



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

KOMPOZİT ODAK TEKNOLOJİ AĞI OTAĞ SONUÇ RAPORU

2024

Tasnif Dışı



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

KOMPOZİT OTAĞ

SONUÇ RAPORU

2024
TASNİF DIŞI



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

BAŞKAN ÖN SÖZÜ

Savunma Sanayii Başkanlığı olarak ülkemizin rekabet gücünü arttırma hedefiyle yürüttüğümüz projelere her geçen gün bir yenisini daha eklemekteyiz. Ulusal ve uluslararası arenada büyük başarılarla imza atmak için gelişen ve değişen dünyada fark yaratacak teknolojileri platform ve sistemlerimize kazandırma hedefiyle Ar-Ge çalışmalarına odaklanmış durumdayız.

Emniyet ve Güvenlik Güçlerimizin mevcut durumda ve geleceğin harekât ortamında ihtiyaç duyabileceği stratejik öneme sahip teknoloji konularını tespit ederek Odak Teknoloji Ağı faaliyetlerini yürütmekte ve kazanım planlamalarının yapılabilmesi amacıyla yol haritaları oluşturmaktayız. Alanında uzman kurum, kuruluş ve üniversiteden aktif katılımcıların destekleri ile oluşturulan yol haritalarımız, rekabet gücünün artırılmasını ve odak birliğini sağladığı gibi kurum/kuruluşlar tarafından yapılacak çalışmalara da katkıda bulunmaktadır.

Kompozit malzemeler, başta havacılık ve uzay sektörlerindeki sistemlerin hafifletilmesi ve performanslarının artırılması açısından önemli olmakla birlikte tüm sektörler için elzemdir. Bu doğrultuda, platform/sistem ve alt sistemlerin sahip olduğu kompozit kritik bileşenler için çalışmalar yapılmasının ülkemiz için gerekli olduğunun farkındayız. Bu kapsamda, 2019 yılında yayımlanmış olan Kompozit Teknolojileri Yol Haritası'nda değişime haiz konuları ortaya koymak ve yeni konuların tespit edilmesi için 2023 yılında Kompozit Teknolojileri Odak Teknoloji Ağı Güncelleme çalışmalarını başlattık, yürüttük ve raporumuzu nihai hale getirdik.

Kompozit Odak Teknoloji Ağı Sonuç Raporu'nun ülkemiz savunma sanayisi için hayırlı olmasını diler, bu Yol Haritası'nın hazırlanmasında emeği geçen başta Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı olmak üzere, tüm Başkanlık personeline, değerli katkılarını esirgemeyen tüm akademisyen, kurum, kuruluş ve sektör temsilcilerine göstermiş oldukları çaba için teşekkür eder, sektörün ihtiyaçlarının giderilmesinde kılavuz rolü edinmesini temenni ederim.



Prof. Dr. Haluk Görgün
BAŞKAN

İÇİNDEKİLER

1. AMAÇ	8
2. KAPSAM	9
3. TANIMLAR VE KISALTMALAR	10
4. YÖNETİCİ ÖZETİ	11
5. DÜNYADA MEVCUT DURUM VE EĞİMLER	12
5.1. Kompozit Malzeme Teknolojileri	13
5.2. Kompozit İmalat Teknolojileri	16
5.3. Kompozit Teknolojilerinin Sektörlere Göre İncelenmesi	19
6. 2024 KOMPOZİT OTAĞ FAALİYETLERİ	23
6.1. VERİ TOPLAMA ÇALIŞMALARI	26
6.2. TEKNOLOJİ KONULARININ BELİRLENMESİ	28
6.2.1. Malzeme Odak Çalışma Grubu	29
6.2.2. İmalat Odak Çalışma Grubu	32
6.3. ÖNCELİKLENDİRME METODOLOJİSİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ	35
6.3.1. Önceliklendirme Metodolojisi	35
6.4. Önceliklendirme Analiz Yöntemi	39
7. 2024 KOMPOZİT OTAĞ TEKNOLOJİ KONULARI DEĞERLENDİRMESİ	41
7.1. Malzeme Konuları Analiz Sonuçları	42
7.2. İmalat Konuları Analiz Sonuçları	46
7.3. Öne Çıkan Teknoloji Değerlendirmesi	50
7.3.1. Malzeme Odak Çalışma Grubu	50
7.3.2. İmalat Odak Çalışma Grubu	51
8. GELECEK ATÖLYESİ ÇALIŞMASI	54
8.1. Yöntem	54
8.2. Analiz	56
8.3. Gelecek Atölyesi Bulguları	57
9. SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI TEKNOLOJİ KAZANIM ÇALIŞMALARI	60
10. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	62
11. REFERANSLAR	64
EKLER	66
EK-1 Katılımcı Listesi	67
EK-2 Teknoloji Konuları Önceliklendirme Listesi	69
EK-3 Gelecek Atölyesi Senaryoları	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1	Yönlendirme Komitesi Üyeleri	24
Tablo 6.2	Odak Çalışma Grubu Liderleri	25
Tablo 6.3	Girdi Konsolidasyon Formu	27
Tablo 6.4	Malzeme Odak Çalışma Grubu 2019-2024 OTAĞ Teknoloji Konuları Değerlendirmesi	30
Tablo 6.5	İmalat Odak Çalışma Grubu 2019-2024 OTAĞ Teknoloji Konuları Değerlendirmesi	33
Tablo 6.6	AHP Yönteminde Kullanılan Önem Ölçeği	38
Tablo 6.7	Teknoloji Konularının Öncelik ve Vade Sıralamasında Öne Çıkan Kriterler	40
Tablo 7.1	Yakın Vadede Önceliklendirilen Malzeme Teknoloji Konuları	44
Tablo 7.2	Uzak Vadede Önceliklendirilen Malzeme Teknoloji Konuları	45
Tablo 7.3	Yakın Vadede Önceliklendirilen İmalat Teknoloji Konuları	48
Tablo 7.4	Uzak Vadede Önceliklendirilen İmalat Teknoloji Konuları	49

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1	2023 Yılı Kompozit Malzemelerin Sektörlere Göre Tüketim Miktarı ve Parasal Değeri [2]	12
Şekil 5.2	Karbon elyaf talebinin yıllara ve sektörler göre dağılımı [4, 6]	13
Şekil 5.3	2030 Yılına Kadar CMC Malzemelerin Sektörlere Bağlı Kullanım Artışları Tahminleri [8]	14
Şekil 5.4	Proseslere Göre Malzeme, Kalıp, İşçilik Maliyetleri ve Enerji Giderleri[17]	17
Şekil 5.5	2030 Yılına Kadar Kompozit Kullanımının Sektörlere Bağlı Artışları Tahmini [18]	19
Şekil 5.6	1970'ten 2020 Yılına Kadar Gelişen Kompozit İmalat Teknolojileri [19]	20
Şekil 6.1	Çalışma Takvimi	23
Şekil 6.2	Lansman Toplantısı Katılımcı Dağılımı	25
Şekil 6.3	Odak Çalışma Grubu Katılımcıları Dağılımı	26
Şekil 6.4	Teknoloji Konularına İlişkin Gelişme Bildirimi	27
Şekil 6.5	Yeni Konu Önerisi Sayıları ve Dağılımı	28
Şekil 6.6	2019 KTYH ile 2024 Kompozit OTAĞ Çalışmalarında Değerlendirilen Teknoloji Konu Sayıları	29
Şekil 6.7	Önceliklendirme Metodolojisi Akış Şeması	35
Şekil 6.8	Ana Kriterler ve Öznitelikler	36
Şekil 6.9	DEMATEL Yönteminde Kullanılan Etki Ölçeği ve DEMATEL Adımları	37
Şekil 6.10	AHP Yöntemi Adımları	37
Şekil 6.11	TOPSIS Adımları	38
Şekil 7.1	Yakın Vadede Kazanılacak Konuların Öncelik Dağılımı	41
Şekil 7.2	Uzak Vadede Kazanılacak Konuların Öncelik Dağılımı	42
Şekil 7.3	Malzeme Teknolojileri Vade Konu Dağılımı	43
Şekil 7.4	İmalat Teknolojileri Vade Konu Dağılımı	47
Şekil 8.1	Katılımcı Dağılım Grafiği	54
Şekil 8.2	Gelecek Çarkı Atölye Akışı	55
Şekil 8.3	Fırsat Olasılık Matrisleri	56
Şekil 8.4	Etki Olasılık Matrisleri	56
Şekil 8.5	Olumlu/Olumsuz Etki Dağılımı	56
Şekil 8.6	Etki Boyutu Dağılımı	56

HAZIRLAYANLAR	
AD SOYAD	KURUM/KURULUŞ
Aysun DOĞANGÜN AKIN	ASELSAN
Barış AKGÜN	ROKETSAN
Betül KAHRAMAN DÖNMEZ	TÜBİTAK MAM
Buse ÇETİN CİN	SSB
Deniz DEMİRCİ	SSB
Elif Eda YENİ	SSB
Eylem ÖZEN	ROKETSAN
Fatih GÜNER	ROKETSAN
Dr. Öğr. Üyesi Hatice S. ŞAŞ ÇAYCI	SABANCI ÜNİVERSİTESİ
Hüseyin UÇAR	TUSAŞ
Dr. İdil AYAN ÇOŐKUN	ASELSAN
Dr. İsmınur GÖKGÖZ	ROKETSAN
Kaan BODUR	TUSAŞ
Kevser Sinem ŞİMŞEK TÜRELİ	TUSAŞ
Dr. Mehmet Erdem ÇORAPÇIOĞLU	TUSAŞ
Mertcan ÖZÇELİK	TUSAŞ
Merve YÜLEK	TUSAŞ
Doç. Dr. Tuba ERDOĞAN BEDRİ	TÜBİTAK MAM
Tufan CAN	SSB

*Hazırlayanlar alfabetik olarak listelenmiştir.

1. AMAÇ

Savunma Sanayii Başkanlığı öncülüğünde, ülkemiz emniyet ve güvenlik güçlerinin kullanımına sunulan savunma sistemlerimizdeki yurt dışına bağımlı bileşenlerin/kritik teknolojilerin yerleşmesi ve ileri teknolojilerin ülkemize kazandırılması amacıyla Savunma Sanayii Başkanlığı öncülüğünde 2018 yılında Kompozit Yol Haritası çalışması başlatılmıştır. Kompozit Odak Teknoloji Ağı çalışması kapsamında çeşitli firma, araştırma kurumu ve üniversitelerden alan uzmanlarının katılımı ile bir dizi çalışma gerçekleştirilmiş; savunma, havacılık ve uzay alanlarında stratejik öneme sahip kompozit teknoloji konuları belirlenmiş, bu konuların kazanım planlarını içeren “Kompozit Teknolojileri Yol Haritası Sonuç Raporu” 2019 yılında yayınlanmıştır [1].

Kompozit Teknolojileri Yol Haritasında (KTYH) sunulan teknoloji konularında gelinen noktanın tespit edilmesi, belirlenen konuların gelişen teknolojiler ışığında ihtiyaç durumunun değerlendirilmesi, mevcut durumda çalışılan ve gelecekte ihtiyaç duyulan konulara yönelik birbirini bütünleyen çalışmaların kurgulanması amaçlarıyla Kompozit Odak Teknoloji Ağı (OTAĞ) güncelleme çalışmaları 140 alan uzmanının katılımıyla 2023 yılı haziran ayında başlatılmıştır.

İşbu rapor ile, ülkemiz hedefleri doğrultusunda, kullanıcı yetenek ve ihtiyaçları temel alınarak kompozit teknolojilerinde mevcut durum analizi yapılmış, gelecekte çalışılması hedeflenen teknoloji konuları belirlenmiş ve değerlendirmeleri ile beraber sunulmuştur.

2. KAPSAM

2024 Kompozit OTAĞ Sonuç Raporu kapsamında, Türkiye’de kompozit “Malzeme” ve “İmalat” başlıkları altında son 5 yılda yürütülen çalışmalar hakkında durum tespiti yapılmış, elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve bu bulguların kazanım planı yapılarak sunulmuştur.

2019 KTYH çalışmalarında yer alan odak çalışma grupları “Malzeme”, “İmalat”, “Test ve Tahribatsız Muayene” ve “Tasarım ve Analiz” alt konu başlıklarında kümelenirken, 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında yapılan çalışmalarda “Malzeme” ve “İmalat” alt konu başlıklarına odaklanılmıştır. “Test ve Tahribatsız Muayene” ve “Tasarım ve Analiz” alt konu başlıklarında yer alan ve güncellemeye tabi tutulan teknoloji konuları ise “Malzeme” ve “İmalat” alt konu başlıklarında ele alınmıştır.

