 13550, 13600, 13650, 13700, 13750, 13800, 13850, 13900, 13950, 14000, 14050, 14100, 14150, 14200, 14250, 14300, 14350, 14400, 14450, 14500, 14550, 14600, 14650, 14700, 14750, 14800, 14850, 14900, 14950, 15000, 15050, 15100, 15150, 15200, 15250, 15300, 15350, 15400, 15450, 15500, 15550, 15600, 15650, 15700, 15750, 15800, 15850, 15900, 15950, 16000, 16050, 16100, 16150, 16200, 16250, 16300, 16350, 16400, 16450, 16500, 16550, 16600, 16650, 16700, 16750, 16800, 16850, 16900, 16950, 17000, 17050, 17100, 17150, 17200, 17250, 17300, 17350, 17400, 17450, 17500, 17550, 17600, 17650, 17700, 17750, 17800, 17850, 17900, 17950, 18000, 18050, 18100, 18150, 18200, 18250, 18300, 18350, 18400, 18450, 18500, 18550, 18600, 18650, 18700, 18750, 18800, 18850, 18900, 18950, 19000, 19050, 19100, 19150, 19200, 19250, 19300, 19350, 19400, 19450, 19500, 19550, 19600, 19650, 19700, 19750, 19800, 19850, 19900, 19950, 20000, 20050, 20100, 20150, 20200, 20250, 20300, 20350, 20400, 20450, 20500, 20550, 20600, 20650, 20700, 20750, 20800, 20850, 20900, 20950, 21000, 21050, 21100, 21150, 21200, 21250, 21300, 21350, 21400, 21450, 21500, 21550, 21600, 21650, 21700, 21750, 21800, 21850, 21900, 21950, 22000, 22050, 22100, 22150, 22200, 22250, 22300, 22350, 22400, 22450, 22500, 22550, 22600, 22650, 22700, 22750, 22800, 22850, 22900, 22950, 23000, 23050, 23100, 23150, 23200, 23250, 23300, 23350, 23400, 23450, 23500, 23550, 23600, 23650, 23700, 23750, 23800, 23850, 23900, 23950, 24000, 24050, 24100, 24150, 24200, 24250, 24300, 24350, 24400, 24450, 24500, 24550, 24600, 24650, 24700, 24750, 24800, 24850, 24900, 24950, 25000, 25050, 25100, 25150, 25200, 25250, 25300, 25350, 25400, 25450, 25500, 25550, 25600, 25650, 25700, 25750, 25800, 25850, 25900, 25950, 26000, 26050, 26100, 26150, 26200, 26250, 26300, 26350, 26400, 26450, 26500, 26550, 26600, 26650, 26700, 26750, 26800, 26850, 26900, 26950, 27000, 27050, 27100, 27150, 27200, 27250, 27300, 27350, 27400, 27450, 27500, 27550, 27600, 27650, 27700, 27750, 27800, 27850, 27900, 27950, 28000, 28050, 28100, 28150, 28200, 28250, 28300, 28350, 28400, 28450, 28500, 28550, 28600, 28650, 28700, 28750, 28800, 28850, 28900, 28950, 29000, 29050, 29100, 29150, 29200, 29250, 29300, 29350, 29400, 29450, 29500, 29550, 29600, 29650, 29700, 29750, 29800, 29850, 29900, 29950, 30000, 30050, 30100, 30150, 30200, 30250, 30300, 30350, 30400, 30450, 30500, 30550, 30600, 30650, 30700, 30750, 30800, 30850, 30900, 30950, 31000, 31050, 31100, 31150, 31200, 31250, 31300, 31350, 31400, 31450, 31500, 31550, 31600, 31650, 31700, 31750, 31800, 31850, 31900, 31950, 32000, 32050, 32100, 32150, 32200, 32250, 32300, 32350, 32400, 32450, 32500, 32550, 32600, 32650, 32700, 32750, 32800, 32850, 32900, 32950, 33000, 33050, 33100, 33150, 33200, 33250, 33300, 33350, 33400, 33450, 33500, 33550, 33600, 33650, 33700, 33750, 33800, 33850, 33900, 33950, 34000, 34050, 34100, 34150, 34200, 34250, 34300, 34350, 34400, 34450, 34500, 34550, 34600, 34650, 34700, 34750, 34800, 34850, 34900, 34950, 35000, 35050, 35100, 35150, 35200, 35250, 35300, 35350, 35400, 35450, 35500, 35550, 35600, 35650, 35700, 35750, 35800, 35850, 35900, 35950, 36000, 36050, 36100, 36150, 36200, 36250, 36300, 36350, 36400, 36450, 36500, 36550, 36600, 36650, 36700, 36750, 36800, 36850, 36900, 36950, 37000, 37050, 37100, 37150, 37200, 37250, 37300, 37350, 37400, 37450, 37500, 37550, 37600, 37650, 37700, 37750, 37800, 37850, 37900, 37950, 38000, 38050, 38100, 38150, 38200, 38250, 38300, 38350, 38400, 38450, 38500, 38550, 38600, 38650, 38700, 38750, 38800, 38850, 38900, 38950, 39000, 39050, 39100, 39150, 39200, 39250, 39300, 39350, 39400, 39450, 39500, 39550, 39600, 39650, 39700, 39750, 39800, 39850, 39900, 39950, 40000, 40050, 40100, 40150, 40200, 40250, 40300, 40350, 40400, 40450, 40500, 40550, 40600, 40650, 40700, 40750, 40800, 40850, 40900, 40950, 41000, 41050, 41100, 41150, 41200, 41250, 41300, 41350, 41400, 41450, 41500, 41550, 41600, 41650, 41700, 41750, 41800, 41850, 41900, 41950, 42000, 42050, 42100, 42150, 42200, 42250, 42300, 42350, 42400, 42450, 42500, 42550, 42600, 42650, 42700, 42750, 42800, 42850, 42900, 42950, 43000, 43050, 43100, 43150, 43200, 43250, 43300, 43350, 43400, 43450, 43500, 43550, 43600, 43650, 43700, 43750, 43800, 43850, 43900, 43950, 44000, 44050, 44100, 44150, 44200, 44250, 44300, 44350, 44400, 44450, 44500, 44550, 44600, 44650, 44700, 44750, 44800, 44850, 44900, 44950, 45000, 45050, 45100, 45150, 45200, 45250, 45300, 45350, 45400, 45450, 45500, 45550, 45600, 45650, 45700, 45750, 45800, 45850, 45900, 45950, 46000, 46050, 46100, 46150, 46200, 46250, 46300, 46350, 46400, 46450, 46500, 46550, 46600, 46650, 46700, 46750, 46800, 46850, 46900, 46950, 47000, 47050, 47100, 47150, 47200, 47250, 47300, 47350, 47400, 47450, 47500, 47550, 47600, 47650, 47700, 47750, 47800, 47850, 47900, 47950, 48000, 48050, 48100, 48150, 48200, 48250, 48300, 48350, 48400, 48450, 48500, 48550, 48600, 48650, 48700, 48750, 48800, 48850, 48900, 48950, 49000, 49050, 49100, 49150, 49200, 49250, 49300, 49350, 49400, 49450, 49500, 49550, 49600, 49650, 49700, 49750, 49800, 49850, 49900, 49950, 50000, 50050, 50100, 50150, 50200, 50250, 50300, 50350, 50400, 50450, 50500, 50550, 50600, 50650, 50700, 50750, 50800, 50850, 50900, 50950, 51000, 51050, 51100, 51150, 51200, 51250, 51300, 51350, 51400, 51450, 51500, 51550, 51600, 51650, 51700, 51750, 51800, 51850, 51900, 51950, 52000, 52050, 52100, 52150, 52200, 52250, 52300, 52350, 52400, 52450, 52500, 52550, 52600, 52650, 52700, 52750, 52800, 52850, 52900, 52950, 53000, 53050, 53100, 53150, 53200, 53250, 53300, 53350, 53400, 53450, 53500, 53550, 53600, 53650, 53700, 53750, 53800, 53850, 53900, 53950, 54000, 54050, 54100, 54150, 54200, 54250, 54300, 54350, 54400, 54450, 54500, 54550, 54600, 54650, 54700, 54750, 54800, 54850, 54900, 54950, 55000, 55050, 55100, 55150, 55200, 55250, 55300, 55350, 55400, 55450, 55500, 55550, 55600, 55650, 55700, 55750, 55800, 55850, 55900, 55950, 56000, 56050, 56100, 56150, 56200, 56250, 56300, 56350, 56400, 56450, 56500, 56550, 56600, 56650, 56700, 56750, 56800, 56850, 56900, 56950, 57000, 57050, 57100, 57150, 57200, 57250, 57300, 57350, 57400, 57450, 57500, 57550, 57600, 57650, 57700, 57750, 57800, 57850, 57900, 57950, 58000, 58050, 58100, 58150, 58200, 58250, 58300, 58350, 58400, 58450, 58500, 58550, 58600, 58650, 58700, 58750, 58800, 58850, 58900, 58950, 59000, 59050, 59100, 59150, 59200, 59250, 59300, 59350, 59400, 59450, 59500, 59550, 59600, 59650, 59700, 59750, 59800, 59850, 59900, 59950, 60000, 60050, 60100, 60150, 60200, 60250, 60300, 60350, 60400, 60450, 60500, 60550, 60600, 60650, 60700, 60750, 60800, 60850, 60900, 60950, 61000, 61050, 61100, 61150, 61200, 61250, 61300, 61350, 61400, 61450, 61500, 61550, 61600, 61650, 61700, 61750, 61800, 61850, 61900, 61950, 62000, 62050, 62100, 62150, 62200, 62250, 62300, 62350, 62400, 62450, 62500, 62550, 62600, 62650, 62700, 62750, 62800, 62850, 62900, 62950, 63000, 63050, 63100, 63150, 63200, 63250, 63300, 63350, 63400, 63450, 63500, 63550, 63600, 63650, 63700, 63750, 63800, 63850, 63900, 63950, 64000, 64050, 64100, 64150, 64200, 64250, 64300, 64350, 64400, 64450, 64500, 64550, 64600, 64650, 64700, 64750, 64800, 64850, 64900, 64950, 65000, 65050, 65100, 65150, 65200, 65250, 65300, 65350, 65400, 65450, 65500, 65550, 65600, 65650, 65700, 65750, 65800, 65850, 65900, 65950, 66000, 66050, 66100, 66150, 66200, 66250, 66300, 66350, 66400, 66450, 66500, 66550, 66600, 66650, 66700, 66750, 66800, 66850, 66900, 66950, 67000, 67050, 67100, 67150, 67200, 67250, 67300, 67350, 67400, 67450, 67500, 67550, 67600, 67650, 67700, 67750, 67800, 67850, 67900, 67950, 68000, 68050, 68100, 68150, 68200, 68250, 68300, 68350, 68400, 68450, 68500, 68550, 68600, 68650, 68700, 68750, 68800, 68850, 68900, 68950, 69000, 69050, 69100, 69150, 69200, 69250, 69300, 69350, 69400, 69450, 69500, 69550, 69600, 69650, 69700, 69750, 69800, 69850, 69900, 69950, 70000, 70050, 70100, 70150, 70200, 70250, 70300, 70350, 70400, 70450, 70500, 70550, 70600, 70650, 70700, 70750, 70800, 70850, 70900, 70950, 71000, 71050, 71100, 71150, 71200, 71250, 71300, 71350, 71400, 71450, 71500, 71550, 71600, 71650, 71700, 71750, 71800, 71850, 71900, 71950, 72000, 72050, 72100, 72150, 72200, 72250, 72300, 72350, 72400, 72450, 72500, 72550, 72600, 72650, 72700, 72750, 72800, 72850, 72900, 72950, 73000, 73050, 73100, 73150, 73200, 73250, 73300, 73350, 73400, 73450, 73500, 73550, 73600, 73650, 73700, 73750, 73800, 73850, 73900, 73950, 74000, 74050, 74100, 74150, 74200, 74250, 74300, 74350, 74400, 74450, 74500, 74550, 74600, 74650, 74700, 74750, 74800, 74850, 74900, 74950, 75000, 75050, 75100, 75150, 75200, 75250, 75300, 75350, 75400, 75450, 75500, 75550, 75600, 75650, 75700, 75750, 75800, 75850, 75900, 75950, 76000, 76050, 76100, 76150, 76200, 76250, 76300, 76350, 76400, 76450, 76500, 76550, 76600, 76650, 76700, 76750, 76800, 76850, 76900, 76950, 77000, 77050, 77100, 77150, 77200, 77250, 77300, 77350, 77400, 77450, 77500, 77550, 77600, 77650, 77700, 77750, 77800, 77850, 77900, 77950, 78000, 78050, 78100, 78150, 78200, 78250, 78300, 78350, 78400, 78450, 78500, 78550, 78600, 78650, 78700, 78750, 78800, 78850, 78900, 78950, 79000, 79050, 79100, 79150, 79200, 79250, 79300, 79350, 79400, 79450, 79500, 79550, 79600, 79650, 79700, 79750, 79800, 79850, 79900, 79950, 80000, 80050, 80100, 80150, 80200, 80250, 80300, 80350, 80400, 80450, 80500, 80550, 80600, 80650, 80700, 80750, 80800, 80850, 80900, 80950, 81000, 81050, 81100, 81150, 81200, 81250, 81300, 81350, 81400, 81450, 81500, 81550, 81600, 81650, 81700, 81750, 81800, 81850, 81900, 81950, 82000, 82050, 82100, 82150, 82200, 82250, 82300, 82350, 82400, 82450, 82500, 82550, 82600, 82650, 82700, 82750, 82800, 82850, 82900, 82950, 83000, 83050, 83100, 83150, 83200, 83250, 83300, 83350, 83400, 83450, 83500, 83550, 83600, 83650, 83700, 83750, 83800, 83850, 83900, 83950, 84000, 84050, 84100, 84150, 84200, 84250, 84300, 84350, 84400, 84450, 84500, 84550, 84600, 84650, 84700, 84750, 84800, 84850, 84900, 84950, 85000, 85050, 85100, 85150, 85200, 85250, 85300, 85350, 85400, 85450, 85500, 85550, 85600, 85650, 85700, 85750, 85800, 85850, 85900, 85950, 86000, 86050, 86100, 86150, 86200, 86250, 86300, 86350, 86400, 86450, 86500, 86550, 86600, 86650, 86700, 86750, 86800, 86850, 86900,

## ÖZET

### TABAKALI KARBON ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERDE NANO BOYUTTA SiC, NiO, KİL VE KARBON TÜP PARTİKÜL KATKILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİN MUSA UÇAK

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)

DENİZLİ, EYLÜL - 2018

Bu tez kapsamında nano boyutta farklı mekanik özelliklere sahip SiC, NiO, kil ve karbon tüp partikül katkısının tabakalı karbon elyaf kompozit plakalar üzerindeki mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Deneysel ve SEM incelemeleri ile üretim aşamasında epoksi içerisine ağırlıkça %0,1-0,3-0,5-1,0 oranında ilave edilen katkı maddeleriyle kompozit malzemenin mukavemetinin nasıl değiştiği incelenmiş ve daha dayanıklı tabakalı kompozit malzeme elde edilebilmiştir.

Plakalardan ASTM-D3039/D3039M standartlarına uygun şekilde deney numuneleri hazırlanmış ve elde edilen numunelerin tek eksenli çekme deneyleri yapılarak sonuçlar incelenerek katkı malzemelerinin kompozit malzemenin mukavemetine olan etkileri belirlenmiştir.

Tabakalı karbon elyaf kompozit numunelerine çekme deneyi uygulandıktan sonra numunelerin kopan yüzeylerinde oluşan hasarlı bölgelerinden SEM görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntülerde iç yapıyla ilgili analizler yapılmıştır.

Sonuçlar nano parçacıkların tabakalı sandviç karbon fiber kompozit malzemelerin mukavemeti üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ağırlıkça optimum oranda eklenen çok duvarlı karbon nano tüp (ÇDKNT) ve NiO kompozit malzemenin dayanımında sırasıyla %20'lik ve %36'lık artış etkisi göstermiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Karbon elyaf, Kompozit Malzeme, Çekme Dayanımı

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF NANOPARTICLES OF SiC, NiO, CLAY AND CARBON TUBE ADDITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LAYERED CARBON FIBER COMPOSITE MATERIALS**

**MSc THESIS  
YASİN MUSA UÇAK  
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)**

**DENİZLİ, SEPTEMBER 2018**

In this thesis, the effect of nano particle of SiC, NiO, clay and carbon tube additions were investigated on the mechanical properties of layered carbon fiber composite plates. Experimental and SEM results demonstrated the change of strength of layered composite material with the addition of 0,1-0,3-0,5-1,0% of additives by weight into epoxy during the production.

Test specimens were prepared from the plates in accordance with ASTM-D3039 / D / D3039M standards. The results of uniaxial tensile tests were performed and the effects of additives were determined on the strength of composite materials.

SEM images were taken from failure regions of the fractured surfaces of the samples, after applying the tensile test to the layered carbon fiber composite specimens. Analysis of the internal structure were made by examining images.

The results show that nano particles have an effect on the strength of layered sandwich carbon fiber composite materials. The optimum amount of nano particle addition of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and NiO by weight resulted in %20 and %36 increase on the strength of composite materials, respectively.

**KEYWORDS:** Carbon Fiber, Composite Materials, Tensile Strength



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	v
SEMBOL LİSTESİ .....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1    Literatür Özeti .....	2
1.2    Tezin Amacı .....	10
<b>2. KOMPOZİT MALZEMELER .....</b>	<b>11</b>
2.1    Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler.....	12
2.1.1    Cam Elyaf .....	14
2.1.2    Karbon Elyaf.....	15
2.1.3    Aramid elyaf .....	17
2.1.4    Bor elyafı .....	18
2.2    Partikül (Parçacık) Esaslı Kompozitler .....	19
2.3    Tabakalı (Lamine) Kompozitler .....	19
2.4    Polimer Matrisli Kompozitler.....	20
2.4.1    Termoset Matrisler.....	21
2.4.1.1    Polyester.....	21
2.4.1.2    Epoksiler .....	22
2.4.1.3    Vinilester.....	22
2.4.1.4    Fenolikler .....	22
2.4.1.5    Silikon .....	23
2.4.1.6    Poliamidler .....	23
2.4.1.7    Poliüretan .....	23
2.4.2    Termoplastik Matrisler .....	23
2.5    Metal Matrisli Kompozitler.....	24
2.6    Seramik Matrisli Kompozitler.....	25
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>27</b>
3.1    Kompozit Plaka Üretimi.....	27
3.2    Deney Numunelerinin Oluşturulması.....	30
3.3    Deney Numunelerinin Çekme Testlerinin Yapılması .....	31
3.4    Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri .....	32
<b>4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>36</b>
4.1    Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp (ÇDKNT) Katkısı .....	36
4.2    Silisyum Karbür (SiC) Nano Partikül Katkısı .....	38
4.3    Nikel Oksit (NiO) Nano Partikül Katkısı .....	39
4.4    Nano Kil Partikül Katkısı .....	41
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>43</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>50</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Çeşitli yapıda fiberler.....	13
Şekil 2.2: Cam elyafı örnekleri .....	14
Şekil 2.3: Karbon elyafı örnekleri.....	16
Şekil 3.1: Karbon elyaf rulo .....	27
Şekil 3.2: Hielscher UP400S Ultrasonik Karıştırıcı ve Labo CH750 Soğutucu.....	28
Şekil 3.3: Kompozit plaka üretiminde kullanılan nano partiküller (ÇDKNT, SiC, NiO, Nano Kil).....	29
Şekil 3.4: Rulolama ve elyaf yatırma işlemi .....	29
Şekil 3.5: Sıcak presleme ve çapak temizleme işlemi .....	30
Şekil 3.6: Su jeti ile kompozit plaka kesimi ve deney numunelerinin sınıflandırılması.....	30
Şekil 3.7: Çekme testi için hazır numune örneği .....	31
Şekil 3.8: INSTRON 8801 servo hidrolik test cihazı ve örnek test numuneleri.....	31
Şekil 3.9: a) x3000 b) x10000 büyütme oranlarında katkısız numunelerin iç yapı SEM görüntüleri .....	32
Şekil 3.10: a,b) %0,5 ÇDKNT b,c) %1,0 ÇDKNT katkılı numunelerin SEM görüntüleri .....	33
Şekil 3.11: a,b) %0,1 SiC c,d) %1,0 SiC katkılı numunelerin SEM görüntüleri .....	34
Şekil 3.12: a,b) %0,3 NiO katkılı c,d) %1,0 NiO katkılı numunelerin SEM görüntüleri .....	34
Şekil 3.13: a,b) %0,3 Nano Kil katkılı c,d) %2,0 Nano Kil katkılı numunelerin SEM görüntüleri.....	35
Şekil 4.1: ÇDKNT katkılı/katkısız kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı .....	37
Şekil 4.2: ÇDKNT katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması .....	37
Şekil 4.3: SiC nano partikül katkılı/katkısız kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı.....	38
Şekil 4.4: Nano SiC katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması .....	39
Şekil 4.5: NiO nano partikül katkılı/katkısız kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı.....	40
Şekil 4.6: Nano NiO katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması .....	40
Şekil 4.7: Nano kil katkılı/katkısız kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı .....	41
Şekil 4.8: Nano Kil katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması .....	42

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Karbon elyafı ısıl özellikleri .....	17
Tablo 2.2: Elyafların mekanik özellikleri karşılaştırması .....	19
Tablo 2.3: Bazı termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları .....	24
Tablo 3.1: Katkı malzemelerinin özellikleri .....	28
Tablo 4.1: ÇDKNT katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları	36
Tablo 4.2: SiC katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları.....	38
Tablo 4.3: Nikel Oksit katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları .....	39
Tablo 4.4: Nano kil katkılı numunelerin çekme dayanımı sonuçları .....	41

## SEMBOL LİSTESİ

<b>FTP</b>	: Fiber takviyeli polimer, fiber reinforced polymer (FRP)
<b>ÇDKNT</b>	: Çok duvarlı karbon nano tüp, multiwalled carbon nanotubes (MWCNT)
<b>VDRTK</b>	: Vakum destekli reçine transfer kalıplama, vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM)
<b>KFTP</b>	: Karbon fiber takviyeli polimer, carbon fiber reinforced polymer (CFRP)
<b>AYKM</b>	: Ara yüzey (fiber/reçine) kesilme mukavemeti, interfacial shear strength (IFSS)
<b>TİKM</b>	: Tabaka içi kesme mukavemeti, interlaminar shear strength (ILSS)
<b>PAN</b>	: Poliakrilonitrit
<b>TLK</b>	: Tek lifli kompozit, single fiber composite (SFC)
<b>KKF</b>	: Kısa karbon fiber, short carbon fiber (SCF)
<b>KNT</b>	: Karbon nano tüp, carbon nanotubes (CNT)
<b>EYM</b>	: Eriyik yığıma modellemesi, fused deposition modelling (FDM)
<b>AKG</b>	: Az katmanlı grafen, few layered graphene (FLG)
<b>SEA</b>	: Sonlu elemanlar analizi, finite element analysis (FEA)
<b>SNF</b>	: Selüloz nano fiber, cellulose nano fibers (CNF)
<b>ÇKK</b>	: Çekirdek kabuğu kauçuk, core-shell rubber (CSR)
<b>CFTK</b>	: Cam fiber takviyeli kompozit, glass fiber reinforced composite (GFRC)
<b>EFD</b>	: Enine fiber demeti, transverse fiber bundle (TFB)

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca, benden yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her zaman destekleyici olan tez danışmanım Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerinin hazırlanmasında desteğini ve yardımını esirgemeyen doktora öğrencisi Sayın Berkant DİNDAR'a ve numunelerin deney aşamasında ve üretim aşamasında Pamukkale Üniversitesi bünyesindeki gerek duyulan ekip ve ekipmanların kullanımı için gerekli izinleri veren Pamukkale Üniversitesi Ana Bilim Başkanı Sayın Prof. Dr. Nazım USTA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının maddi olarak desteklenmesini 2018FEBE019 nolu proje ile sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP), kompozit plakaların üretildiği Meduza Karbon Ltd. Şti. firmasına ve deney numunesi için kompozit plakaların kesim işleminin yapıldığı Kardeş Cam firmasına da teşekkürlerimi sunarım.

# 1. GİRİŞ

Teknolojik süreçte, birçok sorun veya geliştirme, mühendislikte farklı ve yeni kullanımlara yer hazırlamıştır. Bu da klasikleşmiş üretim yollarının ve malzemelerin yerlerini yeni ve daha farklı imalat ve malzemelere bırakmalarına neden olmuştur. Otomotiv, denizcilik ve havacılık gibi birçok endüstride metallerin yerine fiber takviyeli polimer (FTP) kompozit malzemeler düşünülmektedir.

Fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler metallere göre yoğunluk olarak daha düşük, özgül mukavemet ve sertlik olarak da daha yüksektir. Korozyona karşı direnç ve yorulma performansı olarak da daha yüksektir. Böyle avantajlara sahip kompozit malzemelerin daha da iyileştirilip geliştirilmesi, yeni imalatı yapılacak olan malzemeler için bir olanaktır. Çeşitli yük şartlarında fiber takviyeli kompozit malzemelerin performansı, yapısal bileşenlerin tasarımı için önemlidir (Islam, 2015).

Tarihe bakıldığında kompozit malzemelerin kullanımına örnekler milattan öncesine dayanmaktadır. Örneğin cam elyaf kullanımı eski Mısır'a kadar dayanmaktadır. Günümüze yakın örneklerde ev yapımı için çamur-saman karışımı kerpiçten asfalta, betonarmeye kadar pek çok kullanımı mevcuttur.

Kompozit malzeme kavramının kullanımı ve bunun mühendislikte ele alınması 1940'ların başlarında başlamıştır. Uçak dizaynında, 1944'lerde ilk defa cam elyaf kompozitler 'Vultee BT-15' eğitim uçaklarında kullanılmıştır (Yılmaz, 2015). Cam elyaf reçineli kompozit plakalar, gövdenin arka kısmında, ağaç çekirdeğin yüzeylerine yapıştırılıp sandviç panel halinde kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı zamanlarında askeri amaç için kullanılan kompozitin ilk örnekleri, 1946 sonralarında dünya genelinde ticari boyuta taşınmıştır. Kompozit tasarımları, yaygın olarak 1960'larda uçaklarda kullanılmaya başlanmıştır.

Elyafı güçlendirilmiş polimer kompozit malzemelerin mekanik özellikleri elyafa, matrise ve elyaf-matris arasındaki ara yüzeye bağlıdır. Polimerik kompozit malzemelerde, karbon elyaf takviyesiyle tabaka içi yüksek mukavemet ve yüksek sertlik özelliklerine sahip olmasına rağmen tabakalar arası düşük performans

özelliklerine sahiptir. Çeşitli organik ve inorganik nano parçacıklar, kompozit malzemelerin güçlendirilmesinde, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için araştırılmaktadır. Polimerik kompozit malzemelerde, çeşitli nano partiküller reçine mukavemetini arttırmak, matris ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağıny iyileştirmek için kullanılır.

Son zamanlarda, aşınma direnci, sertlik, tokluk gibi avantajlı özelliklerinden dolayı polimer matris malzemesi olarak epoksi reçine tercih edilmektedir. Epoksi matris modifikasyonunda nano partikül kullanımının gelişmesi, elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin gelişmesine yol açmıştır (Hudnut, 1995). Bunların yanı sıra epoksi reçine sistemi kırılğan bir yapıya sahiptir. Son yıllarda epoksi reçine ile karbon nano tüp kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Karbon nano tüplerin (KNT) birçok özelliklerinden dolayı çeşitli yeni uygulamalara ve mevcut olanlarda iyileştirmelere olanak sağlar. KNT'lerin aksenel doğrultuda çok geniş bir Young Modülü mevcuttur. Çok duvarlı karbon nano tüpler (ÇDKNT) çok iyi bir gerilme mukavemetine sahiptir ve bir termoplastik veya termoset bileşikleri gibi bir kompozit içine entegre edildiğinde, mukavemetini önemli ölçüde artırabilir. Silisyum karbür (SiC) nano partiküller yüksek termal iletkenlik, yüksek stabilite, yüksek saflık, iyi aşınma direnci ve küçük termal genişleme gibi özellikler sergiler. Nikel oksit nano parçacıkları yeşil toz şeklinde görünür ve çok toksik olarak derecelendirilir. Alerjik cilt reaksiyonlarına, uzun süreli maruz kalma nedeniyle organlarda olası hasarlara ve uzun süreli zararlı etkilere neden olabilirler. Nano killer gibi daha ucuz malzemelerde popülerdirler. Nano killer en-boy oranları son derece yüksek olan partiküllerdir. Nano killer mekanik özellikleri arttırmak için matrisi takviye edebilen katmanlı yapılardır. Nano parçacıkların ağırlıkça çok düşük yüzdeliği, epoksi ara katman içerisine ilave edilmesi ile kompozit yapının mekanik özelliklerine önemli ölçüde katkı sağlayabilir.

## **1.1 Literatür Özeti**

Bekyarova ve arkadaşları (2007), çok duvarlı karbon nano tüp – karbon fiber takviyesine dayanan ileri yapısal kompozitlerin gelişimine katkı sağlamışlardır. Elektroforez yöntemi kullanarak KNT kaplanmış karbon kumaş panellerini, vakum

destekli reçine transfer kalıplama (VDRTK) yöntemini kullanarak epoksi reçineyle birleştirmişlerdir. Karbon nano tüp/karbon kumaş/epoksi kompozitler, karbon nano tüpler içermeyen karbon fiber/epoksi kompozitlerine kıyasla, tabaka içi kesme mukavemetinin %30 daha yüksek ve düzlemsel elektrik iletkenliğinin önemli ölçüde geliştirilmiş olduğunun sonucuna ulaşmışlardır.

Brunbauer ve arkadaşları (2014), fiber hacim oranının yorulma davranışını ve karbon/epoksi laminatların hasar mekanizmaları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Epoksi reçinesi ve iki farklı fiber hacim fraksiyonlu tek yönlü karbon/epoksi numunelerini, 0°, 45° ve 90° açılarında yarı statik gerilme ve gerilim-tansiyon yorgunluk yükleri altında test etmişlerdir. Sonuçlara göre, lif hacim oranının artması ile sertliğin ve mukavemetin arttığını belirlemişlerdir.

Carolan ve arkadaşları (2016), nano silika partiküller ve / veya polisiloksan çekirdek kabuğu kauçuk (ÇKK) parçacıkları içeren bir anhidrit sertleştiriciyle sertleştirilen epoksi reçine ile karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) kompozitlerinin mikro yapı ve kırılma performansını araştırmışlardır. Silika nano partikülleri veya ÇKK nano partikülleri ile modifiyeli epoksi polimerin gerilme özelliklerini hem oda sıcaklığında hem de -80 °C'de test etmişlerdir. Ölçülen modüller, her iki malzeme için de iki test sıcaklığı arasında önemli bir fark göstermemiştir. ÇKK parçacıklarının ilavesiyle artan ÇKK içeriğiyle birlikte modülde yaklaşık olarak lineer bir azalma ile sonuçlanırken, silika nano partikül içeriğinin artmasıyla modülde doğrusal bir artış olduğunu ifade etmişlerdir.

Dickson ve arkadaşları (2016), üç boyutlu eklemeli imalat tekniği olan eriyik yığıma modellemesi (EYM) kullanılarak üretilen sürekli karbon, kevlar ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin performansını değerlendirmişlerdir. Kompozitlerin mekanik performansını hem gerilim hem de burkulma ile lif yönü, lif tipi ve hacim oranının, mekanik özelliklere etkisini de araştırmışlardır. İncelenen liflerde, karbon elyaf kullanılarak imal edilenlerin mekanik mukavemette en büyük artışı sağladığını gözlemlemişlerdir. Çekme mukavemetleri, takviyesiz naylon polimer ile elde edilenin 6,3 katı kadar olduğunu ve karbon ve cam elyaf hacim oranı arttıkça, mekanik performansı etkileyen kompozit matriste hava seviyesinin arttığını gözlemlemişlerdir.



Godara ve arkadaşları (2010), KNT'leri fiber boyutlandırma formülasyonunda dağıtmak suretiyle, KNT'leri elyaf yüzeyine ulaştırmak için alternatif bir yaklaşım araştırmışlardır. KNT'lerin fiber boyutunda, matraste ve eşzamanlı olarak fiber boyutlandırmada ve matraste olmak üzere üç şekilde ortaya çıktığı tek yönlü cam elyaf/epoksi makro-kompozitlere odaklanmışlardır. Ara yüzey kesme mukavemeti (AYKM), tek lifli itme mikrodentasyonu kullanarak araştırmışlardır. Testin sonuçları her üç vakada da AYKM artışını ortaya koymuştur. KNT'lerin sadece elyaf boyutlandırılmasında kullanıldığı kompozitde maksimum kazanç (%90'ın üzerinde) elde etmişlerdir.

Islam ve arkadaşları (2015), karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitleri, ağırlıkça %2 Montmorillonit nano kil ve ağırlıkça %0,3 çok duvarlı karbon nano tüpleri (ÇDKNT) ile takviye etmişlerdir. Katkılı numunelerin karakterizasyonu için üç nokta eğilme testini, dinamik mekanik analiz ve düşük hız darbe testini uygulamışlardır. Bu deneylerden elde edilen sonuçları, katkısız karbon/epoksi kompozitleri ile karşılaştırmışlardır. Nano partiküller ile takviyeli karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) kompozitlerinin mekanik ve termo-mekanik özelliklerinin önemli ölçüde geliştiğinin sonucuna varmışlardır.

Khan ve arkadaşları (2010), karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) kompozitlerde nano kil ilavesinin yorulma davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Gerilme çevrimsel yorulma testlerini, S-N eğrisini oluşturmak için çeşitli yük seviyelerinde uygulamışlardır. Nano kilin KFTP kompozitlerine dahil edilmesinin, statik yüklemdeki kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmekle kalmayıp, belirli bir döngüsel yük seviyesinde yorulma ömrü ve belirli bir döngüsel yorgunluk döneminden sonra kalan mekanik özellikleri de geliştirdiğini ortaya koymuşlardır.