Bu çalışmaların paralelinde, “Dünyada Mevcut Durum ve Eğilimler” gözden geçirilmiş ve kompozit malzeme ve imalat teknolojilerindeki eğilimler ile teknolojilerin sektörlere göre gelişimine ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Kompozit Odak Teknoloji Ağı Güncelleme çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler, çalışma kapsamında kullanılan önceliklendirme metodolojisi ve teknoloji konularının önceliklendirme analiz sonuçları bu rapor ile sunulmaktadır. Bununla birlikte gelecekte fark yaratacak teknolojilerinin tespit edilmesi ve teknolojik, toplumsal, ekonomik, çevresel etkilerinin incelenmesi amacıyla “Gelecek Atölyesi Çalışması” gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar yine bu rapor içerisinde yer almaktadır.

2024 Kompozit OTAĞ çalışmasında elde edilen başlıca bulgular ile teknoloji konularının kazanımlarına yönelik değerlendirmeler raporun son bölümünde yer verilmiştir.

3. TANIMLAR VE KISALTMALAR

3D-RTM	: 3 Boyutlu Reçine Geçişli Kalıplama (İng. 3D Resin Transfer Molding)
AFP	: Otomatik Elyaf Yerleştirme (İng. Automated Fiber Placement)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
Alt Konu Başlığı	: Teknoloji Konularının Gruplandığı Konu Başlıkları
ATL	: Otomatik Şerit Serme (İng. Automated Tape-Laying)
BMI	: İng. Bismaleimide
CCM	: Sürekli Basıncılı Kalıplama (İng. Continuous Compression Molding)
CMC	: Seramik Matris Kompozit (İng. Ceramic Matris Composite)
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: Decision Making Trial And Evaluation Laboratory
FTKR	: Füze Teknolojileri Kontrol Rejimi
2019 KTYH	: 2019 Yılında Yayımlanmış Olan Kompozit Teknolojileri Yol Haritası
2024 KOMPOZİT OTAĞ	: 2023 Yılında Başlatılan Kompozit Odak Teknoloji Ağı Güncelleme Çalışmaları
ITAR	: International Traffic In Arms Regulations
LAFP	: Lazer Yardımlı Otomatik Elyaf Yerleştirme Yöntemi (İng. Laser-Assisted Automated Fiber Placement)
LRTM	: Hafif Reçine Geçişli Kalıplama (İng. Light Resin Transfer Molding)
OÇG	: Odak Çalışma Grubu
OÇG Lideri	: Her Bir Odak Çalışma Grubu İçin Öncü Kurum ve Kuruluşlar ile Araştırmacılar Arasından Belirlenen Uzman Kişi
PAEK	: Poli (Ariil Eterketon)
PEEK	: Poli (Eter Eterketon)
PEI	: Poli (Eter İmid)
PEKK	: Poli (Eter Ketonketon)
PPS	: Polifenilen Sülfid
RTM	: Reçine Geçişli Kalıplama (İng. Resin Transfer Molding)
SCRIMP	: İng. Seeman Composite Resin Infusion Molding Process
SQRTM	: İng. Same Qualified Resin Transfer Molding
SSB	: Savunma Sanayii Başkanlığı
Teknoloji Konusu	: İlgili Kompozit Teknolojisinin Adı
THS	: Teknoloji Hazırlık Seviyesi
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal
UHMWPE	: Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (İng. Ultra High Molecular Weight Polietilen)
VAP	: Vakum Destekli Proses (İng. Vacuum-Assisted Process)
VARTM	: Vakum Destekli Reçine Geçişli Kalıplama (İng. Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding)

4. YÖNETİCİ ÖZETİ

Savunma Sanayii Başkanlığı öncülüğünde 2019 yılında yayımlanmış olan Kompozit Teknolojileri Yol Haritası'nın güncellenmesi, kompozit teknolojilerinde mevcut durumda çalışılan ve gelecekte çalışılmasına ihtiyaç duyulan konulara yönelik birbirini bütünleyen çalışmaların kurgulanması faaliyetleri Kompozit Odak Teknoloji Ağı (OTAĞ) ile gerçekleştirilmiştir.

Başkanlığımız 2024-2028 Stratejik Planı'nda yer alan geleceğe yön verecek teknoloji ve yetenekleri milli imkanlarla geliştirmek amacı ile günümüzün ve geleceğin teknolojilerine yönelik kapsayıcı ve istikrarlı gelişim sürdürülmesi sağlamak hedefi doğrultusunda gerçekleştirilen Kompozit OTAĞ faaliyetleri; alanında deneyim sahibi temsilcilerin katılımıyla "Malzeme" ve "İmalat" Odak Çalışma Grupları (OÇG) altında yürütülmüştür.

Odak grup üyeleri tarafından savunma, havacılık ve uzay sanayi için stratejik öneme sahip teknoloji konuları ortak akıl ile saptanmış, mevcut durum değerlendirilmesi yapılmış, gelecekte kazanılması hedeflenen teknolojiler, kullanıcı makamlarının yetenek ihtiyaçları ile ilişkilendirilmiştir.

Belirlenen teknoloji konularının önceliklendirilmesi, 2024 Kompozit OTAĞ beklentilerine uygun AHP, DEMATEL, TOPSIS gibi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotları kullanılarak mümkün olduğunca nesnel olarak puanlanmış, teknoloji konularının yakın ve uzak kazanım vadeleri belirlenmiştir.

Geleceğin harekât ortamında kompozit teknolojilerinin; etkilerini keşfetmek, ilgili alandaki eğilimler veya yıkıcı gelişmeler doğrultusunda geleceği hayal etmek; arzu edilen geleceğe ulaşılması için gerekli politikaların belirlenmesine katkı sağlamak amacı ile Gelecek Atölyesi çalışması gerçekleştirilmiş ve sonuçları sunulmuştur.

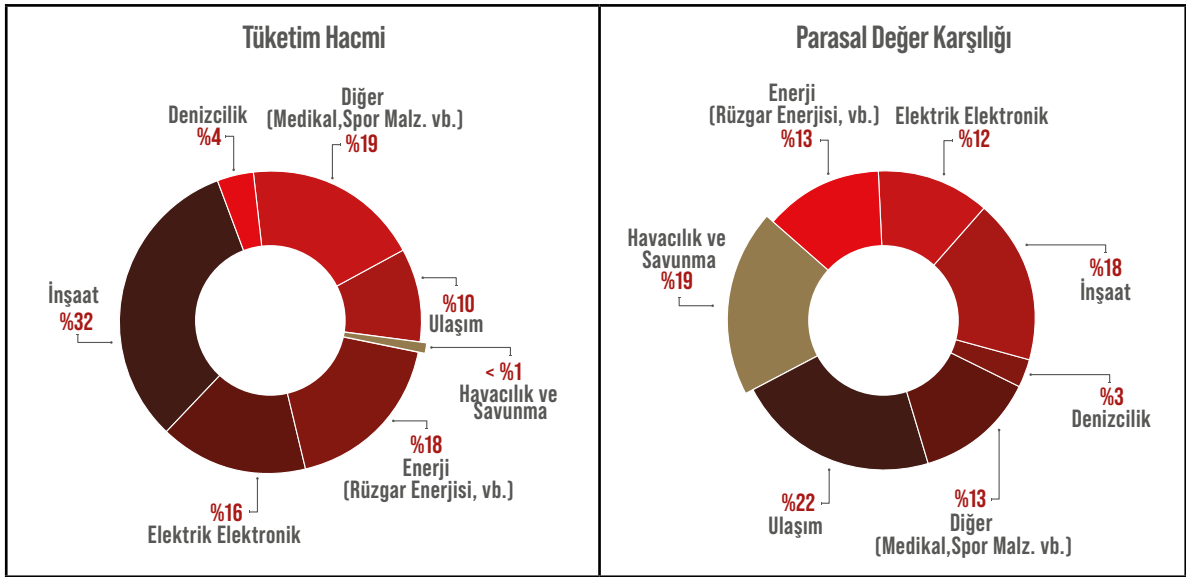
2024 Kompozit OTAĞ Sonuç Raporu, gelecekte daha da önemli bir rol oynayacak Kompozit Teknolojilerinin günümüz ihtiyaçları doğrultusunda ve geleceğe yönelik öngörüler ile hazırlanarak güncellenmiştir.

5. DÜNYADA MEVCUT DURUM VE EĞİLİMLER

Kompozit teknolojisinin savunma, havacılık, uzay, otomotiv, inşaat gibi geniş uygulama alanlarında kullanımının artması, daha iyi performans ve maliyet verimliliği ihtiyacı araştırma geliştirme faaliyetlerine daha çok yatırım yapılmasını sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile de kompozit malzeme formülasyonları çeşitlenmekte ve imalat teknolojilerindeki yenilikler gün geçtikçe artmaktadır.

Ayrıca, platform/sistemlerin güvenliği, çevresel ve kaynak sürdürülebilirliğini düzenleyici standartlar, gelişmiş ve çok işlevli malzemelere yönelik eğilim ve bu malzemelerin çeşitli sektörlerde benimsenmesi pazar dinamiklerini etkilemektedir.

Küresel bazda kompozit teknolojilerine ilişkin pazar incelendiğinde 2023 yılında kompozit malzeme satış hacmi 13 milyon ton iken bu miktarının yaklaşık 41 milyar ABD dolarına denk geldiği rapor edilmiştir. Bahse konu malzemelerin, kompozit parça olarak üretildiğinde 105 milyar ABD doları değerinde bir pazara karşılık geldiği de yine aynı raporda yer almaktadır. Beş yıllık pazar öngörülleri incelendiğinde yaklaşık %7 oranında büyüme eğilimi olduğu anlaşılmaktadır. 2023 yılında kullanım alanlarına göre kompozit malzemelerin tüketim hacimleri Şekil 5.1'de sunulmaktadır. Grafikte havacılık ve savunma alanında kompozit tüketim hacminin %1'den küçük paya sahip olmasına rağmen, parasal değer karşılığı olarak %19'luk paya sahip olması dikkat çekicidir [2].



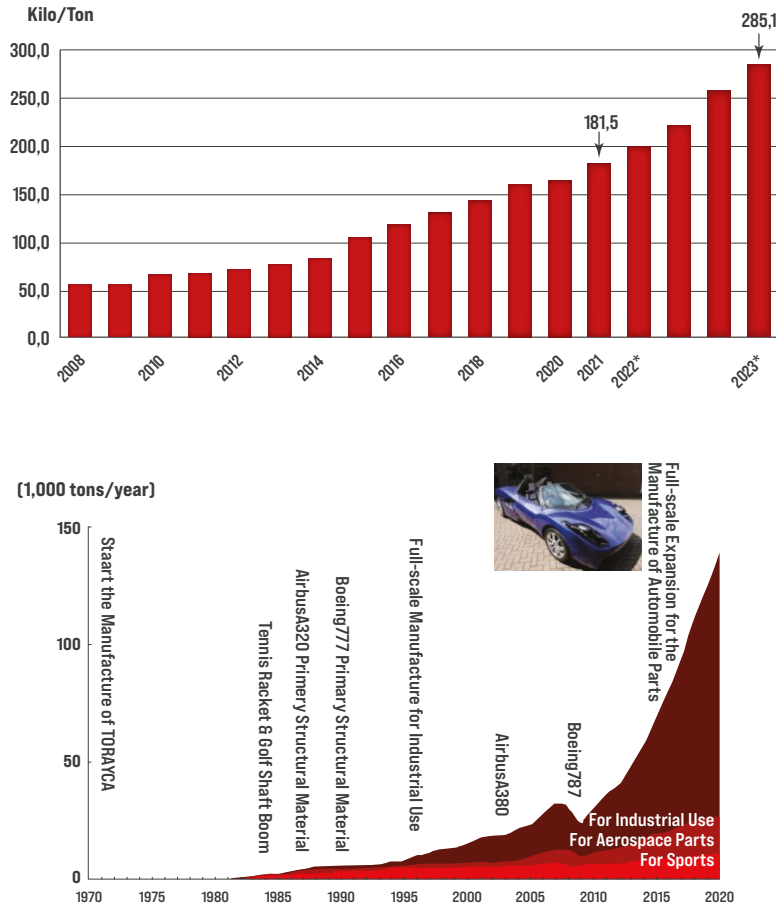
Şekil 5.1 2023 Yılı Kompozit Malzemelerin Sektörlere Göre Tüketim Miktarı ve Parasal Değeri [2]

Kompozit malzeme ve imalat konularında yapılan pazar araştırmaları ve ilgili ulusal/uluslararası yayın ve derlemeler incelenerek tespit edilen teknolojik gelişmeler ve mevcut eğilimler takip eden bölümlerde sunulmaktadır.

5.1 KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ

Kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmelerin; özellikle sektörlerin yüksek teknoloji ihtiyaçlarına yönelik ilerlediği görülmektedir [3]. Havacılık/uzay ve savunma sektörleri başta olmak üzere; yüksek mukavemet, düşük ağırlık, yorulma direnci vb. özellik gerektiren tüm sektörlerde, en yaygın kullanılan takviye, karbon elyaf malzemesi olup polimer matris kompozitler bu sektörün itici gücü olmuştur [4]. Boeing uçaklarında 1980'li yıllarda kullanımına başlanması ile kullanım miktarları günden güne artan karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin, 2000'li yıllarda Boeing 787 uçağında %50 ve Airbus A350 uçağında %53 oranındaki kullanımı bir milat olmuş, talebin hızla artmasına yol açmıştır [4]. Özellikle 2010 yılından sonra havacılık dışı sektörlerdeki (otomotiv, rüzgâr enerjisi, tren taşımacılığı, inşaat vb.) karbon takviyeli kompozit malzeme kullanımı hızlı bir artış gösterdiği Şekil 5.2'de görülmektedir.

Geçtiğimiz 50 yıl içinde karbon elyaf malzeme talebinin sektörlere göre incelemesini içeren grafik Şekil 5.2'de sunulmaktadır. Özellikle elektrikli arabaların gelişmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyacın artması nedeniyle otomotiv ve rüzgâr enerjisi sektörlerindeki büyüme karbon elyaf malzeme talebine de doğrudan yansımıştır. 2021 yılında 181 kilo-ton olan karbon elyaf talebinin, 2025 yılı itibariyle 285 kilo-ton mertebelerine çıkmasının beklendiği görülmektedir [4]. Endüstriyel uygulamalarda maliyet etkin çözüm olarak geliştirilen yüksek ağırlıklı elyafların (>40 K) (ing. large-tow) pazarda pay sahibi olmaya başladığı görülmektedir [4]. Buna bağlı olarak sıvı ve gaz depolama uygulamaları için basınçlı kap sektöründeki karbon elyaf ihtiyacı da toplam ihtiyacın %9'u olarak ölçülmüş ve bu sektördeki hızlı büyümeyi gözler önüne sermiştir [4,5].



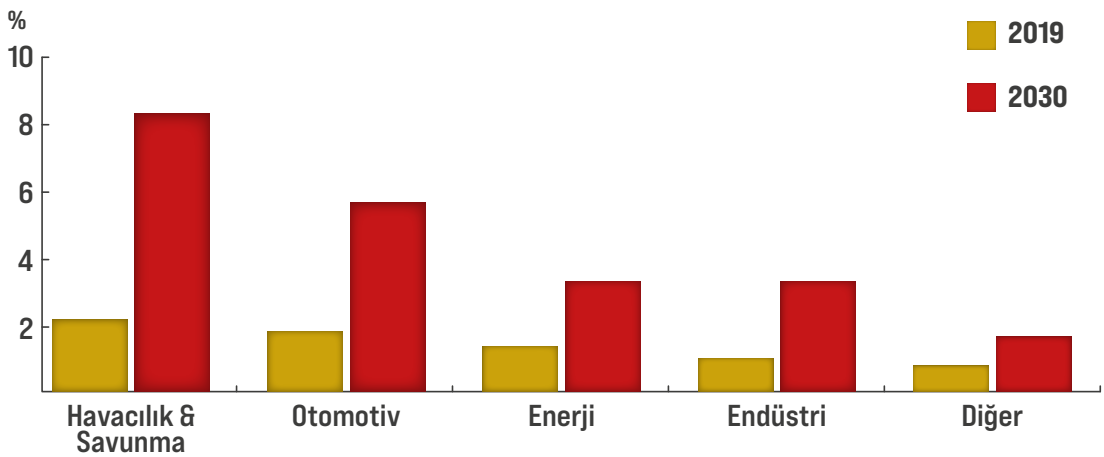
Şekil 5.2 Karbon elyaf talebinin yıllara ve sektörlere göre dağılımı [4, 6]

Karbon elyaf malzemeye olan talep yıllar içinde artmış olsa da COVID-19 pandemi sürecinde bir duraklama ve gerileme olduğu birçok kaynakta belirtilmektedir. Özellikle havacılık sektöründe 2021 yılında 25.4 kiloton olan karbon elyaf ihtiyacı, 2018 yılındaki ihtiyaca göre %23 oranında azalmıştır. Bunun temel sebebi ise havacılık endüstrisinin COVID-19 pandemi sürecinden fazlaca etkilenen sektörler arasında olmasıdır [4,5].

Bununla beraber yüksek performanslı polimerik elyaflar düşünüldüğünde aramid ve ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen elyaflar öne çıkmaktadır. Yüksek tokluk özellikleri nedeniyle balistik koruma uygulamalarında sıklıkla tercih edilen bu elyaflar gelişen özellikleri ve yüksek özgül mukavemetleri nedeniyle yapısal uygulamalarda da kullanım alanı bulmaktadır. Doğal biyobazlı elyaf malzemeler geri dönüştürülebilir özellikleriyle sürdürülebilir performans sunarak özellikle akademik alanda üzerine yoğun çalışma yapılan malzemelerdir [7].

Performans özellikleri ile seramik elyaflar da sektörün önde gelen kompozit takviye malzemelerindedir. İlk olarak 1975 yılında geliştirilen silisyum karbür elyaflar başta olmak üzere alümina ve alümina silika elyaflar; seramik ve metal matrisli kompozit yapılarda takviye bileşeni olarak kullanılmakta ve zorlu koşullara dayanıklı malzeme alternatifleri olarak üstün performans sergilemektedir [7].

Polimer matrisli kompozitlerin yanı sıra seramik matrisli kompozitler (CMC) de zorlu koşullarda görev yapan sistemlerde olmazsa olmaz malzemeler arasında yer almaktadır. Bu malzemelere polimer matrisli kompozitler kadar yüksek miktarlarda ihtiyaç duyulmasa da stratejik öneme sahip sistemlerde kullanım gerekliliği nedeniyle, üst sırada önceliklendirilen ve ülkelerin sahip olmaya çalıştığı teknolojiler arasındadır [8]. CMC malzemelerin sektörlere bağlı kullanım artışları tahmini Şekil 5.3'te verilmiş olup, 2030 yılına kadar pazar büyüklüğü değerinin %11.1 oranında artarak 22,69 milyar ABD dolarına ulaşması öngörülmektedir[8].



Şekil 5.3 2030 Yılına Kadar CMC Malzemelerin Sektörlere Bağlı Kullanım Artışları Tahminleri [8]

2023 yılında 13 milyon ton olan kompozit malzeme pazar büyüklüğünün %77'sini oluşturan cam elyaflar, farklı özellik ve formları ile havacılık ve uzay sektöründe ikincil yapısal uygulamalar başta olmak üzere rüzgâr türbini ve deniz taşımacılığı gibi sektörlerde yüksek miktarlarda kullanılmaktadır [2].

Malzeme teknolojileri alanında göze çarpan diğer gelişen teknolojiler ise balistik dayanımlı ve iz düşürücü malzemelerdir. Tüm dünyada bu konuda yoğun çalışmalar yürütülmekle beraber, bu çalışmalar gizlilik kapsamında olduğundan genellikle paylaşılmamakta; bu tür malzemelerin yurt dışından temin edilmesi de mümkün olmamaktadır.

İz düşürücü performans gerektiren askeri uygulamalar için, yüksek performans gereksinimleri göz önüne alındığında, düşük maliyetli cam elyaf/epoksi matris yerine genellikle kuvars elyaf/siyanat esterinin kullanımına yönelik bir eğilim olduğu görülmektedir. 1930'larda geliştirilen teknik ile üretilmeye başlayan kuvars elyafa olan talep, savunma, havacılık, telekomünikasyon, elektronik gibi uygulamalardaki yaygın kullanımı nedeniyle her geçen gün öne çıkmaktadır [9]. Ancak kuvars elyaf üretim teknolojisine, kritik ve yüksek üretim maliyeti gibi kısıtların bulunması nedeni ile yeterli düzeyde ulaşılamamaktadır. 2024 – 2031 yılları arasında yapılan araştırmada %5'lik oranda büyümesi beklenen kuvars elyaf pazarının artması, firmaların pazar genişlemesine ve sürdürülebilirliğe odaklanması ile sağlanacağı aşikârdır [10].

Termoplastik matrisli kompozit teknolojisi birçok sektörde yıllardan beri kullanılan malzemeler arasında olup havacılık ve otomotiv uygulamalarında kullanımı ile 1980-2023 yılları arasındaki %11 büyüme oranı ile dikkat çekmektedir [2]. Havacılık endüstrisinde özellikle 2010'lu yıllardan sonra yüksek performanslı PEEK, PEKK, LM-PAEK ve PPS matris ve sürekli karbon elyaf takviye içeren kompozitler öne çıkmaktadır. Özellikle düşük ağırlık ve yakıt verimliliği için gövde, kanat gibi birincil ve büyük yapılarda termoplastik malzemelerin kullanımı üzerine çalışılmakta olup, termoset malzemelerden termoplastik malzemelere geçiş için yapılan çalışmaların sonuç vermesi durumunda bu malzemelerin pazar payının da gelecekte önemli ölçüde artacağı öngörülmektedir. 2023 yılında 38,49 milyar ABD doları olan termoplastik kompozit pazar büyüklüğünün 2032 yılında 76,94 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir [11, 12].

Geleneksel malzemelerde malzemenin yapısal özellikleri önemli olurken, yeni nesil malzemelerde ise malzemenin yapısal özelliğinin yanı sıra farklı işlevselliklere de sahip olması beklenmektedir. Kompozit malzeme teknolojisinde bu durum çok fonksiyonlu kompozit yapılar olarak kendini göstermiştir [13, 14, 15]. 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında "Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri" olarak ele alınan teknoloji ile enerji depolama, akustik sönümlenme, buzlanma önleme, yapısal sağlık izleme ve termal/elektriksel iletkenlik gibi özellik gereksinimine sahip malzeme ve sistemlerin tasarımları öne çıkmaktadır.

Sensörleri veya diğer elektronik bileşenleri kompozit malzemeye dâhil ederek, yapısal sağlığın ve çevre koşullarının gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanınması yeni ortaya çıkan bir konudur. Bu kapsamda akıllı malzeme içeren kompozit yapılar gelişim gösteren konular arasında karşımıza çıkmaktadır. Bununla beraber, Kendi Kendini Onaran Kompozit Malzeme Teknolojisi üzerinde çalışmalar yapılan güncel konulardandır. Teknolojinin gelişmesi ile potansiyel olarak kompozit parçaların ömrünün uzaması beklenmektedir [13].

Tüm bu gelişmelerin yanında kompozit malzemelerin çevreye etkisi ise giderek artan bir endişe kaynağıdır. Daha hızlı kürlenen termosetler ve geri dönüştürülebilir termoplastikler gibi yeni reçine sistemlerinin geliştirilmesinin, kompozit parça imalatı ile ilgili çevresel ve verimlilik zorluklarından bazılarını gidermesi beklenmektedir.