Knoll ve arkadaşları (2014) çok duvarlı karbon nano tüpleri (ÇDKNT) ve az katmanlı grafen gibi farklı birçok tipte karbon nano partikül katkısının yorulma yükü altında karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) üzerindeki hasar etkilerini araştırmışlardır. Çapraz katlı laminatların yarı-statik mekanik özellikleri, nano partikül katkısından etkilenmediği verisine ulaşmışlardır. Bununla birlikte, yorulma ömrü her iki karbon nano partikül türü için belirgin olarak artmış, yüksek yorulma yüklerinde en belirgin olanı az katmanlı grafen olmuştur. KFTP'de farklı nano partikül yapılarına bağlı olarak farklı hasar mekanizmaları tespit etmişlerdir.

Kwon ve arkadaşları (2017), CFTK'ye eklenen iki Silisyum tipi nano partiküllerin ( $\text{SiC}$  ve  $\text{SiO}_2$ ) ara yüzey ve termal yaşlanmaya etkisini araştırmışlardır. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi ile epoksi-SiC kompozitin epoksi-SiO<sub>2</sub>'den daha iyi termal dirence sahip olduğunu belirlemişlerdir. Farklı Silisyum nano tanecikleri ve cam elyafları ile epoksi matrisi arasındaki ara yüzey kesme mukavemetini (AYKM) ve interlaminar kesme mukavemetini (TİKM) belirlemek için mikro-gözenekli çekme ve kısa kiriş testlerini kullanmışlardır. SiC nano kompozitlerin sadece daha iyi termal direnç değil, aynı zamanda daha iyi mekanik güçlendirme de sağladığını gözlemlemişlerdir.

Landowski ve arkadaşları (2016), nano-SiO<sub>2</sub> ile güçlendirilmiş karbon elyaf/epoksi kompozitlerinin deniz uygulamalarında düşük hızlı darbe etkisini rapor etmişlerdir. Epoksi reçine matrise, endüstriyel yüzey modifiyeli nano silika bazında, ağırlıkça %1-8 SiO<sub>2</sub> nano parçacıklar ilave etmişlerdir. Küçük nano partikül içeriğinin darbe kuvveti, deformasyon ve enerji üzerine çok az etkisinin olduğunu ve %8 nano-SiO<sub>2</sub> içeriği için pik darbe kuvvetinin yalnızca %6 arttığını saptamışlardır.

Lew ve arkadaşları (2007), silika ( $\text{SiO}_2$ ) nano parçacık yüklemesinin (ağırlıkça %0-2) ve amonyak/etilen plazma ile işlenmiş liflerin karbon fiber-epoksi kompozitlerinde ara yüzey ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Fiber/reçine ara yüzey kesilme mukavemetini (AYKM) belirlemek için tek lifli kompozit (TLK) testlerini uygulamışlardır. Saf epoksi reçine numunelerin ve SiO<sub>2</sub> katkılı numunelerin üzerinde çekme testleri uygulamışlar ve elyaf/epoksi ara yüzünün, %2'ye kadar SiO<sub>2</sub> nano partiküllerinin dahil edilmesiyle etkilenmediğini saptamışlardır. Ayrıca, plazma işlemi ile elyaf yüzey modifikasyonu lif ve reçine arasındaki yapışmayı iyileştirmek ve kontrol etmek için etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mikociak ve arkadaşları (2018), SiC modifiyeli C/C kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Karbon fiberleri takviye olarak kullanmışlar ve farklı miktarlarda seramik nano-dolgu içeren kompozit numuneler üretmişlerdir. Nano SiC ile modifikasyon öncesi ve sonrası C/C kompozitlerinin mekanik özellikleri, ısıl iletkenliği ve oksidasyon direncini belirlemişlerdir. Modifiye C/C kompozitleri, saf karbon/karbon numunelerine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek

mekanik özellikler, termal iletkenlik ve oksidasyon direnci gerçekleştirdiğini belirlemişlerdir.

Potluri ve arkadaşları (2017), silisyum karbür (SiC) partiküllerinin ilavesinin kevlar-49 fiber takviyeli polimer kompozitlerdeki mekanik özelliklerine etkisini sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanarak incelemişlerdir. SEA'dan tahmin edilen elastik özellikleri analitik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuçların, SiC partiküllerinin, fiber takviyeli epoksi kompozitlerin enine mekanik özelliklerini geliştirmek için iyi bir takviye olduğunu belirlemişlerdir.

Puch ve arkadaşları (2014), güçlendirilmemiş ve kısa karbon fiber (KKF) ile güçlendirilmiş Naylon 6/çok duvarlı karbon nano tüp (ÇDKNT) kompozitlerin morfolojisini ve gerilme özelliklerini araştırmışlardır. Morfoloji analizi, ÇDKNT ve KKF'nin kompozitlerde rastgele yerleştiğini göstermiştir. SCF ile güçlendirilmiş Naylon 6 ve Naylon 6/ÇDKNT kompozitlerin modüler ve gerilme mukavemetinin, toplam dolgu hacmi arttıkça arttığını göstermiştir. ÇDKNT tarafından KKF'nin değiştirilmesiyle, Young Modülünün ve gerilme mukavemetinin daha da arttırdığını belirlemişlerdir.

Quaresimin ve arkadaşları (2008), piyasada bulunan üç değişik nano düzenleyicinin bir epoksi/anhidrit tek yönlü karbon elyaf takviyeli laminatların mekanik özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Nano düzenleyicileri, organik modifiyeli tabakalı bir silikat, buharla yetiştirilen karbon fiber ve bir triblok kopolimer olarak belirlemişlerdir. Nano katkı maddesinin yüksek oranının, mikro çatlakların büyümesini sınırlandırmaya yardım ettiğini öne sürmüşlerdir. Çekme modülü modifiye edilmemiş laminatlar arasında çok az farklılık gösterirken, çekme mukavemetinin mütevazı bir düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir.

Saghar ve arkadaşları (2017), karbon nano tüp ve silisyum karbür nano partikülleri içeren hibrit karbon fiber fenolik matris kompozitlerde, partikül takviyesinin aşınma özellikleri üzerindeki bireysel ve kombine etkisini araştırmak için oksiasetlen torç testine karşı karakterize etmişlerdir. %5'lik silisyum karbür partiküllerini içeren kompozit, aşınma oranını %33'e düşürürken, %0,1 karbonlu karbon nano tüpün, oranı %9'a düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. %5 oranında

silisyum karbür partiküllerinin ve %0,1 karbon nano tüplerin kombine etkisi, aşınma hızını %43'lük azaltmışlardır.

Shao ve arkadaşları (2015), karbon fiber kumaş/epoksi kompozitlerin yorulma ömrü üzerinde selüloz nano fiberlerin (SNF) etkisi araştırmışlardır. Yüksek çevrim yorulma mukavemetinin, ağırlıkça %0,3 oranında kullanılan SNF takviyesinde önemli ölçüde geliştiği sonucuna varmışlardır.

Soliman ve arkadaşları (2012), karbon fiberle güçlendirilmiş polimer kompozitlerin gerginlik ve düzlem içi kesme davranışları üzerindeki çok duvarlı karbon nano tüplerin (ÇDKNT) rolünü deneysel olarak incelemişlerdir. ÇDKNT'leri epoksizde ağırlıkça %0,1-0,5-1,0-1,5 olarak 4 farklı oranlarda kullanılmışlardır. Araştırmalarında, %1,5 oranında ÇDKNT katkısının gerilme dayanımını azalttığı, eksen dışı gerilim testinin dayanıklılığının da sırasıyla %39, %51 ve %121 oranlarında arttığını saptamışlardır.

Sun ve arkadaşları (2016), iyi dağıtılmış demir oksit ( $Fe_3O_4$ ) nano partiküller ve eşit şekilde dağıtılan karbon nano tüpleri (KNT), konsantre  $HNO_3$  oksidasyonu ve ardından KOH (Potasyum hidroksit) aktivasyonu ile önceden işlenmiş karbon elyaf yüzeyinde sentezlemişlerdir. Sonuçlar, KOH aktivasyonunun, karbon elyaf yüzeyinde oksijen içeren işlevsel grupların uygun bir içeriğini sabitlemenin yanı sıra büyük nano parçacıkların emilmesinin engellenmesi için bir fırsat sağladığını göstermiştir. Çekme deneyi ile yüzey kusur boyutunun azalmasından dolayı fiber demetlerinin çekme mukavemetinin %30,88 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Tarfaoui ve arkadaşları (2017), karbon nano tüp (KNT) katkı maddelerinin tekstil bazlı kompozitlerin elastik davranışları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Materyaller üç fazdan; karbon fiber kumaş, epoksi matris ve KNT olarak belirlemişlerdir. KNT'leri %0, %0,5, %1, %2 ve %4 hacimsel oranlarda kullanmışlardır. Delik gerilimi, giriş kesme ve düzlem çekme testlerini uygulamışlardır. Deney sonuçlarına göre kompozitin KNT katkı maddelerinin %2'sine kadar mekanik performansını arttırdığını ifade etmişlerdir. Fakat, bu değer in ötesinde, malzeme mukavemetinde önemli bir bozulma görüldüğünü belirlemişlerdir.

Torres ve arkadaşları (2017), doğal elyaf takviyeli kompozit laminatların gerilme özelliklerine ilişkin geniş bir istatistiksel veri tabanı çalışması yapmışlardır. Bu verileri, çeşitli kompozit sistemlerin kapsamlı bir deneysel test programıyla elde etmişlerdir. Bu kapsamlı testteki parametreler; farklı malzeme bileşenler (epoksi ve vinil ester reçineleri, keten, jüt ve karbon elyafları), farklı fiber konfigürasyonlar (kısa elyaf hasırlar, tek yönlü ve düz, dimi ve saten dokuma kumaşlar) ve farklı lif yönelimler ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $[0,90]$  açılı katları) içerdiğini belirtmişlerdir. Her materyal için, yaklaşık 50 numuneyi, tek eksenli çekme yükü altında test etmişlerdir. Hesaplanan elastik modül, mukavemet ve gerilme yükü istatistik dağılımları ile birlikte stres-gerinim eğrilerinin komple setini sunmuşlardır.

Tüzemen ve arkadaşları (2017), nano kil, karbon nano tüp (KNT) ve bu her ikisinin karışımının, nano kompozit plakalarda eğilme, gerilme ve taşıma kuvvetlerine olan etkilerini araştırmışlardır. Kompozit plakaların bileşiminde nano kili ağırlıkça %4, karbon nano tüpü ağırlıkça %0,3 ve karışımda nano kili ağırlıkça %4, KNT'yi ağırlıkça %0,3 olarak kullanmışlardır. Nano kompozit plakaları bir vakum destekli reçine transfer kalıplama (VDRTK) işlemi ile üretmişlerdir. Eğilme ve çekme testlerinin ardından, eğilme dayanımında nano kil, KNT ve karışım (nano kil+KNT) için sırasıyla %5,2, %3,9 ve %0,8 iyileşmeler elde ederlerken, çekme mukavemetinde %47,7'den %57,1'e kadar çok daha fazla geliştirme aralığı elde etmişlerdir.

Xu ve Hoa (2007), epoksi ve montmorillonit nano kil kullanarak, karbon fiber takviyeli epoksi/kil nano kompozitlerin interlaminar kırılma sertliğini incelemişlerdir. Epoksiye 4 phr nano kil ilavesi interlaminar kırılma sertliğini %85 oranında arttırmış, 2 phr nano kil ilavesi bükülme mukavemetini %38 oranından arttırmış olduğunu belirtmişlerdir.

Yang ve arkadaşları (2007), karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlerin ara yüzey özelliklerini iyileştirmek için  $\text{SiO}_2$  nano partiküllerini kullanılmışlardır. Tek lif parçalanma testi ve 3 noktalı kısa giriş kesme testi ile lifler ve matris arasındaki mekanik ara yüzey mukavemetini araştırmışlardır. Sonuçlara göre  $\text{SiO}_2$  nano partikül katkısının karbon fiberlerin yüzey pürüzlülüğünü hafifçe arttırdığını belirlemişlerdir.

Yao ve arkadaşları (2017), fonksiyonel karbon nano tüpleri (KNT) ve grafen oksiti (GO), kompozitlerin ara yüzey özelliklerini arttırmak için karbon fiber yüzeyinde ayrı ayrı biriktirme çalışması yapmışlardır. KNT kaplı, GO kaplı ve katkısız tek yönlü karbon fiber kumaşların nem emme ve interlaminar kesme mukavemetini ölçmüşlerdir. Sonuçlara göre hem KNT'lerin hem de GO'nun kompozitlerin ara yüzey özelliklerini önemli ölçüde artırabildiğini ortaya koymuşlardır. KNT / karbon fiber takviyeli kompozitlerin daha yüksek kesme dayanımına, GO / karbon fiber takviyeli kompozitlerin daha iyi bir nem direncine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Zhang ve arkadaşları (2013), fiber takviyeli polimer kompozitlerde, enine fiber demeti (EFD) test yöntemi aracılığıyla fiber-matris yapışması üzerindeki rijit nano parçacıkların etkisini değerlendirmişlerdir. EFD numunelerinin kırılma yüzeylerini taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve iletim elektron mikroskobu (TEM) ile incelemişlerdir. Sonuçların, nano silika parçacıklarının epoksi matrisine eklenmesinin, lifler ve matris arasındaki ara yüzey bağlanma davranışını belirgin bir şekilde etkilemediğini ortaya koymuşlardır.

Zhou ve arkadaşları (2015), karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin karbon nano tüp (KNT) ikincil takviyeli kuvvet ve kırılma davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Kısa Kiriş Kesme testlerini ve kompozitlerde hasar evrimi ile ilgili SEM gözlemleri uygulamışlardır. Matris içine ikincil KNT takviyesinin ve/veya karbon fiber takviyeli kompozitlerin boyutlandırılmasının, kompozit mukavemetin güçlü bir şekilde artmasını sağladığını gözlemlemişlerdir.

Zhou ve arkadaşları (2008), karbon nano fiberlerin karbon elyaf/epoksi kompozitlerde mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Eğilme, çekme ve yorulma testlerini yapmışlardır. Karbon nano fiberi ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında SC-15 epoksiye ilave etmişlerdir. Mukavemet bakımından en yüksek gelişmeyi, ağırlıkça %2 oranında elde etmişlerdir. Çekme ve eğilme dayanımlarının, katkısız kompozit ile karşılaştırıldığında sırasıyla %11 ve %22,3 oranında arttığını, yorulma gücünün de önemli ölçüde iyileştiğini ifade etmişlerdir.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, nano partikül katkı malzemelerinin epoksi içerisine ağırlıkça belli oranda karıştırılarak, kompozit içerisindeki matris tabakasının güçlendirilmesi, bu şekilde elde edilen kompozit malzemenin mukavemetinin artırılması amaçlanmıştır. İlk olarak katkısız kompozit plaka üretimi yapılmış ve nano partikül etkisi olmadan kompozit malzemenin çekme mukavemet özellikleri belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar nano partikül ilavesi ile elde edilen kompozit malzemeler ile karşılaştırma için kullanılmıştır.

Katkı malzemeleri olarak çok duvarlı karbon nano tüp (ÇDKNT), Silisyum karbür (SiC), Nikel Oksit (NiO) ve nano kil belirlenmiştir. Farklı özelliklere sahip katkı malzemeleri kullanarak, nano partikül ilavesinin kompozit malzeme dayanımını olumlu veya olumsuz yönde nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Yapılan aksel çekme deneyleri ile katkılı ve katkısız kompozit malzemelerin dayanımları karşılaştırılmış, mukavemeti artıracak nano partikül malzemesi tipi ve ağırlıkça hangi oranda mukavemete katkı yaptığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Deney sonucu kopan numunelerde oluşan hasar mekanizmaları ve SEM incelenerek hasarların oluşumu ve katkı malzemelerinin lif üzerinde dağılımı incelenmiştir.

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin, elverişli özellikleri, tek malzemede elde etme ya da orijinal malzemelerde elde edemediğimiz yeni bir özelliği meydana getirmek için makro düzeyde birleştirilmesiyle ortaya çıkan malzemelere kompozit malzemeler denir (Smith, 2011). Kompozit malzemenin iki ana elemanı; matris ve takviye elemanıdır. Takviye elemanı, mukavemet ve yük taşıma görevini yerine getirirken, matris malzemesi elyaf yapıları bir arada tutar ve gelen yükü homojen bir şekilde liflere dağıtır (Mazumdar, 2002).

Kompozit malzemeler birçok avantaja ve dezavantaja sahiptir (Şahin, 2000). Avantajları;

- Yüksek mukavemet: yüksek çekme, eğilme, yorulma özellikleri,
- Tek işleme yapılabilen kolay şekillendirilebilmeleri,
- Üstün elektriksel özellikleri (elektrik iletkenliği ve elektriksel direnç),
- Isıya ve ateşe karşı dayanımı (özel katkı malzemeleriyle daha da arttırılabilir),
- Süneklikleri nedeniyle titreşim sönümlenme özellikleri ve bu sayede çatlak ilerlemesini engelleyebilme özellikleri,
- Korozyon, aşınma ve kimyasal etkilere karşı dayanımları,
- Ek bir masraf gerektirmeden, reçineye pigment ilavesiyle kalıcı renklendirilebilme özellikleridir.

Bu birçok avantajın dışında, dezavantajları da mevcuttur. Bunlar;

- Hammaddelerin maliyetlerinin yüksek olması,
- Aynı kompozit malzemeler için mekanik özelliklerin (çekme, kesme, eğilme) her zaman ideal ya da aynı olmaması,
- Uygulanan üretim yöntemine göre malzemenin kalitesinin değişkenlik göstermesi (standartlaştırılmış bir kalite bulunmamaktadır),
- Gevrek malzeme olmaları,
- Sınırlı raf ömürlerinin olmasıdır.