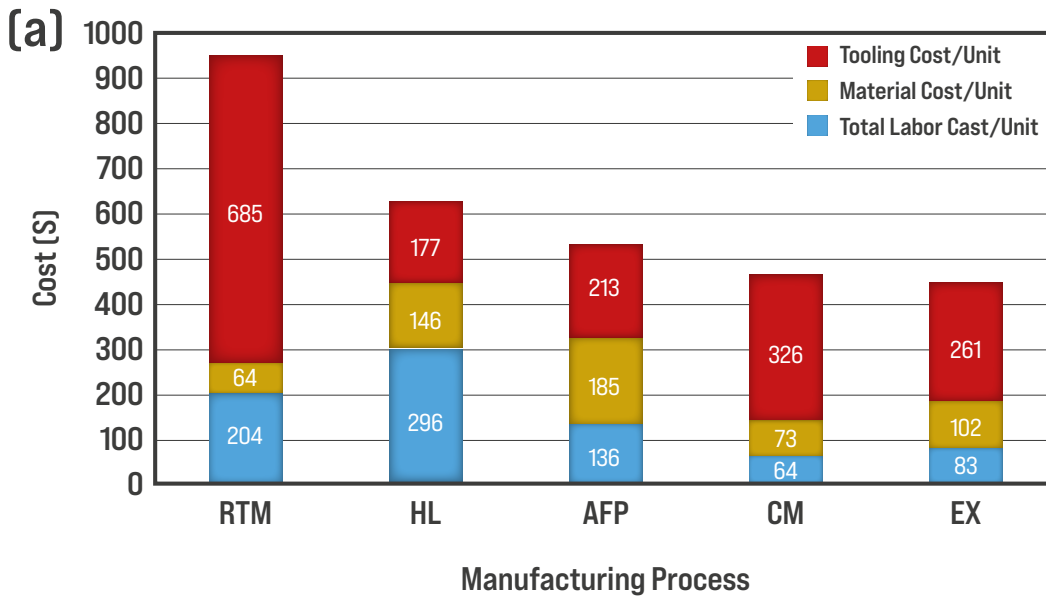
Sürdürülebilirliğe giderek daha fazla vurgu yapan üreticiler, kompozit serme sürecini daha çevre dostu hale getirmenin yollarını araştırmaktadır. Buna, enerji açısından daha verimli olan ve biyolojik bazlı veya geri dönüştürülebilir kompozit malzemeleri işleyebilen, kompozit imalatın çevresel ayak izini azaltan makineler geliştirilmesi de dâhildir. AFP ve ATL teknolojilerindeki ilerlemeler çevresel sürdürülebilirlik açısından da olumlu sonuçlar doğurmaktadır.

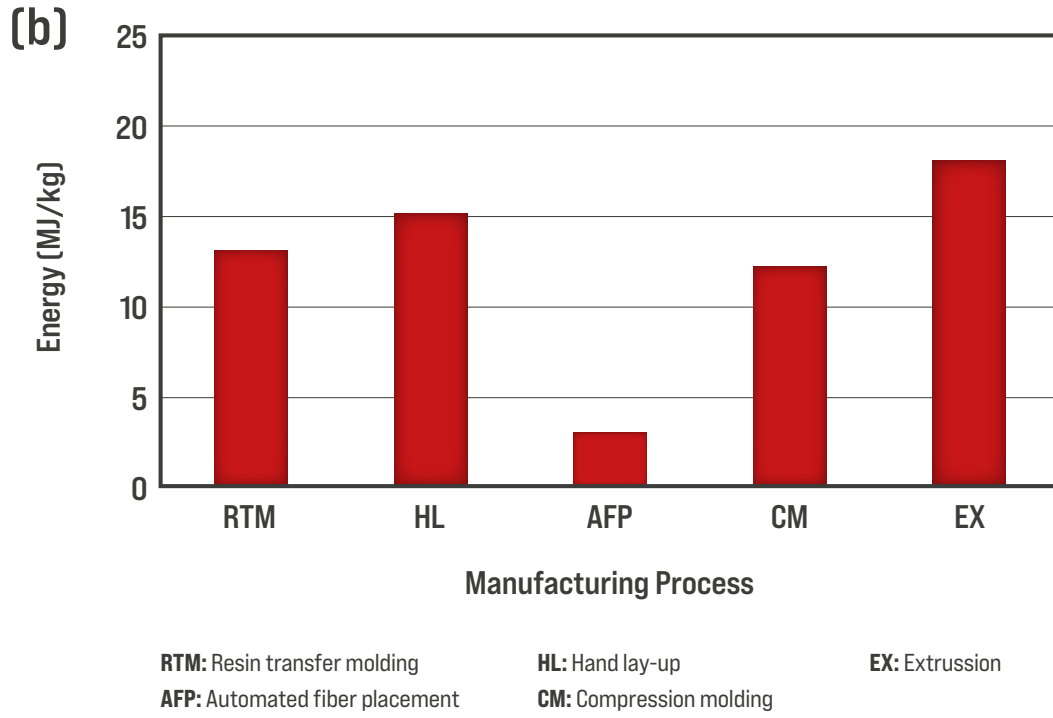
Gelişmiş ülkelerin gelecek stratejileri incelendiğinde yüksek performanslı malzeme tasarımında fizik tabanlı ve veri odaklı makine öğrenimi araçlarının kullanımına yöneldikleri dikkat çekmektedir. Kullanılacak kompozit malzemelerin zorlu performans şartları (ses üstü hız vb.) altında malzeme davranışının testipi için yeni test metotları, ekipmanları ve malzeme performansına yönelik modelleme yeteneklerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte yüksek talep gören teknolojilerde kritik malzemelerin kullanımının azaltılmasının ve muadil malzeme geliştirme gibi çözümlere önem verildiği görülmektedir [16].

5.2 KOMPOZİT İMALAT TEKNOLOJİLERİ

Kompozit malzemelerin üstün özellikleri, özel imalat teknolojilerinin geliştirilmesi gerekliliğini de doğurmuştur. İmalat tekniklerindeki yenilikler sadece kompozitlerin performansını artırmakla kalmamış, aynı zamanda kullanımlarını da daha uygun maliyetli hale getirmiştir.

Şekil 5.4'te bulunan grafikte proseslere göre malzeme, kalıp, işçilik maliyeti ve enerji tüketimi ilişkisi sunulmuştur [17]. Grafikte yer alan imalat teknolojilerinin maliyet dağılımı incelendiğinde, özellikle kalıp ve işçilik maliyetlerinin öne çıktığı görülmektedir. İşçilik maliyetinin ekstrüzyon, kalıpla sıkıştırma ve AFP için düşük seviyede olduğu ve düşük enerji tüketimi ile AFP gibi otomasyon teknolojilerinin ise diğer üretim metotlarından ayrıştığı gözlenmektedir. [17].





Şekil 5.4 Proseslere Göre Malzeme, Kalıp, İşçilik Maliyetleri ve Enerji Giderleri[17]

Kompozit imalatı, daha verimli, uygun maliyetli ve çevre dostu süreçlere duyulan ihtiyaç nedeniyle dönüşümün yaşandığı bir aşamadan geçmektedir. Bu alandaki yenilikler yalnızca kompozit malzemelerin performansını ve çok yönlülüğünü arttırmayı değil, aynı zamanda bunların üretimiyle ilgili yüksek maliyetler, uzun işlem süreleri ve çevresel etkiler gibi zorlukları da indirgemeyi amaçlamaktadır. Takip eden bölümde kompozit üretiminde son dönemlerde öne çıkan birkaç teknik için mevcut durum ve gelecek öngörüsü hakkında bilgi verilmiştir.

Geleneksel üretim yöntemleriyle elde edilmesi zor veya imkânsız olan karmaşık geometrileri üretme yeteneği sunan Eklemeli İmalat Teknolojileri; yapısal olmayan parçalarda kompozit teknolojileri için de sunduğu tasarım özgürlüğü ile ön plana çıkmaktadır.

Eklemeli İmalat Teknolojisinin atık oluşumu ve envanter gereksinimlerini azaltmasının yanı sıra, tasarım esnekliği ile havacılık ve otomotiv gibi endüstrilerde önemli faktörler olan hafiflik ve tamamlayıcı proses olan parça birleştirme konusunda yeni olasılıkların önünü açmaktadır.

Eklemeli İmalat Teknolojilerinin yaygınlaştırılması amacı ile tüm kullanıcıların erişimi mümkün olan süreç optimizasyonu yazılımlarının ve yeni sensörlerle kontrol yeteneklerinin geliştirilmesi kompozit teknolojilerinde önde gelen ülkelerin stratejileri arasında yer almaktadır. Ayrıca, makine öğrenimi algoritmalarının geliştirilerek Eklemeli İmalat Teknolojilerinin akıllı üretim platformları ile entegre edilmesi de üzerinde odaklanılan teknoloji alanları arasındadır [16].

Ülkelerin uzaya ulaşımı ile gelecek dönemlerde uzayda üretim altyapısı ihtiyacı olacağı uzmanlar tarafından belirtilmektedir. Yerçekimsiz ortamlarda yeni eklemeli imalat süreçlerinin geliştirilmesi ve gelişmiş uzay araştırmaları için robot teknolojisinin uzay içi eklemeli imalat süreçleriyle entegrasyonunu sağlaması üzerine çalışılan önemli konular arasında yer almaktadır. Bahse konu teknolojilerin geliştirilmesi; uzaya dayalı ekonomiyi genişleterek ve gelecek nesil öğrencilere, yenilikçi liderlere ilham vererek uzaydaki liderliği geliştirmek ve hızlandırmak açısından önem arz etmektedir [16].

Bununla beraber, Termoplastik Kompozit İmalat teknolojileri, proses kolaylıkları ve geri dönüşüm potansiyellerinin yüksek olması nedenleri ile otomotiv ve havacılık uygulamaları için giderek daha kritik hale gelmektedir. Özellikle AFP yöntemiyle termoplastik elyaf serme, termoplastik kaynak, pres kalıplama ve yerinde konsolidasyon teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde yüksek performanslı termoplastik matrisli kompozitlerin havacılık endüstrisinde kullanım olanakları günden güne artmaktadır.

Termoplastik Kompozitlerin İmalat Teknolojilerine yönelik mevcut gelişmeler incelendiğinde Yerinde Polimerizasyon Teknolojisi (ing, in-situ polynmerization) ile takviye elyaflarının emprenye edilmesini geliştirilebildiği ve böylelikle işlem sürelerini azaltılabileceği görülmektedir. Bir diğer kompozit imalat teknolojisi olan Kaynak ve Birleştirme Teknolojileri ise bağlantıların güvenilirliğini ve gücünü arttırmakta ve bu malzemelerin potansiyel uygulamalarını genişletmektedir.

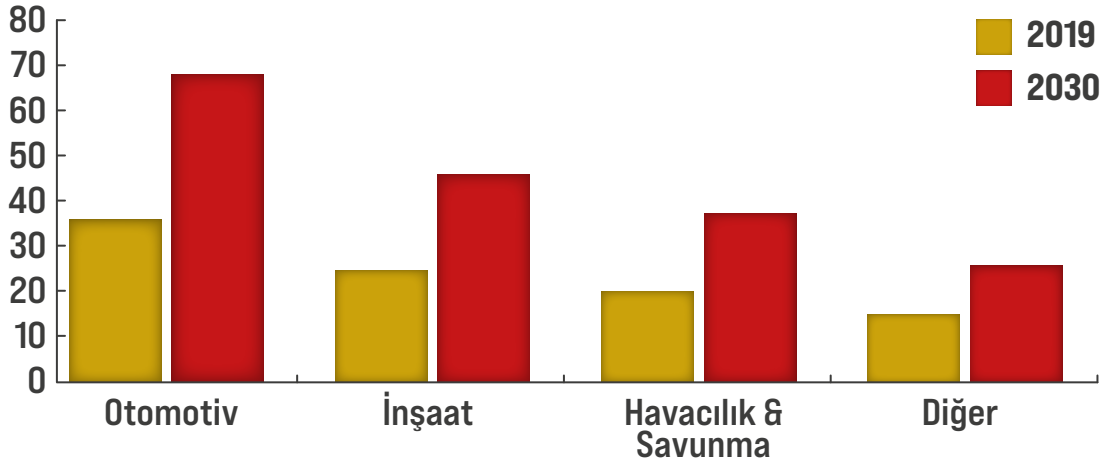
Sektörün hızlı, verimli üretim ve sürdürülebilirlik ihtiyacı ile yeni reçinelerin ve takviye elyafların geliştirilmesi de dâhil olmak üzere kompozit malzemelerdeki ilerlemelerin Robotik ve Otomasyon Destekli İmalat Teknolojilerinin gelişmesini sağlayacak ve özellikle AFP ve ATL teknolojilerini etkileyecektir. Özellikle havacılık, otomotiv, rüzgâr enerjisi ve savunma sektörlerindeki artan taleplerden kaynaklı olarak AFP ve ATL İmalat Teknolojileri'nde 2023'ten 2030'a kadar önemli bir büyüme öngörülmektedir. Buna paralel olarak, IoT (Nesnelerin İnterneti), Yapay Zekâ ve büyük veri analitiği gibi diğer Endüstri 4.0 teknolojileriyle entegrasyonunun verimliliğini arttırması, israfı azaltması ve ürün kalitesini iyileştirmesi de beklenmektedir.

Kompozit İmalat Teknolojilerinde dijital üretime geçiş, gelişmiş ülkelerin stratejileri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda algılama, kontrol teknolojileri ve makine öğreniminin imalat sektöründe uygulanmasını sağlamak amaçlanmaktadır. İmalat teknolojisinde dijital ikizleri takip ederek akıllı üretimi geliştirmek ve akıllı üretimin kusursuz entegrasyonunu sağlamak için veri uyumluluğuna yönelik standartlar geliştirilmesinin önümüzde yıllarda üzerinde çalışılan önemli konular arasında olacağı literatürde yer almaktadır [16].

5.3 KOMPOZİT TEKNOLOJİLERİNİN SEKTÖRLERE GÖRE İNCELENMESİ

Kompozit İmalat Teknolojilerinin 2030'a kadar başta havacılık, savunma, inşaat, otomotiv olmak üzere çeşitli sektörlerin üretim hızını ve verimliliğini artırıcı yönde büyümesi beklenmektedir. Bu tahmin spekülatif nitelikte olmayıp, devam eden trendlere, teknolojik gelişmelere ve ürünler için ağırlıklı olarak kompozit malzemelere dayanan kilit endüstrilerin değişen taleplerine dayanmaktadır. Özellikle havacılık, otomotiv, inşaat ve yenilenebilir enerji sektörleri daha gelişmiş, verimli ve sürdürülebilir üretim tekniklerine olan talebin artmasında ön sıralarda yer almaktadır.

2030 yılına kadar sektörlere bağlı tahmini kullanım artış oranları Şekil 5.5'te yer almakta olup, pazar büyüklüğü değerinin de %6.7 oranında artması beklenmektedir. Bu doğrultuda, sektörlerin her biri hem mevcut tekniklerin geliştirilmesi hem de yeni teknolojilerin benimsenmesi yoluyla kompozit imalatını güçlendirmektedir.



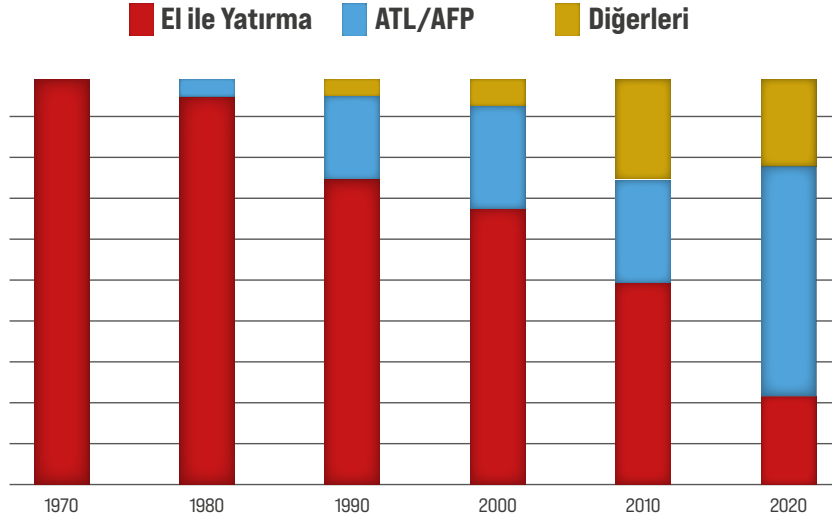
Şekil 5.5 2030 Yılına Kadar Kompozit Kullanımının Sektörlere Bağlı Artışları Tahmini [18]

Mevcut uygulamalar ve 2030'a kadar gelişmelerini şekillendirmesi beklenen yeni teknolojiler de dâhil olmak üzere bu sektörlerin kompozit malzemeleri kullanımına ilişkin değerlendirmeler sektör bazında incelenmiş ve takip eden bölümde sunulmuştur.

• Havacılık Sektörü

Havacılık ve uzay, yüksek mukavemet/ağırlık oranı nedeniyle büyük ölçüde kompozitlere dayanan ve her kilogramın işletme maliyetine katkıda bulunduğu uçak ve uzay araçlarında kritik öneme sahip olan bir endüstridir. Havacılık ve uzay sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin güncel üretim tekniklerinde Prepreg Layup ve Otoklav Kürleme metotları yer almaktadır.

Kompozit İmalat Teknolojilerinde 1970 yılından 2020 yılına kadar olan gelişim Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 1970'ten 2020 Yılına Kadar Gelişen Kompozit İmalat Teknolojileri [19]

Havacılık ve uzay sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin üretimindeki yükselen trendler incelendiğinde, otoklav kürlemesinin maliyetini ve enerji gereksinimlerini azaltmak amacı ile Otoklav Dışı İmalat Teknolojilerinin öne çıkan konular arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Bununla beraber, AFP/ATL İmalat Teknolojileri üretim hassasiyeti, daha az işçilik maliyeti ve yüksek tutarlılığı ile tercih edildiği tespit edilmiştir [4].

Havacılık endüstrisinde düşük maliyetli karbon elyaf geliştirilmesi, yüksek performanslı hızlı kürlenen reçineler, yüksek ağırlıklı elyaf içeren tek yönlü prepreg malzemeler, kuru preformlar ve otoklav dışında kürlenen malzemeler öne çıkan diğer teknolojiler arasındadır [4].

• Otomotiv Sektörü

Otomotiv sektörü ile ilişkili çalışma ve raporlar incelendiğinde 2000'li yıllardan sonra karbon kompozit ürün geliştirme ve kullanımında yükselen bir eğilim olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebepleri karbon emisyon oranlarının azaltılması için planlanan yasal düzenlemeler, elektrikli araçlara (EV'ler) yönelik yönelim ve güvenlik veya performanstan ödün vermeden ağırlığın azaltılması ihtiyacının kompozit teknolojiler ile sağlanabilecek olmasıdır.

Otomotiv sektöründeki hızlı imalat ve geri dönüştürülebilirlik gereksinimlerinin yanı sıra yakıt verimliliği ve performans iyileştirme arayışı, hızlı kürlenen reçineler ve termoplastik matrisli kompozitler üzerine yoğunlaşılmasına neden olmuştur [4].

Sektörde mukavemeti artırmaya ve üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik imalat teknolojileri halen araştırılmaktadır. Hali hazırda Levha Kalıplama Yöntemi (Sheet Moulding Compund) ve Reçine Transfer Kalıplama (RTM) teknolojileri tercih ediliyor olsa da Eklemeli İmalat Teknolojileri, henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen, tasarımında ve üretiminde kullanım potansiyelinin önemli ölçüde büyümesi beklenen bir diğer imalat teknolojisidir.

• Füze - Savunma Sektörü

Füze sektörü, performans iyileştirmeleri, menzil genişletme, ağırlık azaltma ve gizlilik yeteneklerine yönelik sürekli arayışların etkisiyle kompozit malzeme ve imalatında önemli ilerlemeler kaydetmiştir.

Füze burun konileri gibi aşırı ısıya dayanması gereken parçalarda Karbon-Karbon Kompozitler öne çıkarken radom ve motor bileşenlerinde Seramik Matrisli Kompozitler yüksek sıcaklık dayanımı ile tercih sebebi olmaktadır. Seramik Matrisli Kompozitlere olan ihtiyacın özellikle savunma sektöründe artması ile daha uygun maliyetli ve güvenilir üretim süreçleri geliştirme çalışmaları, yakın vadede kritik önem kazanacaktır. Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler ise maliyet hususlarının çok önemli olduğu daha az kritik yapısal bileşenlerde iyi mukavemet ve ağırlık avantajları sunmaktadır. Sektörde yoğun olarak ATL/AFP ve Reçine Transfer Kalıplama (RTM), Eklemeli İmalat Teknolojileri tercih edilmektedir.

Basıncı kaplar uzay fırlatma araçları için de önemli teknolojiler arasındadır [4]. Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanımına yönelik eğilimin dikkat çektiği kompozit basınçlı tank teknolojisinde NASA ve Boeing tarafından geliştirilen Tip 5 kriyojenik kompozit sıvı oksijen tankları bu alanda oyun değiştirici olmuştur. Sıvı yakıtlı roket motorlarının kriyojenik yakıtlarının depolanması amacıyla geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar uzun yıllardır devam etmekle birlikte ESA, SpaceX, Firefly gibi fırlatma aracı sağlayan neredeyse tüm kurumların söz konusu teknolojiyi geliştirmek ve kalifiye etmek için çalıştığı bilinmektedir [6].

Temiz enerji kaynağı olan hidrojen yakıtlarının depolanmasında filaman sargı yöntemi kullanılarak üretilen Tip 3 (metal astarlı), Tip 4 (termoplastik astarlı) ve hatta Tip 5 (astarsız) yapıda karbon elyaf takviyeli kompozit tanklar tercih edilmektedir [4, 5, 20, 21].

Basıncı kap sektöründe yaşanan gelişmeler, filaman sargı prosesinde ıslak sarıma göre tekrarlanabilirlik, hızlı üretim süreleri, proses edilebilirlik gibi birçok avantajı bulunan ön emdirilmiş elyaf (*ing.* towpreg) talebinin de artmasına sebep olmuştur. 2021 yılında 250 milyon USD olan towpreg pazarının 2026 yılında 440 milyon USD'ye çıkması beklenmektedir [22].

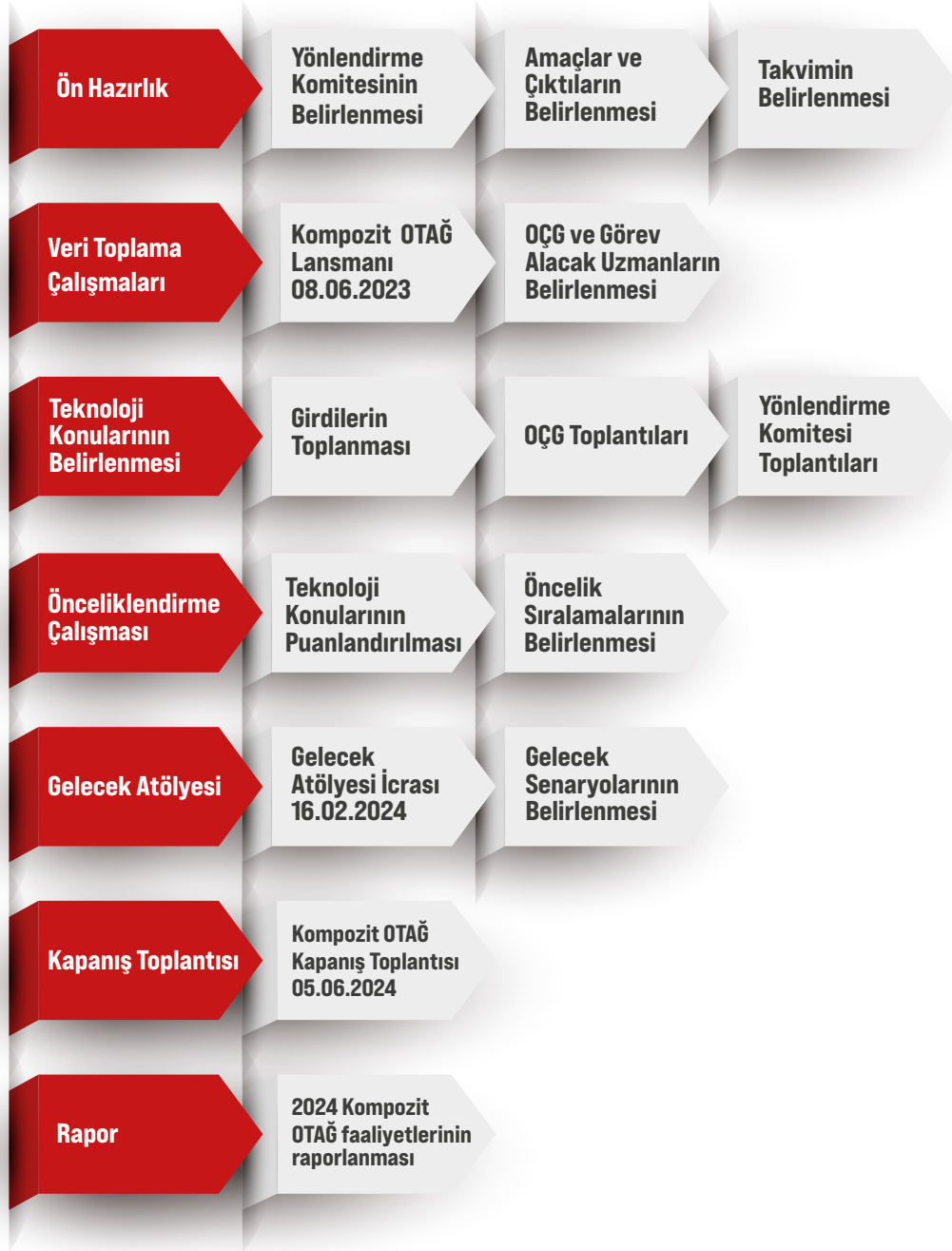
• Rüzgâr Enerjisi Sektörü

Rüzgâr enerjisi sektöründe, yoğunlukla cam elyaf kullanılmakta olup, karbon elyafli kompozitlerin kullanımının artması düşük maliyetli karbon elyaf teknolojisine bağlıdır. Bu nedenle maliyet etkin ve yüksek performanslı karbon elyaf teknolojisi için kullanılan ham malzemeden proseslere kadar uygun alternatifler bulunmasına yönelik sayısız çalışma devam etmektedir. Bu sektörde maliyet etkin ve yüksek performans gereksinimlerini sağlayan yüksek ağırlıklı elyafları kullanan pultrüzyonla kompozit üretim teknolojisi de öne çıkan teknolojiler arasındadır [4].