Kompozit malzemeler iki şekilde sınıflandırılır (Onat, 2015);

Takviye elemanına göre;

- Fiber (Elyaf) Takviyeli
- Partikül (Parçacık) Takviyeli
- Tabakalı (Lamine)

Matris yapısına göre;

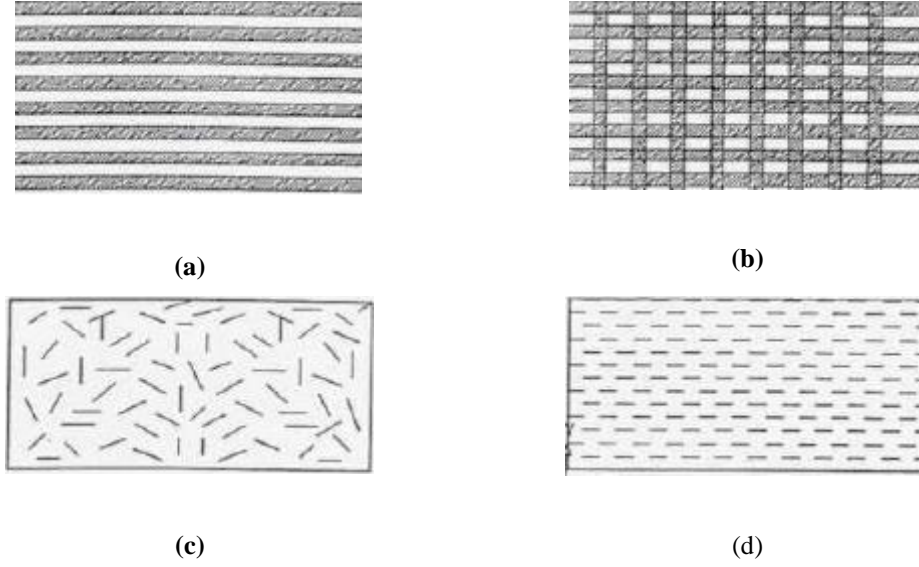
- Polimer Matrisli
- Metal Matrisli
- Seramik Matrisli

## **2.1 Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler**

Çekme, eğilme dayanımları gibi birçok özellikleri arttırabilen, malzemelerin zayıf yönlerini iyileştirmede yüksek etkisi olan elyaf takviyesiyle elde edilen kompozit malzemelerdir. Bu tür malzemelerde yüke karşı dayanım gösteren ana yapı fiberdir, matris yapı fiberleri bir arada tutan yapıdır. Elyaf bakımından kompozitlerin performansını etkileyen, dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar vardır. Bunlar: elyafın mekanik özellikleri, elyafın uzunluğu, elyafın yönlenme şekli, elyaf-matris ara yüzey özellikleri gibi özelliklerdir (Ersoy, 2001).

Kompozit malzemelerin mukavemetinde, elyafın mukavemeti en belirleyici etkindir. İletilen yük miktarı, uzunluğun çapa oranıyla doğru orantılıdır. Kompozit malzemeler içindeki elyaf miktarı da önemli bir faktördür. Elyaf miktarı arttıkça mukavemet de artar fakat belli bir orandan sonra matris malzemesinin azalmasıyla fiberleri bir arada tutması zor olacağı için mukavemette düşüş görülür. Ayrıca, elyaf matris arasındaki bağ yapısında, matris yapısındaki boşluklar elyaflarla etkileşimi azaltacaktır. Bu yüzden elyaf-matris arası etkileşim, mukavemet açısından önemli bir unsurdur (Saçak, 2002).

Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi elyaflar yapı bakımından sürekli, süreksiz şeklinde olabilir.



**Şekil 2.1:** Çeşitli yapıda fiberler (Onat, 2015)

a. Sürekli, Tek yönlü – b. Sürekli, Örgü – c. Süreksiz, Rastgele – d. Süreksiz, Yönlendirilmiş

Süreksiz elyaflar, ölçü aralığı birkaç cm ve birkaç mm arası değişen yapılardır. Sürekli elyaflar, ip şeklinde kullanılan uzun liflerdir. Bu elyaflar boylamasına mukavemet gösterir. Bu durum anizotropik özelliği gösterir. Süreksiz fiberler genellikle matris içinde rastgele dağılım gösterir ve bu durum kompozit yapıya izotropik özellik kazandırır. Sürekli fiberlerde bu durum yükün geldiği yere göre ayarlanarak belirlenir. Yüke paralel dizilim gösteren sürekli fiberler, farklı açılarda birden çok yük için, farklı açılarda yerleştirilir veya dokuma (örgü) şeklinde uygulanabilir. Bu bakımdan sürekli fiberlerde daha iyi yönlenme gözlenir fakat daha pratik sonuçlar için süreksizler daha elverişlidir. Sürekli fiberler, çalışma bakımından daha kolay ama tasarım bakımından süreksiz fiberlere göre daha sınırlıdır (Saçak, 2002).

Kompozit malzemenin mukavemetinde elyafların matris içindeki yerleşimi, yönlenmesi büyük önem taşır. Elyafların doğrultusunda yüksek mukavemet gözlenir fakat bu doğrultuya dik yönde mukavemet oldukça düşüktür.

Kompozit malzemelerde en çok kullanılan elyaf türleri;

- Cam elyafı
- Karbon elyafı
- Bor elyafı

- Aramid (Kevlar) elyafı

### 2.1.1 Cam Elyaf

Herhangi bir şişe camı yapısından kuart yapısına kadar pek çok tipte cam elyafı örneği bulunur. Cam, amorf ve polimerik yapıda bir malzemedir (Rosato, 2004). Cam elyaflar, kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan takviye malzemeleridir. Ekonomik ve elverişli mekanik özelliklere sahiptir. Bazı cam elyaf özellikleri;

- Yüksek çekme mukavemeti.
- Düşük ısıl direnci.
- Kimyasallara karşı direnç.
- Nem absorbe etmezler. Gerektiğinde özel elyaf kaplama bu sorunu çözebilir.
- Elektriksel iletkenlikleri yoktur.



Şekil 2.2: Cam elyafı örnekleri (Cam Elyaf San. A.Ş., 2009)

Şekil 2.2’de cam elyaf örnekleri gösterilmiştir. Cam elyaf, eritilmiş camın, dibinde ufak deliklerin olduğu ocaktan geçirilmesiyle üretilir. Sonrasında bu lifler soğuduktan sonra makaralara sarılır ve böylece kompozit hammaddelerinden cam elyaf elde edilmiş olur. Üretim sonrasında silis kumuna farklı katkı malzemelerinin eklenmesiyle farklı tipte cam elyaflar elde edilir (Gachter, 1987).

**A (Alkali) Camı:** Yüksek oranda alkali içerir. Elektriksel yalıtkan özelliği bakımından kötüdür. Yüksek kimyasal direnci vardır. Kompozit malzeme üretimlerinde pek fazla kullanılmazlar. Genellikle pencere camı ve şişe imali içindir.

**C (Korozyon) Camı:** Kimyasal çözeltilere karşı çok yüksek direnç gösterir. Depolama tanklarında kullanılır.

**E (Elektrik) Camı:** En çok kullanılan takviye elemanı cam elyaf türüdür. İyi bir yalıtıma, düşük su emiş oranına ve düşük maliyet özelliğine sahiptir.

**S (Mukavemet) Camı:** Yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda, iyi bir yorulma direncine de sahip olduğu için havacılık ve uzay endüstrisinde tercih edilir.

Cam lifleri, 1930'lu yıllarda ticari üretime İngiltere'de başlamış fakat 1950'lerin başında yaygın hale gelmiştir. Başlangıçta A-Camı kullanılmış sonrasında bunu E-Camı takip etmiştir (Rosato, 2004). E-Camı en çok kullanılan elyafların başında gelmektedir.

### 2.1.2 Karbon Elyaf

Karbon elyafın ilk üretilme nedeni çok iyi elektriksel iletkenlik özelliğine sahip olmasıdır. Özellikle uçak ve uzay sanayide kendine kullanım alanı bulan karbon elyafı, 1965'ten sonra geliştirilmiş ve günümüzde de cam elyaf en çok kullanılan takviye malzemesi olmasına rağmen sertliğin 3-5 kat artırılması amacı, karbon elyafa gelişmiş kompozit malzemelerde yaygın kullanım alanı açmıştır (Aricasoy, 2006). Karbon elyafı cam elyafa göre daha iyi mekanik özelliklere sahip ve daha hafiftir fakat üretim maliyeti daha yüksektir.

Çok yüksek ısı işlemler uygulandığında karbon elyaf tam manasıyla karbonlaşır ve bu liflere grafit denir (Aricasoy, 2006). Fakat günümüzde artık hem karbon hem grafit aynı malzemeyi tanımlamaktadırlar.

Epoksi matrisler ile kompozit yapıya katıldıklarında, karbon elyaflar olağanüstü sertlik ve dayanıklılık performansı sergilerler. Karbon fiberlerde sürekli bir gelişim söz konusu olduğu için karbon elyaf çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyaf, üretimi maliyetli bir malzeme olduğu için uçak sanayi, spor gereçleri, tıbbi malzemeler gibi üstün özellik gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Bazı üstün karbon elyaf özellikleri;

- Elastisite modülü yüksektir.
- Sıcaklık dayanımı yüksektir.
- Düşük yoğunluktadır.
- Korozyona karşı dayanıklıdır.
- Sertlik bakımından oldukça iyidir.
- Mukavemeti ve yorulma dayanımı gayet iyidir.
- Bütün reçinelerle kompozit yapı oluşturabilirler.



Şekil 2.3: Karbon elyafı örnekleri (Enşici, 2004)

Şekil 2.3'de karbon elyaf örnekleri gösterilmiştir. Karbon elyaf piyasada iki çeşittir (Onat, 2015).

**Sürekli elyaf;** tel bobin, dokuma, örgü olarak bulunurlar ve prepreg ve tek yönlü bantlarda kullanılırlar. Reçinelerin hepsiyle kompozit yapı oluşturabilme özellikleri vardır.

**Kırılmış elyaf;** basınçlı kaplar, enjeksiyon kalıplama, kimyasal ortam ve makine parçalarında kullanılır. Yüksek sertlik ve dayanıklılık özelliklerine sahiptirler.

Karbon elyafı genellikle iki malzemeden elde edilir (Onat, 2015).

Zift tabanlı karbon elyafları daha düşük mekanik özellikleri gösterir. Yapısal uygulamalarda nadir kullanılmaktadır.

PAN (Poliakrilonitrit) tabanlı karbon elyafları daha hafif ve daha sağlamdırlar. Sürekli gelişim halindedirler.

PAN karbon elyafa dönüşürken dört aşamadan geçer.

Oksidasyon, elyafların hava koşullarında 300 derece ısıtıldıkları aşamadır. Bu işlem ile hidrojen atomlarının ayrılıp, uçucu olan oksijen atomlarının eklenmesi gerçekleştirilir. Sonrasında karbonizasyon adımı için kesilen elyaflar grafit teknelere konulur.

Karbonizasyon, yanıcı olmayan hava koşullarında 3000 °C'ye kadar ısıtılan liflerin %100 karbonlaştığı aşamadır. Bu aşamadaki uygulanan sıcaklık, elyafın sınıfını tayin eder. Tablo 2.1'de karbon elyafların ısıl özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Karbon elyafı ısıl özellikleri (Enşici, 2004)

Karbon elyafı sınıfları				
Karbon elyafı sınıfı	Düşük modül	Standart modül	Orta modül	Yüksek modül
Karbonizasyon ısısı (C°)	1000'e kadar	1000-1500	1500-2000	2000
Elastisite modülü (GPa)	200'e kadar	200-250	250-325	325

Yüzey iyileştirme, karbonun yüzey temizleme işleminin yapıldığı aşamadır. Reçine ve elyaf yapıların daha iyi yapışabilmeleri için elyaf elektrolit banyoya yatırılır.

Kaplama, prepreg gibi sonraki işlem basamaklarından korumak için elyafı reçine ile kaplandığı aşamadır.

### 2.1.3 Aramid elyaf

Bir naylon çeşidi olan aromatik polemid'den ismini alan aramid, polimer malzemesi olarak matris yapısının yanında elyaf yapısı olarak da kullanılır. Hafif ve malzemeye mukavemet ve sertlik kazandıran bir malzemedir. Daha çok Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) olarak ticari adlandırılmalarıyla bilinirler. Çeşitli uygulama alanları için farklı özelliklerde birçok örneği mevcuttur (Aricasoy, 2006).

Bazı özellikleri;

- Doğal rengi sarıdır.
- Yoğunluğu düşüktür.
- Dayanıklılığı yüksektir.
- Darbe dayanımı, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, kimyasal dayanımı yüksektir.
- Cam elyafı kompozitlere oranla, aramid elyafı kompozitler %35 daha hafiftir.
- Ultraviyole ışınlarına karşı hassastırlar. Bu ışınlarına maruz kalmalarında bozulma gösterirler. Karanlıkta saklanmaları gerekir.
- Matrisle çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durum, reçine içinde mikroskobik çatlaklara neden olup malzemenin yorulmasında su emişine yol açar.

Bazı kullanım alanları;

- Kurşun geçirmez yelekler, askeri kasklar gibi balistik koruma alanlarında,
- Motosiklet koruma giysileri, eldiven, avcılık giysileri ve aksesuarları gibi birçok koruyucu giysilerde,
- Yatlarda yelken direğinde, yelkenlilerde, teknelerde,
- Hava araçlarının gövde yapısında,
- Endüstri ve otomotivde kemer ve hortumda,
- Yüksek ısı ve basınç şartlarında conta ve salmastra vb. uygulamalarda,
- Fren kampanalarında ve debriyajlardaki sürtünme balatalarında,
- Fiber optik ve elektromekanik kablolarda vb. birçok sektörde kullanılırlar.

#### **2.1.4 Bor elyafı**

Bor elyaflar, ince bir telin (çekirdek) üstünde toplanarak imal edilir. Çekirdek olarak genellikle tungsten kullanılır. Bu sebeple aslında kendi içinde bor elyafı kompozit yapıdadır. Bor-Tungsten elyaflar, hidrojen ve BCl<sub>3</sub> (Bor triklorür) gazlarından sıcak tungsten flamanın geçirilmesiyle elde edilirler. Böylece tungsten flamanın dışında bor plaka elde edilir. Bor elyafları değişik çaplarda (0,05 mm- 0,2 mm) olabilirler. Çekirdek (tungsten) daima 0,01 mm çapındadır (Jones, 2003).

Üstün mekanik özellikli bor elyafları, uçak yapılarında kullanılması amacı ile geliştirilmişlerdir. Ancak, son zamanlarda, maliyetli olmalarından dolayı yerlerini karbon elyafına devretmişlerdir. Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B<sub>4</sub>C) kaplamaları, bor elyaflarının yüksek sıcaklık dayanımlarını artırır. Tablo 2.2’de de çeşitli elyafların bazı mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 2.2:** Elyafların mekanik özellikleri karşılaştırması (Onat, 2015)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E-Camı	2,54	2000	80
S-Camı	2,49	4750	89
Karbon	2,00	2900	525
Kevlar-29	1,44	2860	64
Kevlar-49	1,44	3750	136
Bor	2,68	3450	400

## 2.2 Partikül (Parçacık) Esaslı Kompozitler

Parçacık (partikül) halindeki malzemenin, matris içerisine katılmasıyla elde edilir. Bu tür malzemelerde yükü matris ve elyaf beraber taşır. İztropik (tüm yönlerde aynı malzeme davranışı) özelliktedirler. Metal, polimer ve seramiklerin birleşmesiyle meydana gelebilirler. Kompozit yapının sertliği, parçacık malzemesinin sertliğine bağlıdır. En yaygın türü, metal partiküllerinin plastik matris içerisinde bulunan türüdür. Metal partiküller ısı ve elektrik iletkenliğini gerçekleştirirler. Yüksek sıcaklık dayanımları ve sertlikleri yüksek olan yapı seramik matrisinin metal matris içerisinde bulunduğu yapıdır. Bu tür kompozitlerde dayanım; partiküllerin boyutuna, partiküllerin arası mesafeye, homojen dağılmaya, matris ve partiküllerin özelliklerine bağlıdır. Uçak motoru parçalarının üretiminde kullanılır (Şahin, 2000).

## 2.3 Tabakalı (Lamine) Kompozitler

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birleşmesiyle oluşan bu tür kompozit yapı en yaygın ve eski olan türdür. Bu malzemelerde farklı lif



yönlenmeleriyle oluşan tabakalar çok yüksek mukavemet değeri verir. Isı ve neme karşı dayanıklıdırlar. Hafif, yüksek dayanım ve düşük maliyetlidirler. Yüksek dirençli metal ve plastiklerin kaplanmasıyla korozyona karşı dayanıklılık özelliği, yumuşak metallerin sert malzemelerle kombinasyonuyla aşınma direnci ve sertliği, farklı yönlerde dizilimleriyle tek tabakada çok yönlü yük taşıma özelliği geliştirilebilir (Jones, 2003).

Ayrıca, uçak yapılarında da kullanılan sandviç yapıli malzemelerde tabakalı kompozit yapılaradır. Bu sandviç yapılar, izolasyon özelliğine sahip düşük yoğunluktaki çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemeti karşılayacak levhaların eklenmesiyle oluşturulurlar.