Rüzgâr enerjisi sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin güncel üretim teknikleri arasında Elle Serme, Vakum İnfüzyon yer almaktadır. Paller için büyük kompozit yapıların tutarlılığını ve kalitesini artırmak için ATL/AFP İmalat Teknolojisi gelişim gösteren teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır. Üretim sürelerinin ve pal üretiminin çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla daha hızlı kürlenene ve daha çevre dostu reçine sistemleri geliştirme çalışmaları da devam eden Teknoloji Konuları arasında yer almaktadır [23].

6. 2024 KOMPOZİT OTAĞ FAALİYETLERİ

2019 KTYH'nin güncellenmesi amacıyla gerçekleştirilen 2024 Kompozit OTAĞ faaliyetlerin planlaması Şekil 6.1'de yer almaktadır.



Şekil 6.1 Çalışma Takvimi

2024 Kompozit OTAĞ ön hazırlık çalışmaları kapsamında tüm OÇG faaliyetlerinin yönetilmesi ve çalışmanın koordinasyonundan sorumlu olacak Yönlendirme Komitesi belirlenmiştir. Yönlendirme komitesi üyelerinin adları ile temsilcisi oldukları kurum ve kuruluş bilgisi Tablo 6.1'de yer almaktadır.

Tablo 6.1 Yönlendirme Komitesi Üyeleri

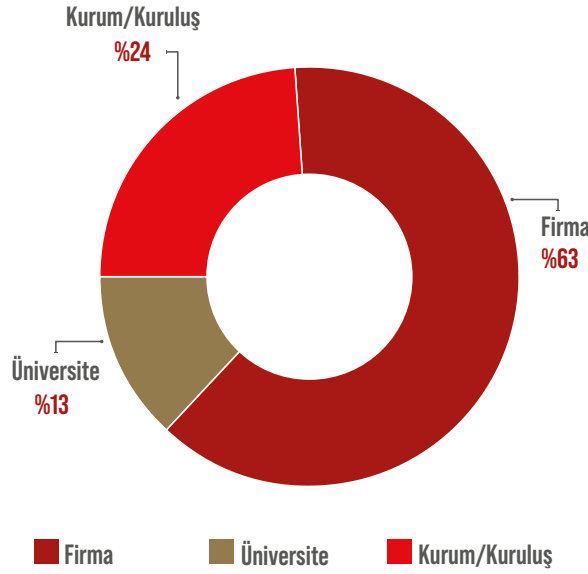
	Deniz DEMİRCİ Elif Eda YENİ Tufan ÇAN Buse ÇETİN CİN
	Dr. Mehmet Erdem ÇORAPÇIOĞLU Kevser Sinem ŞİMŞEK TÜRELİ Mertcan ÖZÇELİK Merve YÜLEK
	Aysun DOĞANGÜN AKIN Dr. İdil AYAN COŞKUN
	Doç. Dr. Tuba ERDOĞAN BEDRİ Betül KAHRAMAN DÖNMEZ
	Doç. Dr. Hatice Sinem ŞAŞ ÇAYCI
	Eylem ÖZEN Dr. İsmınur GÖKGÖZ Barış AKGÜN Fatih GÜNER

Yönlendirme Komitesi ile yapılan ön hazırlık çalışmaları kapsamında 2024 Kompozit OTAĞ güncelleme çalışmalarının amaçları ve takvimi belirlenmiştir. 2019 KTYH çalışmalarında “Malzeme”, “İmalat”, “Test ve Tahribatsız Muayene” ve “Tasarım ve Analiz” odak çalışma grupları yer alırken, 2024 Kompozit OTAĞ çalışmalarının “Malzeme” ve “İmalat” OÇG’leri aracılığıyla yürütülmesi kararlaştırılmıştır. OÇG Liderleri ise Tablo 6.2’de sunulduğu şekilde belirlenmiştir.

Tablo 6.2 Odak Çalışma Grubu Liderleri

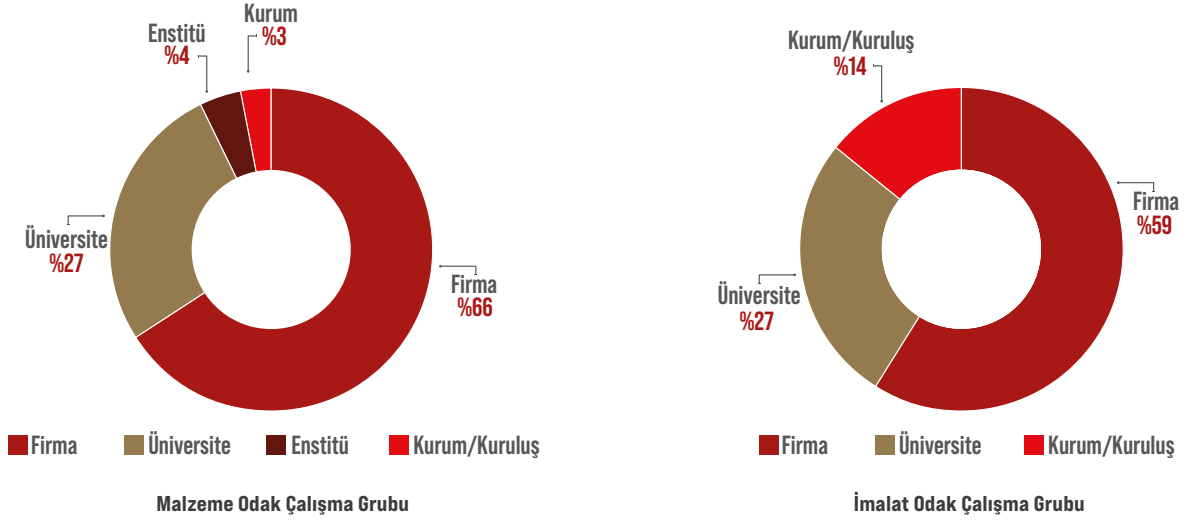
Odak Çalışma Grubu	Lider Firma/Kurum/Üniversite	Odak Çalışma Grubu Lideri
Malzeme	TÜBİTAK MAM	Doç. Dr. Tuba ERDOĞAN BEDRİ
	ROKETSAN	Eylem ÖZEN
İmalat	ASELSAN	Aysun DOĞANGÜN AKIN
	SABANCI ÜNİVERSİTESİ	Doç. Dr. Hatice Sinem ŞAŞ

2024 Kompozit OTAĞ faaliyetleri, savunma, havacılık ve uzay alanlarında stratejik öneme sahip kompozit teknolojilerinin belirlenip 2019'da yayınlanan KTYH'nın, güncelleme çalışmalarının ilk adımı olarak, 8 Haziran 2023 tarihinde gerçekleştirilen Lansman Toplantısı ile başlatılmıştır. Çeşitli kurum, kuruluş, firma, araştırma enstitüsü ve üniversiteden yaklaşık 170 temsilcinin katılım sağladığı Lansman Toplantısının katılımcı dağılımı Şekil 6.2'de sunulmuştur.



Şekil 6.2 Lansman Toplantısı Katılımcı Dağılımı

OÇG katılımcılarına ait dağılım Şekil 6.3'te, katılım sağlayan alanında deneyim sahibi Firma, Üniversite ve Kurum/Kuruluşlara ait liste ise EK-1'de yer almaktadır.



Şekil 6.3 Odak Çalışma Grubu Katılımcıları Dağılımı

6.1 VERİ TOPLAMA ÇALIŞMALARI

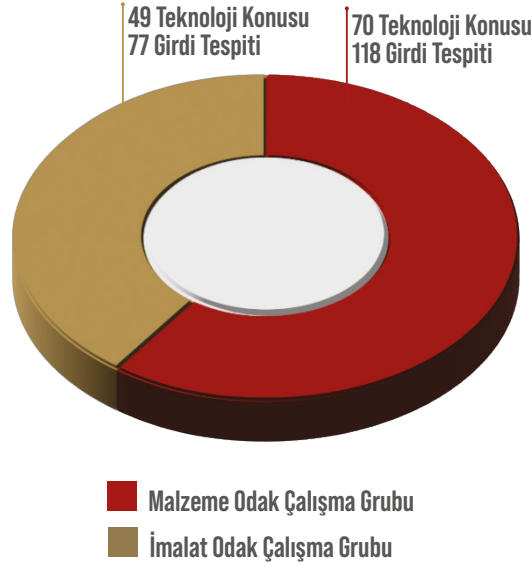
2019 KTYH ile belirlenen Teknoloji Konularındaki çalışmalarda gelinen durumun belirlenmesi, çalışmanın tamamlanmasından bu yana ortaya çıkan yeni teknoloji konularının tespiti ve çalışılmayan teknoloji konularının yol haritasından çıkarılması 2024 Kompozit OTAĞ çalışma metodolojisinin ilk adımını oluşturmaktadır.

Bu kapsamda, lansman toplantısı aracılığıyla paydaşlara 2024 Kompozit OTAĞ çalışması hakkında bilgi ve beklentiler aktarılmış, katılımcıların uzmanlık alanları doğrultusunda Malzeme, İmalat veya her iki OÇG'ye birden kayıt olabilecekleri bir anketi doldurmaları talep edilmiştir. Lansman toplantısı sonucunda güncel paydaşlar tespit edilmiş, çalışma grupları oluşturulmuş ve çalışmanın ilk adımı atılmıştır. İlgili çalışma grupları oluşturulmuş ve katılımcılardan "Girdi Talep Formu" ve "Yeni Konu Öneri Formu"na katkıları talep edilmiştir. "Girdi Talep Formu" ile 2019 KTYH'da yer alan Teknoloji Konularındaki mevcut durumun tespiti amaçlanırken, "Yeni Konu Öneri Formu" ile ise sonradan ortaya çıkan ihtiyaçlara yönelik Teknoloji Konuları derlenmiştir.

Yeni Konu Öneri Formu ve Girdi Talep Formları aracılığıyla OÇG katılımcılarının katkı ve girdileri toplanarak Malzeme ve İmalat Teknolojileri nihai hale getirilmiştir. Elde edilen Teknoloji Konularının önceliklendirme çalışmaları yürütülmüştür.

2024 Kompozit OTAĞ kapsamında düzenlenen Odak Çalışma Gruplarının birinci toplantısı 12-13 Eylül 2023 tarihlerinde çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili toplantılarda mevcut durumun değerlendirilmesi hedeflenmiş ve 2019 KTYH'da yer alan Teknoloji Konularında gelinen noktanın, elde edilen sonuçların, karşılaşılan sorunlar ve/veya ertelemelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Paydaşlara iletilen Güncel Durum Girdi Formları aracılığıyla 38 farklı alan uzmanından 195 adet girdi elde edilmiştir. Bahse konu girdilerin Malzeme ve İmalat OÇG'lere göre dağılımı Şekil 6.4'te sunulmuştur.



Şekil 6.4 Teknoloji Konularına İlişkin Gelişme Bildirimi

Yönlendirme Komitesi toplantılarında değerlendirilen Güncel Durum Girdi Formları, OÇG liderleri tarafından Tablo 6.3'de yer alan "Girdi Konsolidasyon Formu"nda toplanmıştır. Teknoloji Konularının konsolide edilmesiyle 2019 KTYH ile gelinen nokta belirlenmiş, teknoloji kazanım faaliyetleri sırasında karşılaşılan sorunlar ve/veya ertelemelerin sebepleri tespit edilmiştir.

Tablo 6.3 Girdi Konsolidasyon Formu

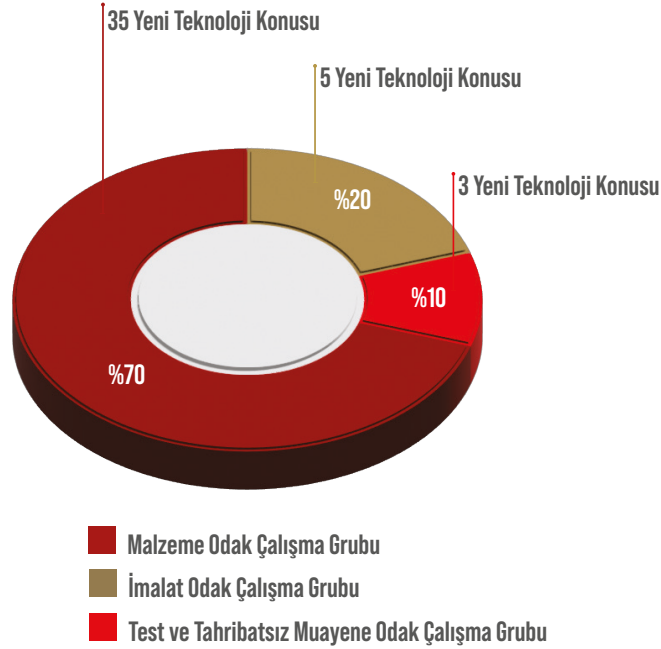
Alt Konu Başlığı	Teknoloji Konusu	2019 OTAĞ		2024 OTAĞ				Ek Görüş Tespit Edildi
		Kazanım Yılı Kısa 1-5 Orta 5-10 Uzun>10	Önceliklendirme	Güncel Kazanım Yılı Kısa 1-5 Orta 5-10 Uzun>10	Güncel Öncelik Durumu Değişimi	Statü	Tespit Edilen Hususlar	
Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Teknoloji Konusu-1	Kısa	2. Öncelik	Kısa 1-5	Önceliği artırılabilir	Devam Ediyor	Bu alanda paydaş firmaların teknolojileri olduğunu tespit ettik. Tamamlanan projelerin yanı sıra devam eden projeler de var. Farklı platformlara ve malzemelere uygulanabilecek olgunlukta ürün ihtiyacı devam etmektedir. Kısa vadede kazanılması gereken bu konunun önceliğinin arttığını da görüyoruz.	Hayır
Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Teknoloji Konusu-2	Kısa	2. Öncelik	Kısa 5-10	Önceliği aynı kalabilir	Bilgi Bekleniyor	Orta vadede sistemlerimiz tarafından ihtiyaç duyulabilecek konuya ilişkin bilgi beklemekteyiz.	Hayır

13 Eylül 2023 ve 29 Kasım 2023 tarihlerinde Malzeme Odak Çalışma Grubu, 12 Eylül 2023 ve 1 Aralık 2023 tarihlerinde ise İmalat Odak Çalışma Grubu toplantıları gerçekleştirmiştir. 2019 KTYH ile belirlenen Teknoloji Konuları çerçevesinde sanayi ve akademi girdileri göz önüne alınarak detaylı değerlendirme yapılmıştır.

6.2 TEKNOLOJİ KONULARININ BELİRLENMESİ

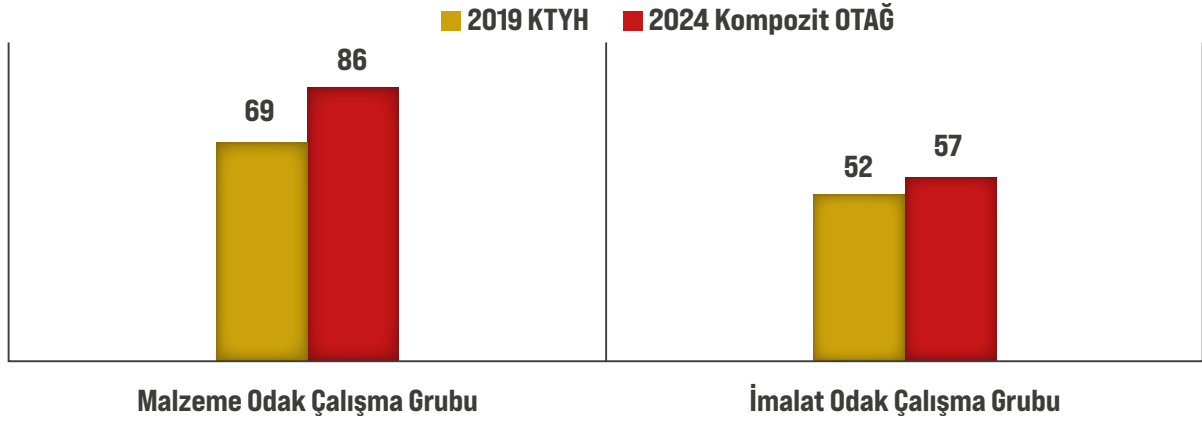
Kompozit Teknolojileri alanında ihtiyaç duyulan yeni Teknoloji Konuları “Yeni Konu Önerisi Formu” aracılığıyla toplanmıştır. Formlarda önerisi bulunan Teknoloji Konusunun mevcut durum ve risk analizi, kazanım yöntemi önerisi ve hedef platform kriterleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

9 firma ile 4 üniversite/araştırma enstitüsü tarafından 51 adet Yeni Konu Önerisi sunulmuştur. Önerilen yeni konuların OÇG’ler özelinde dağılımları Şekil 6.5’te sunulmuştur.



Şekil 6.5 Yeni Konu Önerisi Sayıları ve Dağılımı

Değerlendirmeler neticesinde, 2024 Kompozit OTAĞ’a değişen ihtiyaçlar ve yeni eğilimler doğrultusunda 16 adet yeni Teknoloji Konusu eklenmiştir. Bu kapsamda Kompozit Malzeme Teknolojileri konu sayısı 2019 yılına kıyasla %24, İmalat Teknolojileri konu sayısı ise %9 artmış olup konu sayısına göre detaylı kıyaslama Şekil 6.6’da yer almaktadır.



Şekil 6.6 2019 KTYH ile 2024 Kompozit OTAĞ Çalışmalarında Değerlendirilen Teknoloji Konu Sayıları

29 Kasım-1 Aralık 2023 tarihlerinde gerçekleştirilen 2. Odak Çalışma Grubu Toplantıları kapsamında Yeni Konu Önerileri ile mevcut Teknoloji Konularını konularının olgunluk seviyeleri beraber ele alınmıştır. Buna ek olarak, kullanıcı kurumlardan yetenek ihtiyaçları talep edilmiş, bu ihtiyaçların Teknoloji Konuları ile ilişkisi kurularak yol haritası hazırlık çalışmalarında göz önünde bulundurulmuştur.

2. OÇG toplantısı kapsamında katılım sağlayan sanayi ve akademinin değerli paydaşlarının katkıları ve yönlendirme komitesinin değerlendirmesi ile yeni önerilen konu başlıkları ve/veya aynı başlıkta yer alan Teknoloji Konuları değerlendirilmiş, belirlenen tüm Teknoloji Konuları için “Kritiklik”, “Dünyadaki Durum”, “İnsan Kaynağı”, “Altyapı”, “Çift Kullanım”, “Tedarik Projelerine Uygulama” ve “Temin Riskleri” başlıkları altında değerlendirmeler yapılmıştır.

Önceliklendirme metodolojisi için girdi oluşturacak değerlendirme kriterleri tüm paydaşların görüşüne sunulmuş ve ortak görüş birliğine varılan sayısal değerler belirlenerek yönlendirme komitesinin değerlendirmesi sonrası nihai hale getirilmiştir.

6.2.1 MALZEME ODAK ÇALIŞMA GRUBU

29 Kasım 2023 tarihinde çevrimiçi gerçekleştirilen toplantı kapsamında, 8 firma ve 3 üniversite tarafından önerilen yeni Teknoloji Konuları ile birlikte mevcut Teknoloji Konularının kapsamı değerlendirilmiş, teknolojide gelinen nokta, dünyadaki durum gibi faktörler dikkate alınarak Teknoloji Konuları konsolide edilmiştir.

Çalışmalar sonucunda, 2019 yılında belirlenen ve 9 alt konu başlığı altında sınıflandırılan 68 teknoloji konusu arasından bazı Teknoloji Konu başlıklarının adı güncellenmiş, bunun yanı sıra Sürdürülebilirlik ve Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri isimli 2 yeni Alt Konu Başlığı eklenmiştir.

Alt Konu Başlığı ve Teknoloji Konularında 2019 ve 2024 yıllarında ele alınan başlıklar, yine Alt Konu Başlığı ve Teknoloji Konuları özelinde yapılan değerlendirmeler ile 2024 yeni Teknoloji Konuları ve güncellemede esas alınan hususlar genel hatlarıyla Tablo 6.4’te verilmiştir.

Tablo 6.4 Malzeme Odak Çalışma Grubu 2019-2024 OTAĞ Teknoloji Konuları Değerlendirmesi

Alt Konu Başlığı	2019 OÇG	2024 OÇG
	Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi	Güncellenen Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi
Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozitlerin Geliştirilmesi	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri
	Buzlanma Önleyici/Giderici Kaplamalar	Fonksiyonel Kaplamalar (Buzlanma Önleyici/Giderici, Yağmur Erozyonu Önleyici, İletken vb.)
	Optik Özelliği İyileştirilmiş Nanomalzemeler	Optik Özelliği İyileştirilmiş Saydam Malzemeler
	Yenilikçi Arayüzey Teknolojileri	Yenilikçi Kompozit ve Elyaf/Kumaş Arayüzey Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Fonksiyonel (RF, Isıl ve/veya Yapısal) Seramik Kaplamaları
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Kompozit Yapısal Enerji Depolama, Batarya ve Süper Kapasitörler
Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Teknolojileri	Balistik Koruma Amaçlı Kompozitlerin Geliştirilmesi	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Teknolojileri
	Giyilebilir Tekstil Yapıları ve Seramik Matrisli Malzemeler	Polimer Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler Seramik Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler
Elyaf Malzeme Teknolojileri	Elyaf Tasarımı ve Üretimi	Elyaf Malzeme Teknolojileri
	Yüksek Silika Elyaf	Yüksek Silika Elyaf (Silika oranı > %95)
	Kuartz Elyaf	Kuartz Elyaf (Silika oranı > %99.9)
	Yüksek Modül/ Mukavemet Cam Elyaf	S Cam Elyaf Havacılık Sınıfı E Cam Elyaf
Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Termoplastik Malzemelerin Geliştirilmesi	Termoplastik Malzeme Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Poliimid (PI) Matris ve Ham maddeleri
	Poli (eter eterketon) (PEEK) Matris	Poli (eter eterketon) (PEEK) Matris ve Ham maddeleri
	Poli (eter imid) (PEI) Matris	Poli (eter imid) (PEI) Matris ve Ham maddeleri
	Polifenilen Sülfid (PPS) Matris	Polifenilen Sülfid (PPS) Matris ve Ham maddeleri
	Poli (arilen eterketon) (PAEK) Matris	Poli (arilen eterketon) (PAEK) Matris ve Ham maddeleri
	Poli (eter ketonketon) (PEKK) Matris	Poli (eter ketonketon) (PEKK) Matris ve Ham maddeleri