#### **2.4 Polimer Matrisli Kompozitler**

Plastik (polimer), Yunanca 'da istenilen şekli alabilen anlamı taşıyan 'plastikos' kelimesinden gelir. Monomer adındaki küçük moleküllerin birbirine eklenmesiyle ortaya çıkan uzun zincir yapıya (polimer) sahip sentetik malzemelerdir (Smith, 2011).

1900'lerin başlarında gelişime başlayan sentetik plastiklerin, kolay şekillendirilmeleri, düşük yoğunlukları, kaliteli yüzeye sahip olmaları ve korozyon dayanımları gibi etkili faktörlerle 1930'ların sonunda önemli ilerleme kaydetmiştir. Yeterli sertliğe sahip olmamaları ve düşük dayanıklılıktan dolayı 1950'lerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Bu polimer kompozitler yeterli sertlik, dayanıklılık, yüksek mukavemet gibi birçok elverişli özellik kazandırmıştır (Onat, 2015).

Polimerler, üretimleri düşük maliyetli olması, şekillendirilebilir olmaları ve birçok uygun özelliklerinden dolayı pek çok alanda kullanılırlar. Bu polimer esaslı kompozitler, kompozit malzemelerin %90'ında kullanılırlar (Ersoy, 2001). Termoset esaslı polyester ve epoksi reçineler piyasada en uygun kullanımı olan ve en tercih edilen matris malzemeleridir.

Monomerlerin (küçük moleküller), sıcaklık, basınç ve birçok kimyasalın etkisiyle birbirlerine eklenmesi ve polimerlerin (plastik, uzun zincir) oluşması işlemine polimerizasyon denir. Bu polimer molekülleri birçok zincirden meydana gelir. Birleşmiş veya birleşmemiş (termoplastik) veya üç boyutlu çapraz bağlı zincirler (termoset) oluşturabilirler (Yalçın, 2002). Bu termoplastik ve termoset matrisler, yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikleri sergilerler.

#### **2.4.1 Termoset Matrisler**

Kompozit malzeme üretiminde en çok kullanımı olan matrislerdir. Bu plastikler normalde sıvı haldedirler. Kimyasal tepkimelerle ve ısıtılmayla sertleşirler. Böylece sağlam bir yapı ortaya koyarlar. Termoset polimerler için, termoplastiklerin aksine polimerizasyon süreci yeri dönüşümsüz bir işlemdir. Sertleştikten sonra yüksek sıcaklıkta bile yumuşama göstermezler. Bu durumdan dolayı çoğu termoset matrisleri sertleşmesin diye dondurularak depolanır. Termoset reçineler kimyasal etkilere karşı çözünmez ve değişik hava koşullarında bile uzun ömürlü olabilirler (Şahin, 2000).

##### **2.4.1.1 Polyester**

Daha ekonomik olan 'ortaftalık' ve suya dayanımı daha iyi olan 'isofталık' olmak üzere iki türe sahiptir. Özellikle denizcilik ve inşaat sektörlerinde sıkça tercih edilir. Polimerizasyon süreci için katalizör ve hızlandırıcı ek maddelere ihtiyaçları vardır. Polyester reçineler 100 °C sıcaklığın altında mekanik ve kimyasal dayanımları iyidir (Şahin, 2000).

Kolay kullanım, düşük maliyet, sertleşme esnasında yüksek oranda çekme, zehirli sitiren gazı yayma, pürüzsüz yüzey elde etme, orta mekanik özellikler, alkali ve bazik koşullarda düşük korozyon dayanımı, kısa raf ömrü gibi birkaç avantaj ve dezavantaja sahiptir.

### **2.4.1.2 Epoksiler**

Geniş kullanım alanına sahip epoksiler, termoset yapıştırıcı bir reçinedir. Epoksilerin avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Onat, 2015);

Avantajları;

- Yağa, suya, aside ve kimyasallara karşı direnci çok iyidir.
- Islakken 140 °C, kuruyken 220 °C'ye kadar ısı dayanımı vardır.
- Sürtünme ve aşınmaya karşı dayanıklı yüzeyler meydana getirir.
- Mekanik özellikleri gayet iyidir
- Cam ve karbon elyaflarıyla çok iyi mekanik özelliklere sahip kompozit oluştururlar.

Dezavantajları;

- Yüksek maliyetlidirler.
- Cilde zararlıdır.
- Doğru karışım son derece önemlidir.

Havacılık, ulaşım, spor, deniz ve askeri araçlarda geniş kullanım alanına sahiptir.

### **2.4.1.3 Vinilester**

- Kimyasal / çevresel dayanımları yüksektir.
- Polyestere göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptir.

### **2.4.1.4 Fenolikler**

- Ateş dayanımı yüksektir.
- Maliyeti düşüktür.
- Yaş haldeyken zararlıdır.
- Kırılgan ve yüzey kaliteleri düşüktür.

- Uçakların iç bölümlerinde, deniz araçları motorları ve demiryollarında kullanılırlar.

#### **2.4.1.5 Silikon**

- Ateş dayanımı yüksektir.
- Kür işlemi sırasında yüksek ısı gerektirir.

#### **2.4.1.6 Poliamidler**

- Piyasada naylon olarak bilinirler.
- Petrol hammaddesidir.
- Naylon elyafın polyestere göre daha sağlam olması, bu elyafı ön plana çıkarmıştır.
- Poliamid 6 ve poliamid 6.6, bugüne kadar en fazla bilinen naylon elyaflardır

#### **2.4.1.7 Poliüretan**

- Üretanı (reaksiyon ürünü), hidroksil grupları ve izosiyonat arasında tekrarlar halinde kapsayan polimere 'Poliüretan' denir.
- İlk olarak 1937 yılında, Otto Bayer ve arkadaşları tarafından bulunmuştur.
- Kırılacak malzemelerin ve mobilya gibi eşyaların taşınmasında, ısı ve ses izolasyonunda poliüretan köpük kullanımı yaygındır. Uçak kanatlarının yapısında sert poliüretan köpükler kullanılır.

#### **2.4.2 Termoplastik Matrisler**

Soğukta (düşük sıcaklıkta) sertleşen, ısıtıldıklarında yumuşayan matris türlerindedir (Şahin, 2000). Matris olarak kullanımları termoset matrislere göre daha azdır. Bazı avantajları;

- Hammaddesinin raf ömrü uzundur.
- Geri dönüşüm kabiliyetleri vardır ve işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilirler.
- Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastikler, soğutucu gerektirmeden depolanabilir.
- Sertleşmeleri için organik çözücülere ihtiyaç duymazlar.
- Yüksek sertlik özelliğine sahiptirler.

Bazı dezavantajları;

- Matris olarak kullanımı zor ve maliyetlidir.
- Oda sıcaklığında işlenmeleri zordur.
- Termosetlere oranla hammaddeleri daha maliyetlidir.

Tablo 2.3’de bazı termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları gösterilmiştir.

**Tablo 2.3:** Bazı termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları (Aricasoy, 2006)

Malzeme	Erime Sıcaklığı Aralığı (°C)	Maksimum İşlem Sıcaklığı (°C)
PP	160-190	110
PA	220-270	170
PES- poli eter sülfün	-	180
PEI- polieterimid	-	170
PAI- poliamid imide	-	230
PPS- polfenilen sülfid	290-340	240
PEEK- polieter eter keton	350-390	250

## 2.5 Metal Matrisli Kompozitler

Birleştirilen iki veya daha fazla malzemenin, en az birisinin metal olmasıyla elde edilen malzemelere metal esaslı kompozit malzeme denir. Alaşımlarla kazanılamayan özellikleri elde etmek için sürekli veya kısa fiber, whisker veya

partikül halinde takviye fazında metal matrisin içinde yer alırlar. Bu kompozitler otomotiv, uzay, havacılık gibi alanlarda kullanılırlar (Onat, 2015).

Bazı avantajları;

- Spesifik mukavemetlidir. (Yüksek mukavemet / yoğunluk oranı)
- Spesifik modüllüdür. (Yüksek elastiklik modülü / yoğunluk oranı)
- Mukavemetini yüksek sıcaklıklarda dahi muhafaza edebilme kabiliyeti vardır.
- Termal genleşme katsayısı düşük ve aşınma direnci iyidir.

Bazı dezavantajları;

- Sünekliği, metal yapılara göre belli oranda azalır.
- Her elyaf ile iyi bir kompozit oluşturmazlar.
- Her elyaf ile iyi ara yüzey oluşturmadıkları için kompozit üretimi zor ve pahalı işlemdir.

Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Zn ve Co gibi metaller ve alaşımları, genellikle matris yapısı olarak kullanılmaktadır. SiC (Silisyum Karbür), karbon, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alümina), TiC (Titanyum Karbür) ve bor gibi maddeler takviye malzemesi olarak kullanılırlar.

## 2.6 Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımları vardır ve düşük yoğunluğa (hafiflik) sahiptir. Seramik malzemeler sertlik ve kırılma, çok düşük kopma uzaması, düşük tokluk ve termal şok direncinin az olması gibi özelliklerinden dolayı liflerle takviye edilerek iyileştirilirler (Onat, 2015).

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, B<sub>4</sub>C, TiC, TiN, TiB, AlN ve CBN bileşikler bazı seramik malzeme örnekleridir. Bu bileşikler biri ya da birkaçının birlikte kullanımıyla seramik matrisli kompozitler meydana gelir. Sandviç zırhlar, uzay araçları, çeşitli askeri parçaların imali gibi başlıca kullanım alanları vardır.

Seramik matrise seramik, cam ve karbon fiberlerin ilavesiyle oluşan kompozit yapıların elastiklik modülü ve çalışma sıcaklıkları çok yüksektir. Seramik fiberlerin seramik matrislere ilavesiyle de mukavemet ve tokluk artar.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Kompozit Plaka Üretimi

Bu tez kapsamında kompozit plakaların üretimi için UD (Uni Directional) karbon elyaf kullanılmıştır. Matris malzemesi için; epoksi reçine olarak Polires 840 ve sertleştirici olarak da Polidur 875 kullanılmıştır. Bu karbon elyaf kompozit plakalar el yatırma yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiştir.

İlk aşama olarak Şekil 3.1’de görülen karbon elyaf rulodan tabakalı kompozit plaka üretimi için 300 mm x 300 mm boyutlarında kumaş kesimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1: Karbon elyaf rulo

Fırında yaklaşık 80°C sıcaklıkta ısıtılan epoksi reçine ile sertleştirici 1/0,8 oranında karıştırılarak matris malzemesi hazırlanmıştır. Matris malzemesi belirlenmiş açılardaki karbon elyaf tabakaları arasına sürülerek katkısız kompozit plakalar üretimi gerçekleştirilmiştir. Katkılı kompozit plakaların hazırlanmasında matris malzemesine ağırlıkça belirlenen oranlarda nano boyutta katkı malzemeleri eklenmiş ve Şekil 3.2’de görülen Hielscher UP400S marka ultrasonik karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra karbon elyaf kumaşlara uygulanmıştır. Bu karışım esnasında ise beherglas içinde matris malzemesine nano partikül karışımı sırasında, ısınma ve bu



ısınmadan kaynaklanan epoksi reçinede gerçekleşebilecek sertleşmeyi önlemek için Labo CH750 marka soğutucu kullanılmıştır.



**Şekil 3.2:** Hielscher UP400S Ultrasonik Karıştırıcı ve Labo CH750 Soğutucu

Kullanılan nano partikül malzemeleri Ege Nanotek Kimya Sanayi Ltd. Şti. firması tarafından temin edilmiştir. Reçine ve sertleştiriciye katılan nano partiküller ve oranları;

- Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp (ÇDKNT) için %0,1- 0,3- 0,5- 1,0
- SiC için %0,1- 0,3- 0,5- 1,0
- NiO için %0,1- 0,3- 0,5- 1,0
- Nano Kil için %0,1- 0,3- 0,5- 1,0- 2,0'dir.

**Tablo 3.1:** Katkı malzemelerinin özellikleri

Katkı Malzemesi	Safılık (%)	Kalınlık (nm)	Renk
ÇDKNT	95	10-20	Siyah
SiC	99	40	Krem
NiO	99	30	Siyah
Nano kil	99	30	Beyaz

Tablo 3.1'de özellikleri verilen ve Şekil 3.3'de gösterilen nano partiküller reçine ve sertleştiriciyle birlikte karıştırıldıktan sonra bu karışım, mermer üstüne serilmiş ısıya dayanıklı şeffaf naylona üretilecek plakanın boyutlarında sürülmüştür. Kesilen elyaf kumaşlar açalarına ve boyutlarına göre bu reçinenin üstüne

yerleştirilmiştir. Sonra tekrar reçine sürülmüştür. İstenilen tabaka sayısı kadar bu işlem uygulandıktan sonra üzeri şeffaf naylon katlanıp kapatılıp fazla reçineyi dışarı atmak ve hava kabarcığı kalmasını önlemek için üstüne ön baskı kuvveti uygulanmıştır. Bu kullanılan yöntem Şekil 3.4’de gösterilen el yatırma yöntemidir.



**Şekil 3.3:** Kompozit plaka üretiminde kullanılan nano partiküller (ÇDKNT, SiC, NiO, Nano Kil)

Yedi tabakadan oluşan kompozit plakada kullanılan açılar [ $0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 0^\circ / -45^\circ / +45^\circ / 0^\circ$ ] olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.4:** Rulolama ve elyaf yatırma işlemi

Bu işlemlerden sonra reçine sürülmüş tabakalı plakalar sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Presleme işlemi 6-7 bar basınç ve  $135^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 2-3 saat sürecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Kompozit plakalar Şekil 3.5’de gösterilen sıcak presleme işleminden çıkarıldıktan sonra elyaf dışındaki bölgelerde kalan reçine artıkları temizlemek için çapak temizleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemden sonra kompozit plakaların üretimi tamamlanmış ve deney numuneleri kesimi için uygun hale gelmiştir. Kompozit plakaların üretimi için Meduza Carbon Products / İzmir firması olanakları kullanılmıştır.



Şekil 3.5: Sıcak presleme ve çapak temizleme işlemi

### 3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması

Üretilen kompozit plakalardan Şekil 3.6'da gösterilen su jeti ile ASTM-D3039/D/D3039M standartlarına uygun biçimde 2,25 mm kalınlığında, 250 mm x 15 mm ölçülerinde deney numuneleri kesilmiştir.  $[0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 0^\circ / -45^\circ / +45^\circ / 0^\circ]$  oryantasyonunda aynı katkı oranına sahip her bir plakadan dört numune kesilmiştir. Kompozit numuneler su jeti ile kesimden sonra iyice temizlenip kurulandıktan sonra parametrelerine göre gruplandırılmıştır.



Şekil 3.6: Su jeti ile kompozit plaka kesimi ve deney numunelerinin sınıflandırılması

Tek eksenli çekme cihazına ait çenelerin deney numunelerini kavrayabilmeleri ve çene hasarı oluşmasını engellemek için test numunelerine uygun biçimde 15 mm x 55 mm boyutlarında pabuçlar kesilip test numunelerine yapıştırılarak test numuneleri, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi çekme testi deneyi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.7: Çekme testi için hazır numune örneği

### 3.3 Deney Numunelerinin Çekme Testlerinin Yapılması

Deney aşamasında, hazırlanan numunelerin çekme testini yapmak için Şekil 3.8’deki INSTRON 8801 servo hidrolik test cihazı kullanılmıştır. INSTRON 8801 test cihazının çekme kapasitesi  $\pm 50$  kN, hidrolik basıncı kapasitesi 207 bar’dır. Çene genişliği 50 mm çene yüksekliği 55 mm’dir. Deney numuneleri hazırlanan aparat ile çenenin ortasına merkezlenerek yerleştirilmiştir. Numune sabitlendikten sonra monotonik statik çekme testi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

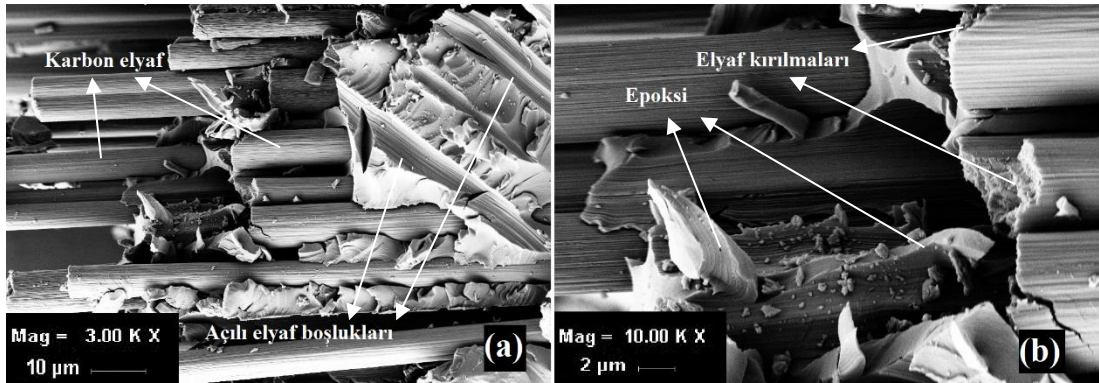


Şekil 3.8: INSTRON 8801 servo hidrolik test cihazı ve örnek test numuneleri



### 3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

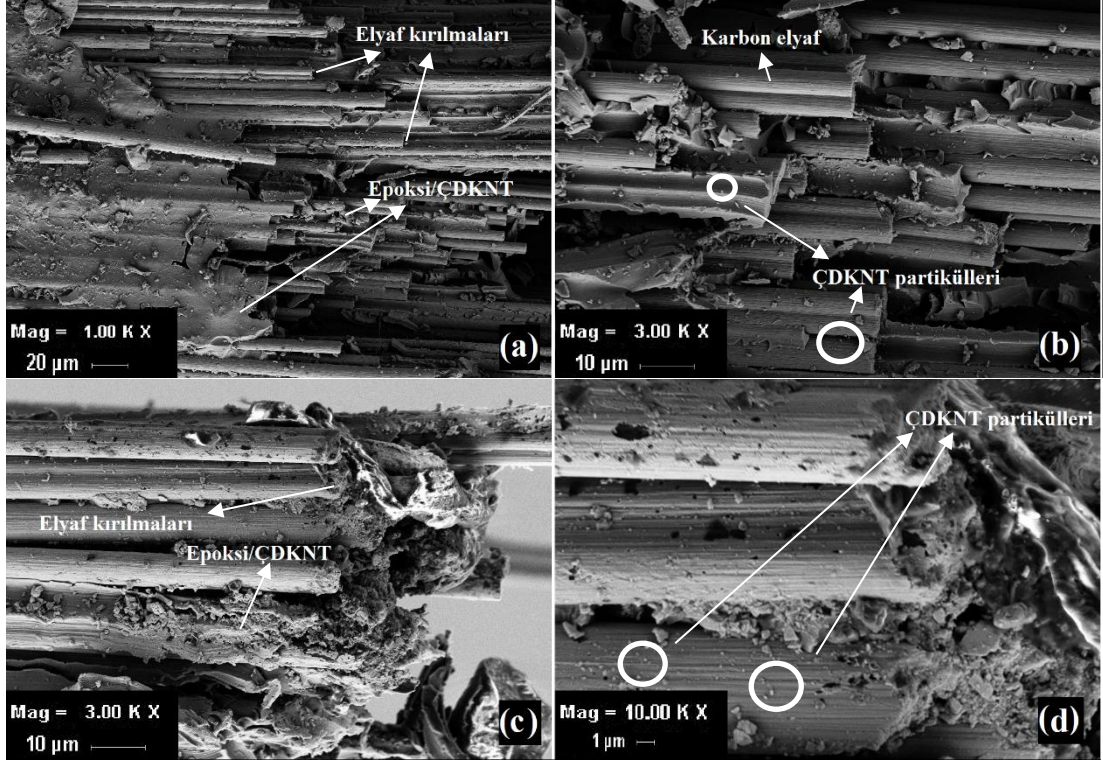
Çekme deneyleri yapılan kompozit numunelerinin, deney sırasında kopan, hasarlı bölgelerinden alınan parça üzerinde SEM analizleri yapılmıştır. Hasar bölgelerinden alınan parçaların yüzeyi Pamukkale Üniversitesi Merkez Laboratuvarları bünyesinde bulunan Quorum 150R ES cihazıyla altın bileşimi ile kaplanmıştır. Kaplama işleminden sonra ZEISS SUPRA 40VP taramalı elektron mikroskobu ile kompozit numunelerin iç yapı görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.9: a) x3000 b) x10000 büyütme oranlarında katkısız numunelerin iç yapı SEM görüntüleri

Şekil 3.9'daki katkısız karbon elyaf kompozitin x3.000 ve x10.000 büyütmelerindeki SEM görüntülerinde çekme deneyi sırasında kopan numunenin hasar bölgeleri görülmektedir. Deney sırasındaki elyafların kopmalarının yarattığı hasara rağmen epoksi ve karbon elyaflar arasındaki homojen dağılım görülmektedir. Katkılı kompozit numunelere göre katkısız kompozit numunede karbon elyafların yapışma yüzeyi daha pürüzsüzdür. Hasar oluşumunun lif ve epoksi kopması şeklinde gerçekleştiği görülmektedir.

Çok duvarlı karbon nano tüp katkılı karbon elyaf kompozit numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Çekme deneyindeki kopmayla oluşan hasar bölgesinde görüldüğü gibi ÇDKNT partikülleri homojen olarak dağılarak dağılmış ve epoksi ile karbon elyaf arasındaki bağı güçlendirmiştir. Bu sayede yapışma yüzeyindeki bağ kuvvetinin artmasıyla ÇDKNT katkısı karbon elyaf kompozit malzemelerde mukavemeti arttırmıştır. ÇDKNT partiküller %0,5 oranına kadar çekme mukavemetini arttırmışlardır.

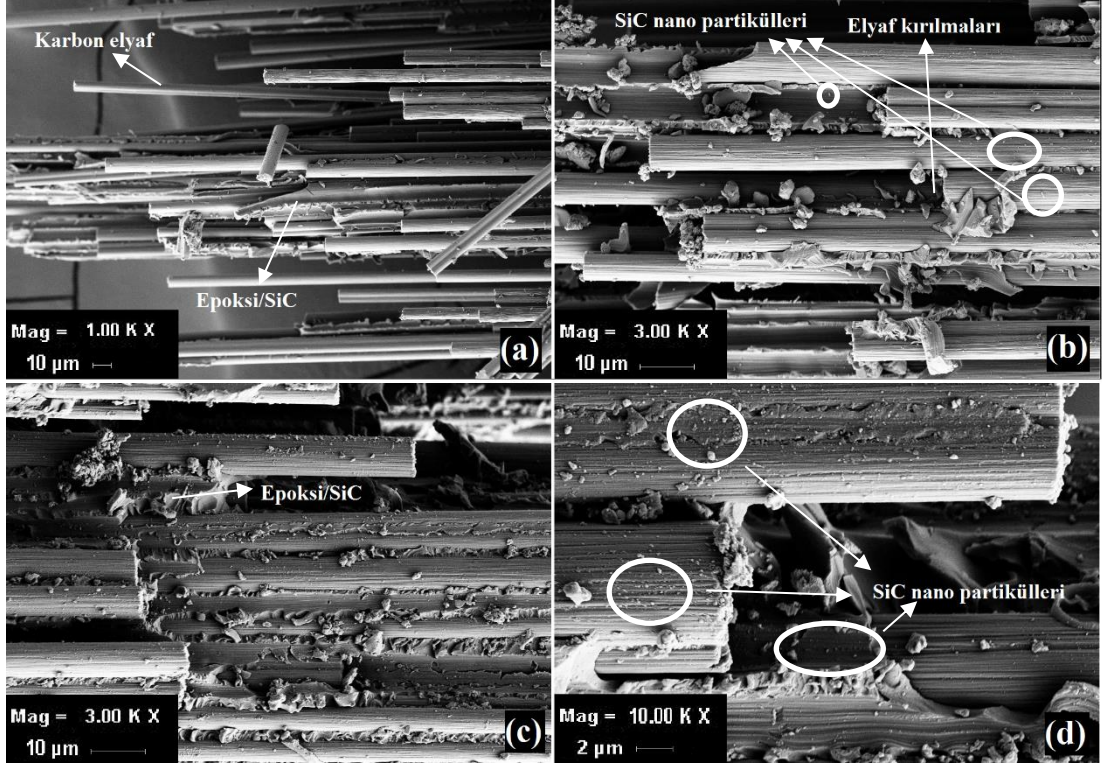


Şekil 3.10: a,b) %0,5 ÇDKNT b,c) %1,0 ÇDKNT katkılı numunelerin SEM görüntüleri

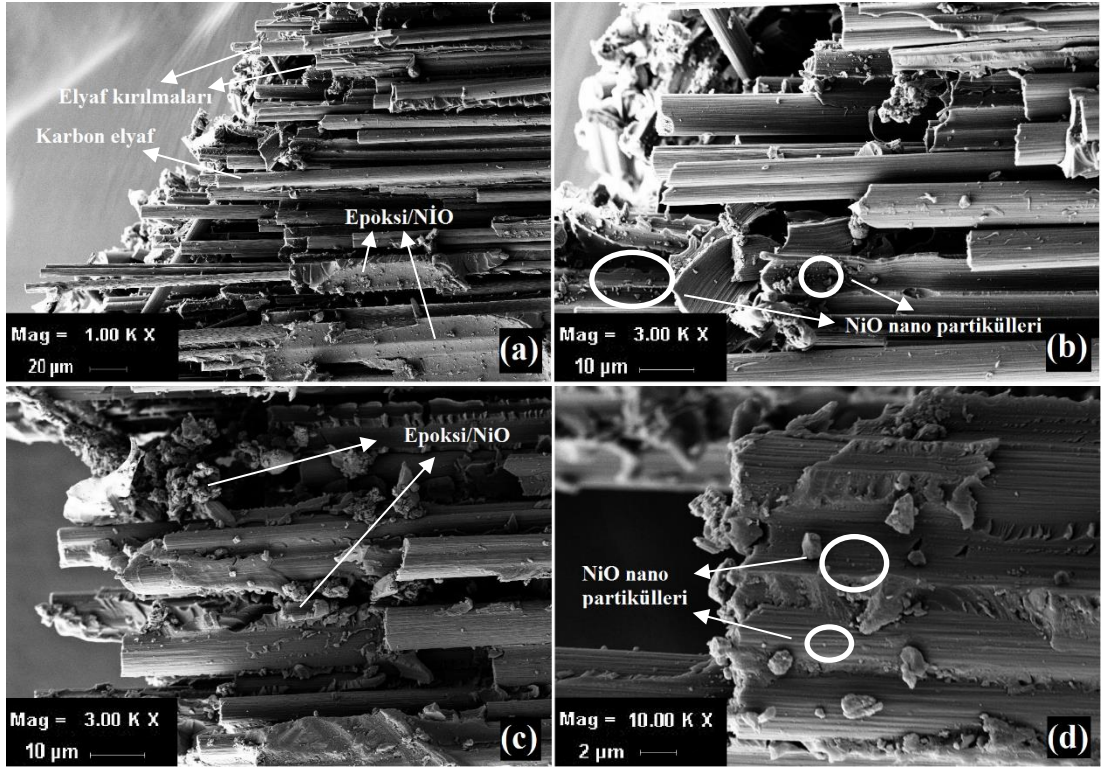
%0,5 ÇDKNT katkısı durumunda maksimum çekme dayanımı elde edilmiştir. ÇDKNT katkısı %0,5 oranını geçtiğinde ilave edilen nano partiküller reçine-elyaf arasındaki bağa ilave bir katkı sağlayamamasına rağmen, katkılı kompozit malzeme dayanımının katkısız numuneye göre daha iyi düzeyde olduğu görülmüştür.

Şekil 3.11'de SiC katkılı karbon elyaf kompozit numunelerin iç yapıları görülmektedir. SiC nano partikülleri homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. İlave edilen SiC nano parçacıkları reçine-elyaf arası bağa olumsuz yönde etki ederek malzemeyi gevrekletirmiştir. Özellikle Şekil 3.11c'de görüldüğü üzere epoksida çok fazla parçalanma meydana gelmiştir. Katkısız kompozit numunelere göre SiC nano partikül takviyesi mukavemeti önemli ölçüde azaltmıştır. SiC nano partikülünün %0,1'lik kullanımından %1,0'lik kullanımına kadar partikül oranındaki artış epoksi ve karbon elyaf arasındaki bağa daha da kötüleştirecek mukavemetin azalmasına sebep olmuştur.

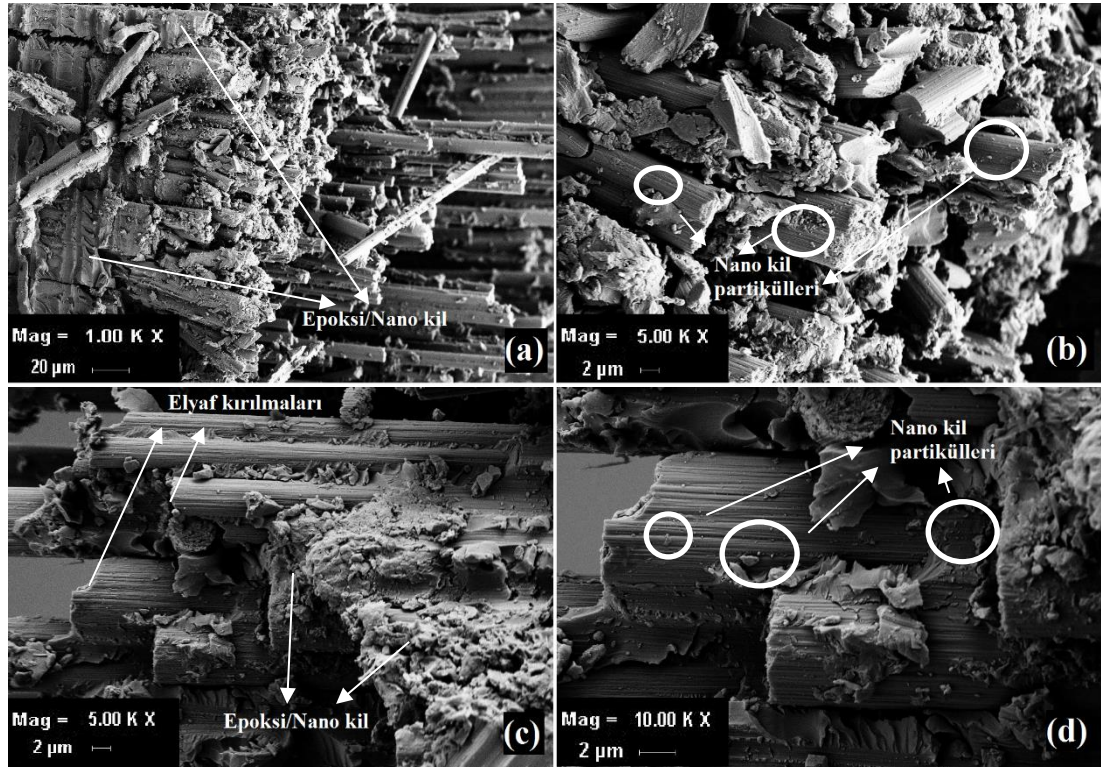




NiO nano partikülleri Şekil 3.12'deki hasar bölgesinde de görüldüğü gibi homojen bir dağılım göstermektedir.



Epoksi ile karbon elyaf arası yapışma yüzeylerinde, NiO nano partikülleri reçine-elyaf arası bağları güçlendirerek karbon elyaf kompozitin mukavemetini arttırmıştır. Ağırlıkça %0,3 NiO nano partikül takviyesi yapıldığında maksimum çekme dayanımına ulaşılmıştır. %0,3 oranının üzerinde takviye yapılması, matris tabakası üzerinde mukavemet artışı sağlayamamıştır. Ancak katkısız numuneye göre dayanım değerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.13: a,b) %0,3 Nano Kil katkılı c,d) %2,0 Nano Kil katkılı numunelerin SEM görüntüleri

Şekil 3.13’de çekme deneyinde kopan nano kil katkılı kompozit numunelerin SEM ile elde edilen iç yapı görüntüleri görülmektedir. Hasar bölgelerinde de görüldüğü gibi nano kil partikülleri homojen bir dağılım sergilemiştir. Nano kil partikülleri reçine-elyaf arası bağı güçlendirmiş ve bu sayede mukavemete olumlu yönde etkisi olmuştur. En yüksek etkiyi %0,3’lük oranda sağlarken %1,0 kullanıma kadar epoksi ile karbon elyaf arasındaki bağı olumlu etkileri olmuştur. Ağırlıkça %2,0 nano kil takviyesi durumunda kompozit malzemenin dayanımının, katkısız numuneye göre düşük olduğu görülmüştür. Takviye oranının artmasının, matris tabakası üzerinde çentik/boşluk etkisi yaratarak kopmayı hızlandırdığı değerlendirilmiştir.



## 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

[0° / +45° / -45° / 0° / -45° / +45° / 0°] oryantasyon açısına sahip karbon elyaf kompozit plaka arasındaki matris tabakası/reçine içerisine ağırlıkça, %0,1-0,3-0,5-1,0 oranlarında çok duvarlı karbon nano tüp (ÇDKNT), %0,1-0,3-0,5-1,0 oranlarında SiC, %0,1-0,3-0,5-1,0 oranlarında NiO ve %0,1-0,3-0,5-1,0-2,0 oranlarında nano kil katkısı eklenerek beş farklı özelliğe sahip tabakalı kompozit plaka numune üretilmiştir.

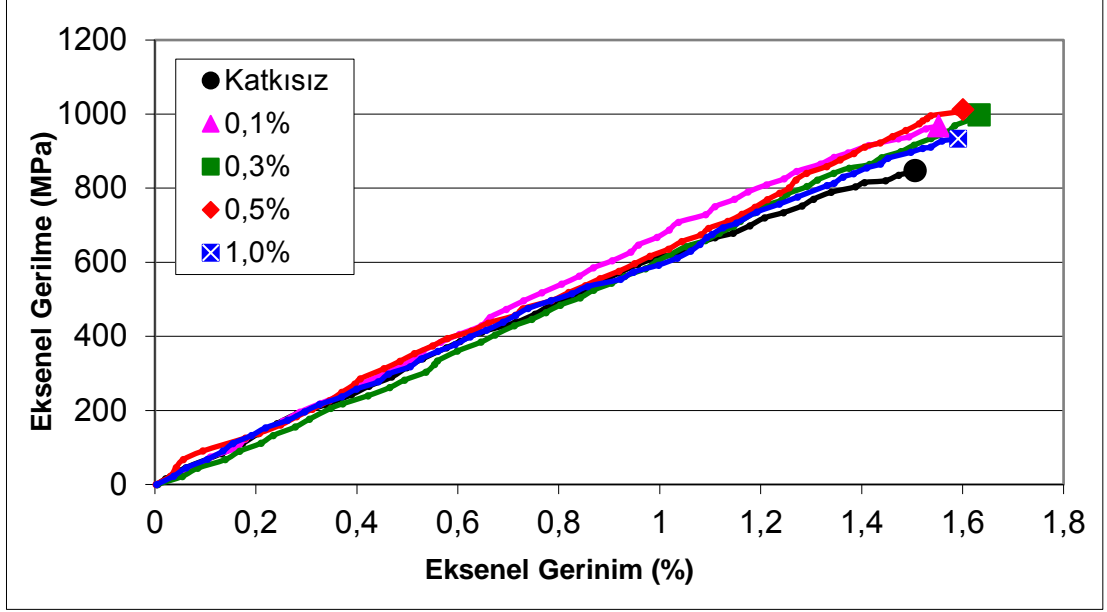
Aynı özelliklere sahip en az üç farklı numunenin monotonik artan eksenel çekme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınarak tablolar oluşturulmuştur. Aynı orana sahip farklı üç numunenin deney sonuçlarında çok farklı veri elde edilmesi durumunda hatalı olduğu düşünülen numunenin yerine dördüncü numune çekme deneyine tabi tutulmuştur. En iyi üç deney sonuçlarının ortalamasının alınmasıyla daha iyi deney sonuçları elde edilmiştir.

### 4.1 Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp (ÇDKNT) Katkısı

Karbon elyaf kompozit malzemesine %0,1-0,3-0,5-1,0 oranlarında ağırlıkça ÇDKNT katkılarının çekme dayanımına etkisi Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

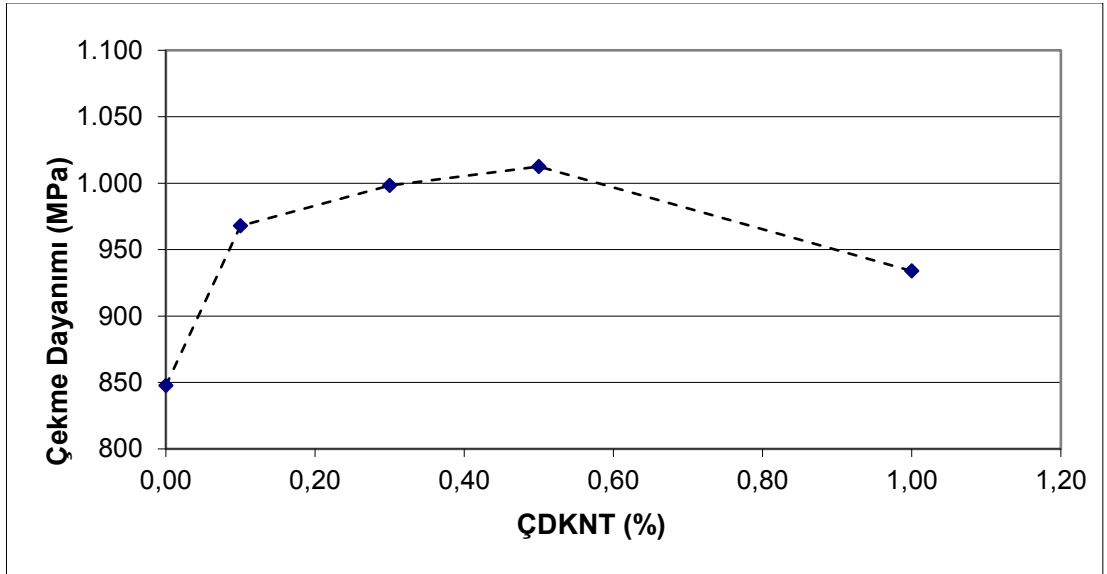
**Tablo 4.1:** ÇDKNT katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

ÇDKNT Katkı Oranları (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
0	847
0,1	968
0,3	998
0,5	1012
1,0	933



Şekil 4.1: ÇDKNT katkılı/katkısız kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı

Şekil 4.1’de ÇDKNT katkılı ve katkısız numunelerin çekme aksel gerilme-gerinim davranış grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.2: ÇDKNT katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Uygulanan deneylerin sonucunda ÇDKNT katkısının düşük oranlarda mukavemete artırıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi katkısız numuneye oranla %0,3 ve %0,5 ÇDKNT katkısı, çekme mukavemetinde sırayla %18 ve %20’lik artışlara neden olmuştur. Optimum kullanım değeri %0,5 olup, maksimum mukavemet değeri de bu oranda elde edilmiştir. Kullanılan

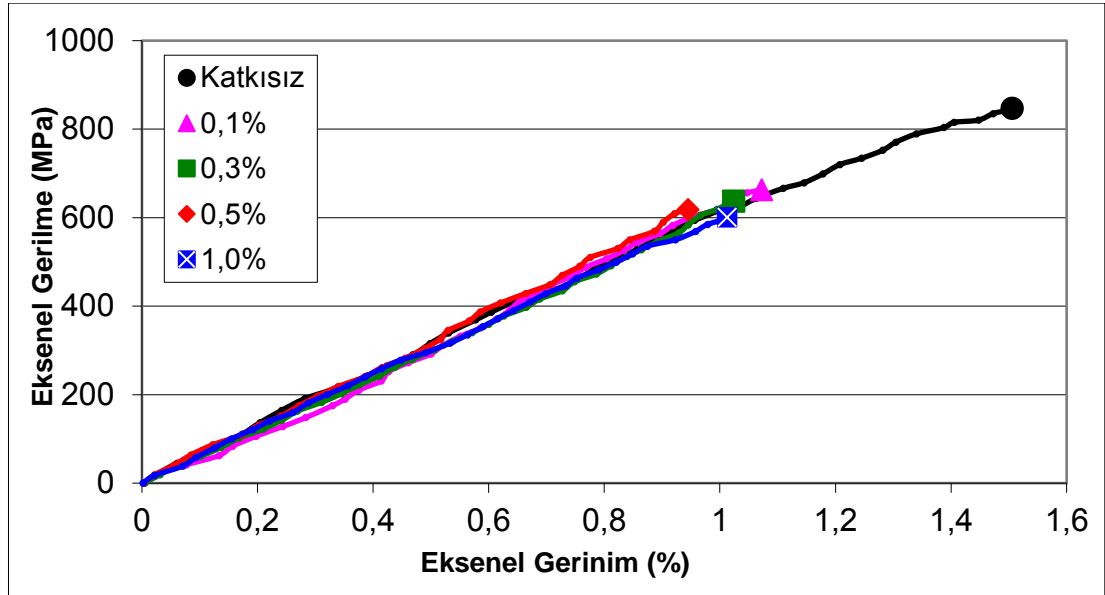
oranlarına göre; %0,5'e kadar olan katkı oranı kullanımlarında çekme dayanımında olumlu sonuçlar gözlemlenmiş ağırlıkça %0,5'den fazla karbon nano tüp kullanımında mukavemetin azaldığı gözlemlenmiştir.

#### 4.2 Silisyum Karbür (SiC) Nano Partikül Katkısı

Karbon elyaf kompozit malzemesine ağırlıkça %0,1-0,3-0,5-1,0 oranlarında silisyum karbür (SiC) katkılarının çekme dayanımına etkisi Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

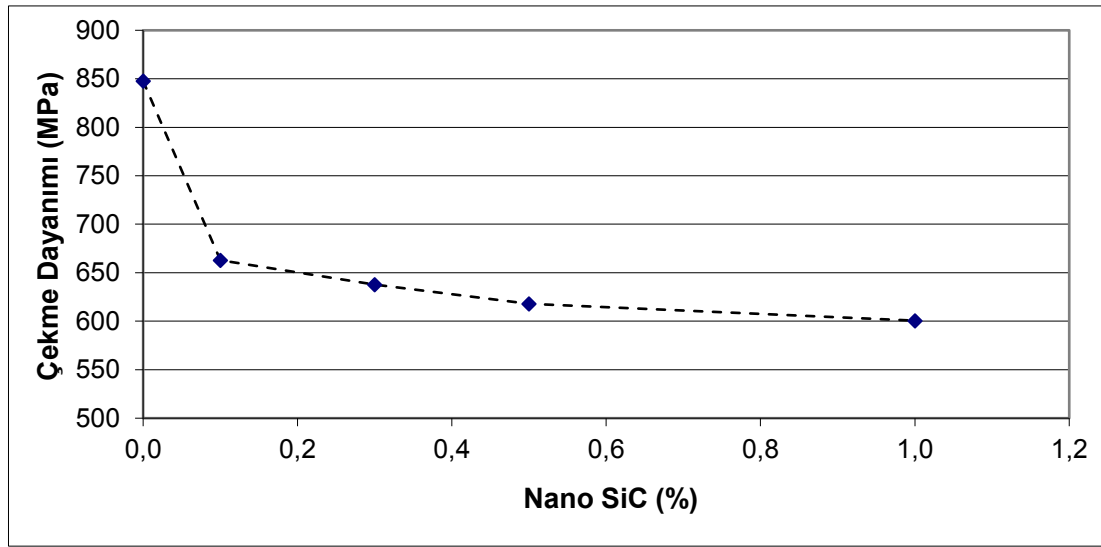
**Tablo 4.2:** SiC katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

SiC Katkı Oranları (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
0	847
0,1	662
0,3	637
0,5	617
1,0	601



**Şekil 4.3:** SiC nano partikül katkılı/katkısız kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı

Şekil 4.3'de SiC katkılı ve katkısız numunelerin çekme eksenel gerilme-gerinim davranış grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Nano SiC katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi katkısız numuneye oranla SiC katkı malzemesinin mukavemette düşürücü bir etkisi olmuştur. Kullanılan katkı oranı arttıkça kompozit plakanın çekme dayanımı azalmıştır. Katkısız numuneye göre %0,1 katkı oranı mukavemeti %22 azaltırken, %1,0 katkı oranı mukavemeti %30 azaltmıştır.

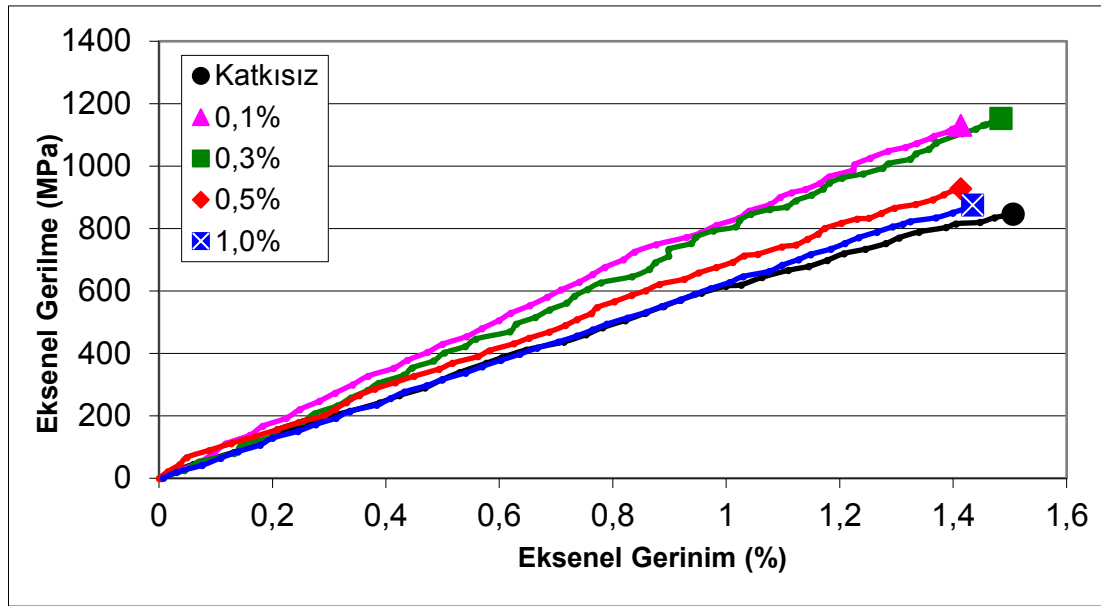
Şekil 4.3'de görüldüğü gibi katkısız numuneye göre SiC partikül takviyesi kopma gerinim değerlerini de azaltmış, numuneyi daha gevrek hale getirmiştir.

### 4.3 Nikel Oksit (NiO) Nano Partikül Katkısı

Tablo 4.3: Nikel Oksit katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

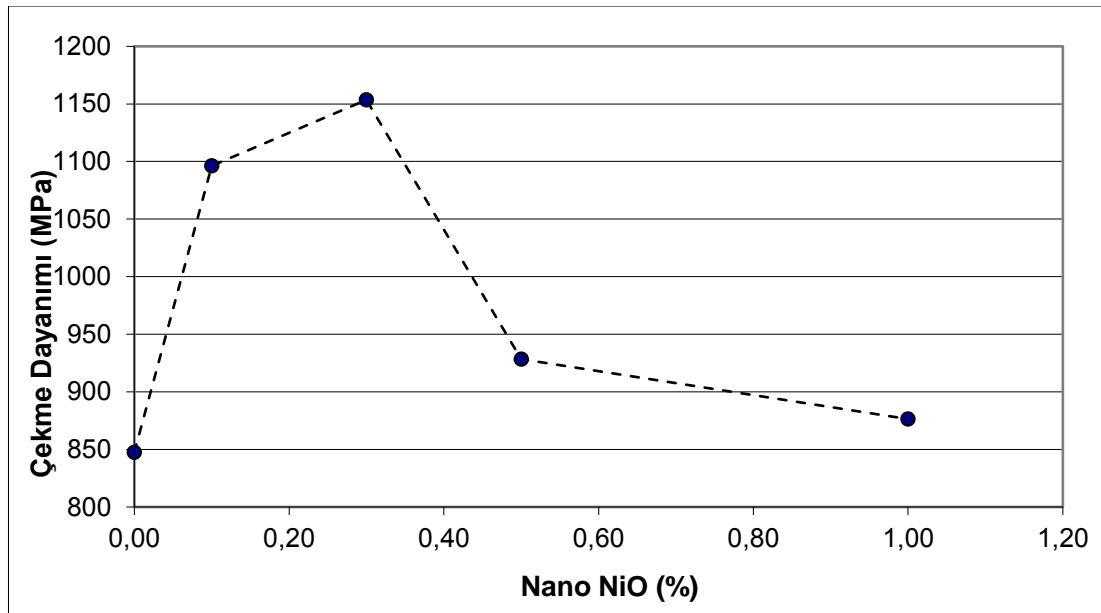
NiO Katkı Oranları (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
0	847
0,1	1096
0,3	1153
0,5	928
1,0	876

NiO nano katkı malzemesinin %0,1-0,3-0,5-1,0 oranlarında karbon elyaf kompozit malzemesine katkıların çekme dayanımı sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.5: NiO nano partikül katkı/katkısız kompozitlerin eksenel gerilme gerinim davranışı

Şekil 4.5’de NiO katkılı ve katkısız numunelerin çekme eksenel gerilme-gerinim davranış grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Nano NiO katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Çekme deneylerin sonucunda NiO katkısının düşük oranlarda mukavemete artırıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi katkısız numuneye oranla %0,1 ve %0,3 NiO katkısı, çekme mukavemetinde sırayla %29 ve

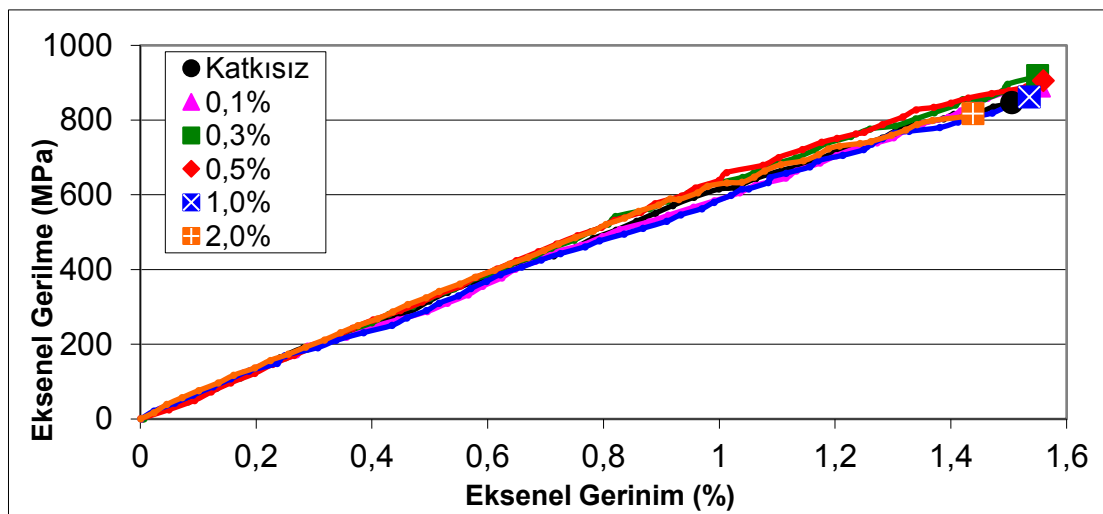
%36'lük artışlara neden olmuştur. Optimum kullanım değeri %0,3 olup, maksimum mukavemet değeri de bu oranda elde edilmiştir. Kullanılan oranlarına göre; %0,3'e kadar olan katkı oranı kullanımlarında çekme dayanımında olumlu sonuçlar gözlemlenmiş %0,3'den sonraki kullanımlarında mukavemette azalma gözlemlenmiştir.

#### 4.4 Nano Kil Partikül Katkısı

Nano kil katkıli kompozit numunelerin aksel çekme testi sonuçlarında deney sonuçları Tablo 4.4'de verilmiştir.

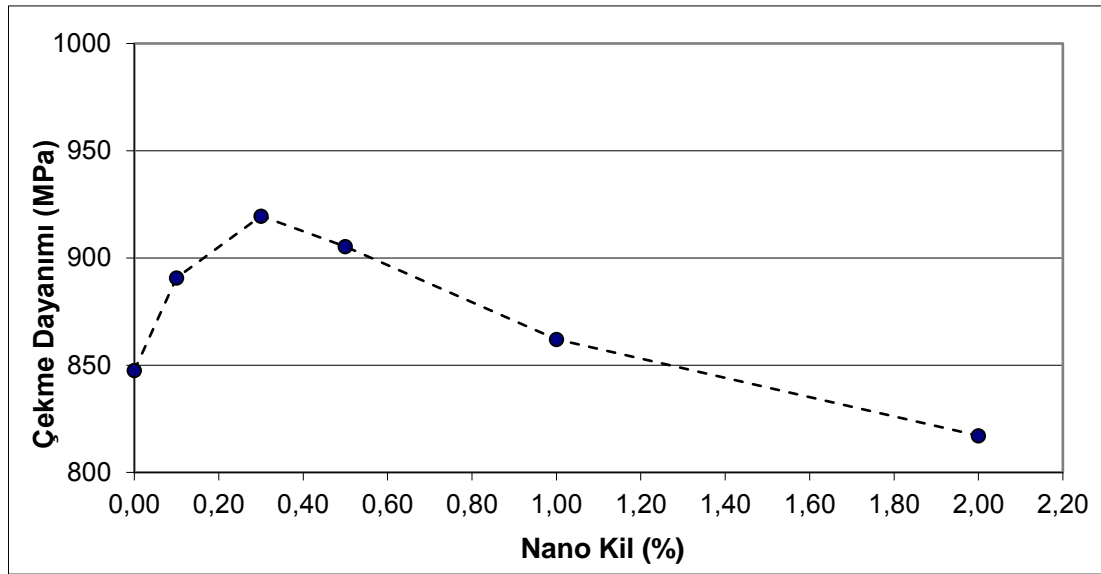
**Tablo 4.4:** Nano kil katkıli numunelerin çekme dayanımı sonuçları

Nano Kil Katkı Oranları (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
0	847
0,1	890
0,3	919
0,5	905
1,0	862
2,0	817



**Şekil 4.7:** Nano kil katkıli/katkısız kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı

Şekil 4.7’de Nano kil katkılı ve katkısız numunelerin çekme eksenel gerilme-gerinim davranış grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Nano Kil katkılı kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi katkısız numuneye oranla nano kil katkı malzemesinin kopma mukavemetine düşük oranda pozitif bir etkisi olmuş ancak kullanılan oran arttıkça etkisi negatif yönde değişmiştir. Katkısız numuneye göre ağırlıkça %0,3 ve %0,5 nano kil takviyesi çekme mukavemeti sırayla %8 ve %6 arttırırken, %2,0 nano kil takviyesi çekme dayanımını %4 oranında azalttığı görülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nano partikül katkılarının karbon elyaf kompozit malzemelerde çekme dayanımları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar ve değerlendirme bölümünde ÇDKNT, SiC, NiO ve nano kil katkı malzemelerinin sonuçları verilmiştir.

Katkısız numuneye karşılaştırıldığında ÇDKNT ve NiO kopma dayanımında önemli bir artışa, SiC ise azalmaya neden olmuştur. Nano kil düşük oranlarında artış sağlarken %2,0'lik oranından sonra azalmaya sebep olmuştur. NiO katkısı kopma dayanımında maksimum %36'lık artışa, ÇDKNT katkısı maksimum %20'lik artışa ve nano kil katkısı maksimum %8 artışa neden olmuştur. NiO nano partikülü kendi içinde %0,3'lük kullanımıyla kopma mukavemetinde en yüksek artışı sağlarken ÇDKNT katkısı kendi içinde %0,5'lik kullanımıyla en yüksek artışı sağlamıştır. %1,0 SiC katkısı kopma dayanımında %30'luk azalmaya neden olmuştur. SiC nano partikülü kendi içinde %1'lik kullanımıyla kopma mukavemetinde en önemli düşüşe neden olurken nano kil partikülü kendi içinde %2'lik kullanımıyla kopma mukavemetinde düşüşe neden olmuştur.

Bu tez çalışmasında incelenen katkı malzemelerinin etkileri göz önüne alındığında NiO katkı malzemesinin diğerlerine göre daha yüksek oranda arttırdığı görülmektedir. NiO nano partikül katkısının kopma dayanımında arttırıcı özelliğinden verimli bir şekilde yararlanmak için en uygun kullanım miktarının %0,3 olduğu görülmektedir. Bu orandan daha yüksek oranlardaki kullanımı, kompozit malzeme dayanımında katkısız numuneye göre önemli bir artış göstermediği değerlendirilmiştir.

ÇDKNT katkı malzemesinin karbon elyaf kompozit malzeme üzerinde mukavemette arttırıcı özelliği olmuştur. 4 farklı oran için yapılan deneysel çalışmaların doğrultusunda %18 ve %20'lük mukavemet arttırma oranları ile sırasıyla %0,3 ve %0,5'lik oranlarda kullanımlarının en uygun olduğu değerlendirilmiştir.



SiC katkı malzemesinin karbon elyaf kompozit malzeme üzerinde kopma dayanımını azaltma etkisinin yanı sıra kopma gerinim değerlerine göre kompozit malzemeyi daha gevrek yapmıştır.

Nano kil katkı malzemesi, kullanımı katkısız duruma göre bir miktar mukavemeti arttırmıştır. Kendi içinde %0,3'lük kullanımı en uygundur. Fakat, deneysel sonuçlarda da belirtildiği gibi kullanılan en yüksek katkı oranında mukavemet negatif etkilenmiştir.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, ağırlıkça değişik oranlarda 4 farklı nano partikül katkısının, tabakalı karbon kompozit sandviç malzemelerin mukavemet özellikleri hakkında bilgi literatüre kazandırılmıştır. Özellikle NiO partikül katkısı ile ilgili bilgi literatürde bulunmamaktadır. Tez çalışması ile bu boşluk doldurulmaya çalışılmıştır.

Tabakalı karbon elyaf kompozite ilave edilen NiO ve ÇDKNT nano parçacıklarının, çekme dayanımlarına önemli etkilerinden dolayı kompozit malzemelerde yorulma dayanımına etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

Kompozit malzemeye ilave edilen NiO katkı malzemesi ile kompozit malzemenin elektriksel ve manyetik özelliklerinin araştırılması önerilmektedir. Bu şekilde yalıtkan özellik gösteren kompozit malzemeye istenildiği takdirde iletkenlik özelliğini kazandırılabilceği düşünülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Aricasoy, O., “Kompozit Sektör Raporu”, İstanbul Ticaret Odası, 2006

Bekyarova, E., Thostenson, E.T., Yu, A., Kim, H., Gao, J., Tang, J., “Multiscale Carbon Nanotube-Carbon Fiber Reinforcement for Advanced Epoxy Composites”, *Langmuir*, 23(7), 3970-4, (2007).

Brunbauer, J., Stadler, H., Pinter, G., “Mechanical properties, fatigue damage and microstructure of Carbon/epoxy laminates depending on fibre volume Content”, *International journal of Fatigue*, 70, 85-92, (2015).

Cam Elyaf San. A.Ş., CTP Teknolojisi, Teknik Yayın, (2009).

Carolan, D., Kinloch, A.J., Ivankovic, A., Sprenger, S., Taylor, A.C., “Mechanical and fracture performance of carbon fibre reinforced composites with nanoparticle modified matrices”, *Procedia Structural Integrity*, 2, 096-103, (2016).

Dickson, A.N., Barry, J.N., McDonnell, K.A., Dowling, D.P., “Fabrication of continuous carbon, glass and kevlar fibre reinforced polymer composites using additive manufacturing”, *Additive Manufacturing*, 16, 146-152, (2017).

Ersoy, H.Y., Kompozit Malzeme, İstanbul: Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti., (2001).

Gachter, R., Müller, H., *Plastics Additives 2<sup>nd</sup> Edition*, Munich: Hanser Publishers, (1987).

Godara, A., Gorbatikh, L., Kalinka, G., Warrier, A., Rochez, O., Mezzo, L., Luizi, F., van Vuure, A.W., Lomov, S.V., Verpoest, I., “Interfacial shear strength of a glass fiber/epoxy bonding in composites modified with carbon nanotubes”, *Composites Science and Technology*, 70, 1346-1352, (2010).

Hudnut, S.W., Chung, D.D.L., “Use of Submicron Diameter Carbon Filaments for Reinforcement Between Continuous Carbon-Fiber Layers in a Polymer-Matrix Composite”, *Carbon*, 33(11), 1627-31, (1995).

Islam, E., Mahdi, T.H., Hosur, M.V., Jeelani, S., “Characterization of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites Modified with Nano clay and Carbon Nanotubes”, *Procedia Engineering*, 105, 821-828, (2015).

Jones, M.J., *Mechanics of Composite Materials*, New York: McGraw Hill Book Company, (2003).

Khan, S.U., Munir, A., Hussain, R., Kim, J.K., “Fatigue damage behaviors of carbon fiber-reinforced epoxy composites containing nano clay”, *Composites Science and Technology*, 70, 2077-2085, (2010).

Knoll, J.B., Riecken, B.T., Kosmann, N., Chandrasekaran, S., Schulte, K., Fiedler, B., “The effect of carbon nanoparticles on the fatigue performance of carbon fibre reinforced epoxy”, *Composites*, 67, 233-240, (2014).

Kwon, D.J., Shin, P.S., Kim, J.H., Baek, Y.M., Park, H.S., DeVries, K.L., Park, J.M., “Interfacial properties and thermal aging of glass fiber/epoxy composites reinforced with SiC and SiO<sub>2</sub> nanoparticles”, *Composites*, 130, 46-53, (2017).

Landowski, M., Strugala, G., Buzdik, M., Imielinska, K., “Impact damage in SiO<sub>2</sub> nanoparticle enhanced epoxy-carbon fibre composites”, *Composites*, 113, 91-99, (2017).

Lew, C., Chowdhury, F., Hosur, M.V., Netravali, A.N., “The effect of silica (SiO<sub>2</sub>) nanoparticles and ammonia/ethylene plasma treatment on the interfacial and mechanical properties of carbon fiber-reinforced epoxy composites”, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 21, 1407–1424, (2007).

Mazumdar, Sanjay K., “Composites Manufacturing-Materials, Product and Process Engineering: CRC Press”, *Composites Manufacturing*, (2002).

Mikociak, D., Rudawski, A., Blazewicz, S., “Mechanical and thermal properties of C/C composites modified with SiC nano filler”, *Materials Science & Engineering, A* 716, 220-227, (2018).

Onat, A., Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya, (2015).

Potluri, R., Paul, K.J., Babu, B.M., “Effect of silicon carbide particles embedment on the properties of kevlar fiber reinforced polymer composite”, *Materials Today: Proceedings*, 5, 6098-6108, (2018).

Puch, F., Hopmann, C., “Morphology and tensile properties of unreinforced and short carbon fibre reinforced Nylon 6/multi walled carbon nanotubes-composite”, *Polymer*, 55, 3015-3025, (2014).

Quaresimin, M., Varley, R.J., “Understanding the effect of nano-modifier addition upon the properties of fibre reinforced laminates”, *Composites Science and Technology*, 68, 718–726, (2008).

Rosato, D., Rosato, D., Reinforced Plastics Handbook 3<sup>rd</sup> Edition, Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, (2004).

Saçak, M., Polimer Kimyası, Ankara: Gazi Kitabevi, (2002).

Saghar, A., Khan, M., Sadiq, I., Subhani, T., “Effect of carbon nanotubes and silicon carbide particles on ablative properties of carbon fiber phenolic matrix composites”, *Vacuum*, 148, 124-126, (2018).

Shao, Y., Yashiro, T., Okubo, K., Fujii, T., “Effect of cellulose nano fiber (CNF) performance of carbon fiber fabric composites”, *Composites*, 76, 244-254, (2015).

Smith, William F., Hashemi, Javad, Foundations of Materials Science and Engineering, New York: McGraw Hill, (2011).

Soliman, E., Al-Haik, M., Taha, M.R., “On and Off-Axis Tension Behavior of Fiber Reinforced Polymer Composites Incorporating Multi-Walled Carbon Nanotubes”, *Journal Composite Materials*”, 46, 1661-75, (2011).

Sun, J., Li, H., Feng, L., Jia, Y., Song, Q., Li, K., “A novel treatment of carbon fibers with improving tensile strength to synthesize evenly distributed carbon nanotubes on their surface”, *Applied Surface Science*, 403, 95-102, (2017).

Sahin, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara: Gazi Kitabevi, (2000).

Tarfaoui, M., Lafdi, K., El Moumen, A., “Mechanical properties of carbon nanotubes-based polymer composites”, *Composites*, 103, 113-121, (2016).

Thostenson, E.T., Chou, T.W., “Aligned Multi-walled Carbon Nanotube-Reinforced Composites: Processing and Mechanical Characterization”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 35, 77-80, (2002).

Torres, J.P., Vandi, L.-J., Veidt, M., Heitzmann, M.T., “Statistical data for the tensile properties of natural fibre composites”, *Data in Brief*, 12, 222-226, (2017).

Tüzemen, M.Ç., Salamcı, E., Avcı, A., “Enhancing mechanical properties of bolted carbon/epoxy nanocomposites with carbon nanotube, nano clay and hybrid loading”, *Composites*, 128, 146-154, (2017).

Xu, Y., Hoa, S.V., “Mechanical properties of carbon fiber reinforced Epoxy/clay nanocomposites”, *Composites Science and Technology*, 68, 854-861, (2008).

Yalçın, H., Gürü, M., *Malzeme Bilgisi*, Ankara: Palme Yayıncılık, (2002).

Yang, Y., Lu, C., Su, X., Wang, X., “Effect of emulsion sizing with nano-SiO<sub>2</sub> on interfacial properties of carbon fibers/epoxy composites”, *Journal of Materials Science*, 42, 6347-6352, (2007).

Yao, X., Gao, X., Jiang, J., Xu, C., Deng, C., Wang, J., “Comparison of carbon nanotubes and graphene oxide coated carbon fiber for improving the interfacial properties of carbon fiber/epoxy composites”, *Composites*, 132, 170-177, (2018).

Yılmaz, U., Evcı, C., “Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği”, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 4, 77-109, (2015).

Zhang, J., Deng, S., Wang, Y., Ye, L., Zhou, L., Zhang, Z., “Effect of nanoparticles on interfacial properties of carbon fibre–epoxy composites”, *Composites*, 55, 35-44, (2013).

Zhou, H.W., Mishnaevsky Jr., L., Yi, H.Y., Liu, Y.Q., Hu, X., Warriar, A., Dai, G.M., “Carbon fiber/carbon nanotube reinforced hierarchical composites: Effect of CNT distribution on shearing strength”, *Composites*, 88, 201-2011, (2016).

Zhou, Y., Pervin, F., Jeelani, S., Mallick, P.K., “Improvement in mechanical properties of carbon fabric-epoxy composite using carbon nanofibers”, *Journal of Materials Processing Technology*, 198, 445-453, (2008).

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yasin Musa UÇAK

Doğum Yeri ve Tarihi : Sarayköy / DENİZLİ – 03.01.1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : ucakmusa75@gmail.com

İletişim Adresi : Hacıkaplanlar Mah. 735 Sk. No: 20 K.1 D.2  
Pamukkale / DENİZLİ

T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÖNETİM KURULU KARARLARI

Toplantı Tarihi: 26.09.2018 Toplantı Saati : 14.00 Toplantı Sayısı: 41

**Karar 14** Makine Mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Yasin Musa UÇAK'ın, mezuniyet durumu görüşüldü.

**a-1)** Makine Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Yasin Musa UÇAK'ın, tez savunma sınavı jürisinin ortak raporu doğrultusunda tez adının "*Tabakalı Karbon Elyaf Kompozit Malzemelerde Nano Boyutta Sic,Nio,Kil ve Karbon Tüp Partikül Katkılarının Mekanik Özelliklere Etkisi*" olarak değiştirilmesinin uygunluğuna;

**a-2)** Makine Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Yasin Musa UÇAK'ın, *Pamukkale Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği'nin* 10/1 maddesi gereğince, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı tezli yüksek lisans öğrenimini tamamladığından 20.09.2018 tarihi itibarıyla 89,25 akademik ortalama ile mezuniyetine oy birliği ile karar verildi.

ASLININ AYNIYIDIR

Yusuf OKSE  
Enstitü Sekreteri V