Alt Konu Başlığı	2019 OÇG	2024 OÇG	
	Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi	Güncellenen Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi	
Termoplastik Malzeme Teknolojileri	PEEK/PPS Towpreg	Yüksek performanslı Termoplastik Towpreg (PEEK, PPS v.b.)	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Köpük core malzemeleri (Polymetacrylimide (PMI), [syntactic v.b.]	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Termoplastik Yağmur Erozyon Koruma Malzemesi	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Termoplastik Yapıştırıcı	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Termoplastik Ağ ile Güçlendirilmiş Dar Şerit Prepreg Malzemeler	
Termoset Malzeme Teknolojileri	Termoset Malzemelerin Geliştirilmesi	Termoset Malzeme Teknolojileri	
	Epoksi Reçine (120 kür)	2-Fonksiyonlu Epoksi Reçine (120 °C kür, ıslak ve prepreg uyg.)	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	3-4 Fonksiyonlu Epoksi Reçine (120 °C ve 180 °C kür, ıslak ve prepreg uyg.)	
	Epoksi Reçineli Prepreg (120 °C kür)	Epoksi Reçineli Prepreg (120 °C kür, karbon, cam elyaf, aramid v.b. takviyeli)	
	Otoklav Dışı Üretim Teknikleri için Reçine (180 kür)	Otoklav Dışı Üretim Teknikleri için Prepreg (180 °C Kür, karbon, cam elyaf, aramid v.b. takviyeli)	
	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı ($T_g > 230$ °C) (BMI,vb.) Prepreg ve Yüksek Sıcaklık Dayanımlı ($T_g > 230$ °C) (BMI,vb.) Reçine	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı ($T_g > 230$ °C) (BMI, PI vb.) Prepreg	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı ($T_g > 230$ °C) Reçine (BMI, PI vb.)	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Reçine	
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Prepreg	
	Termoset Yapıştırıcı		180 °C Kür Yapısal Epoksi Film Yapıştırıcı ve Yüzey Filmi
			120 °C Kür Yapısal Epoksi Film Yapıştırıcı ve Yüzey Filmi
			Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Yapısal Film Yapıştırıcı (BMI, Siyanat Ester vb.)
Havacılık Sınıfı Yüksek Sıcaklık ve Mukavemet Dayanımlı Epoksi ve Silikon Pasta Yapıştırıcı			

Alt Konu Başlığı	2019 OÇG	2024 OÇG
	Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi	Güncellenen Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi
Termoset Malzeme Teknolojileri	<i>Konu bulunmuyor</i>	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı İnce Tabaka Yapısal Yapıştırıcı
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Bal Peteği Cam-Siyanat Ester
	Bal Peteği Aramid	Bal Peteği Aramid-Fenolik
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Kürlenme Süresi Hızlı olan Prepregler
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Termoset Yağmur Erozyon Koruma Malzemesi
Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	<i>Alt konu başlığı bulunmuyor</i>	Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Yapısal Sağlık İzleme Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Kriyojenik Malzeme Test Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Balistik Malzeme Test Teknolojileri
Sürdürülebilirlik	<i>Alt konu başlığı bulunmuyor</i>	Sürdürülebilirlik
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Geri Dönüştürülebilir Kompozit Üretimi
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Termoplastik Atıkların Yeniden Kullanımı

6.2.2 İMALAT ODAK ÇALIŞMA GRUBU

1 Aralık 2023 tarihinde çevrimiçi gerçekleştirilen toplantı kapsamında, çeşitli firma ve üniversiteler tarafından önerilen yeni Teknoloji Konuları ile birlikte mevcut Teknoloji Konularının kapsamı değerlendirilmiş, teknolojiye gelinen nokta, dünyadaki durum gibi faktörler dikkate alınarak konsolide edilmiştir.

2019 yılında belirlenen 10 alt konu başlığına 2024 yılında “Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri” isimli Alt Konu Başlığı eklenmiştir. Bunun yanı sıra, 2019 yılında bu 10 Alt Konu Başlığı kapsamında yer alan 63 adet Teknoloji Konusu, konsolidasyon, kapsam daraltma veya kapsam genişletme çalışmaları sonucunda 2024 yılında 11 Alt Konu Başlığı ve 49 adet Teknoloji Konusu olacak şekilde nihai hale getirilmiştir. Alt Konu Başlığı ve Teknoloji Konularında 2019 ve 2024 yıllarında ele alınan başlıklar, yine Alt Konu Başlığı ve Teknoloji Konuları özelinde yapılan değerlendirmeler ile 2024 yeni Teknoloji Konuları ve güncellemede esas alınan hususlar genel hatlarıyla Tablo 6.5’te verilmiştir.

Tablo 6.5 İmalat Odak Çalışma Grubu 2019-2024 OTAĞ Teknoloji Konuları Değerlendirmesi

Alt Konu Başlığı	2019 OÇG	2024 OÇG
	Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi	Güncellenen Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi
İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri	<i>Konu bulunmuyor</i>	Hibrit Kompozit İmalatı
Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalat Teknolojileri	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalatı	Polimer Matrisli Balistik Kompozit İmalatı Seramik Matrisli Balistik Kompozit İmalatı
Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	Otoklav	Termoplastik Konsolidasyon
İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	Lazer Yardımlı Otomatik Fiber Serme Yöntemi (Laser-Assisted Fiber Placement – LAFFP)	Otomatik Fiber Serme Yöntemi ve Yerinde-İkincil-Konsolidasyon Prosesleri
	Yüzey İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	İşleme ve Birleştirme Teknolojileri
	Enerjik Yüzey Hazırlama (Lazer, plazma vb.) Teknolojileri	Yapışma Teknolojileri (Lazer ve Plazma vb. Enerjik Yüzey Hazırlama Teknikleri, Kumlama, vb.)
	Termoset Birleştirme Teknolojileri	Birleştirme Teknolojileri-Termoset
	Termoplastik (Ultrasonik, Direnç, İndüksiyon vb.) Birleştirme Teknolojileri	Birleştirme Teknolojileri-Termoplastik
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Polimerlere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Hibrit Malzemelere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri
Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri	Vacuum-assisted Resin Infusion (VARI)	Vacuum-assisted Resin Transfer Molding (VARTM)
	Vacuum-assisted Process (VAP)	
	Seeman Composite Resin Infusion Molding Process (SCRIMP)	
	Vacuum-assisted Resin Transfer Molding (VARTM)	Resin Transfer Molding (RTM)
	Light Resin Transfer Molding (LRTM)	
	3D Prefrom Resin Transfer Molding (3D-RTM)	

Alt Konu Başlığı	2019 OÇG	2024 OÇG
	Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi	Güncellenen Alt Konu Başlığı/Teknoloji Konusu İsmi
Kalıp, Takım, Fikstür Ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Termoplastik Malzemeler ile İmalat Teknolojilerine Yönelik	Termoplastik parçalar için Kalıpların Üretimi
		Termoplastik Parçalar için Kalıplarda Çarpılmaya Yönelik Kalıp Tasarımı ve Modellemesi
		Termoplastik Parçalar için Kalıpların Isıl İşlemi ve Kaplaması
	Eklemeli İmalat Teknolojilerine Yönelik	Eklemeli İmalat Teknolojileri ile Kalıp Üretimi
	Otoklav Dışı (3D RTM) İmalat Teknolojilerine Yönelik	Termoset parçalar için Kalıpların Üretimi
	Kompozit Şekillendirme/İşlemeye Yönelik	Termoset Parçalar için Kalıplarda Çarpılmaya Yönelik Kalıp Tasarımı ve Modellemesi
	Konu bulunmuyor	Termoset Parçalar için Kalıpların Isıl İşlemi ve Kaplaması
Konu bulunmuyor	Çarpılmaya Yönelik Ön Şekillendirmeli "Preshaping" Kalıp Tasarımı ve Modellemesi	
Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri	Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri	Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri
	Seramik Matrisli Kompozit İmalat Teknolojileri	Oksit ve Oksit Olmayan Seramik Matrisli Kompozit İmalat Teknolojileri
Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Robotik / Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri
	Eklemeli İmalat Teknolojilerine Yönelik	Eklemeli İmalat Teknolojilerine Yönelik Yazılım Çalışmaları
	Kompozit Tekstil (3 Boyutlu Kumaş Örme, Dikişleme, TFP) Tezgâh Tasarımı ve Üretimine Yönelik	Kompozit Tekstil (3 Boyutlu Örgü, Tailored Fiber Placement, vb.) Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları
	Otomatik fiber serme (AFP) Tezgâhı Tasarımı ve Üretimine Yönelik	Otomatik Fiber ve Şerit Serme Cihazı ile Parça Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları
	Konu bulunmuyor	Termoset Malzemeler ile Otomatik Fiber ve Şerit Serme Cihazında Parça İmalatı
	Konu bulunmuyor	Kuru Fiber ile Otomatik Fiber Serme Cihazında Preform İmalatı
	Konu bulunmuyor	Filaman Sarma Cihazı ile Parça Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları
Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	<i>Konu bulunmuyor</i>	Kompozit Malzemelerin Tahribatsız Muayene Yöntemleri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	İz Düşürücü Kompozitler için Kalite Kontrol ve Tahribatsız Muayene Teknolojileri
	<i>Konu bulunmuyor</i>	Yapıştırılan Parçaların Kalite Kontrol ve Tahribatsız Muayene Teknolojileri

6.3 ÖNCELİKLENDİRME METODOLOJİSİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

6.3.1 ÖNCELİKLENDİRME METODOLOJİSİ

2024 Kompozit OTAĞ çalışması kapsamında belirlenen Malzeme ve İmalat Teknoloji Konularının kazanım planına yön vermesi amacıyla özgün bir önceliklendirme metodolojisi geliştirilmiştir. Geliştirilen metodolojinin adımları ve her bir adımda kullanılan yöntem Şekil 6.7'de sunulmuştur.



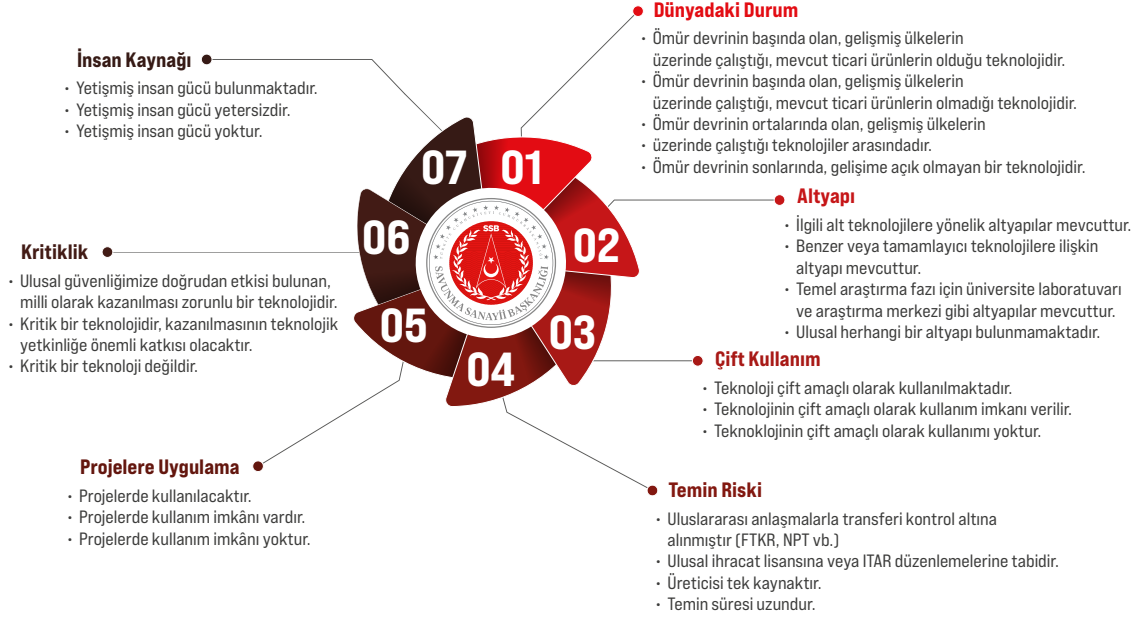
Şekil 6.7 Önceliklendirme Metodolojisi Akış Şeması

AHP ve DEMATEL yöntemleri ile kriter, alt kriter ve öznitelik ağırlıkları belirlenmiş, belirlenen pozitif ve negatif ideal Teknoloji Konuları referans alınarak TOPSIS metodu ile öncelik ve vade düzeylerine göre konular sıralanmıştır.

Geliştirilen önceliklendirme metodolojisi kapsamında Teknoloji Konularına ait vade ve öncelik değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Vade, bir teknolojinin ne zaman kullanıma hazır hale geleceğini veya etkisini göstereceğini ifade eder. Çalışma kapsamında konuların vade değerleri yakın ve uzak vade olarak kategorize edilmiştir. Öncelik ise, bir teknolojinin ne kadar önemli olduğunu ve ne kadar hızlı bir şekilde geliştirilmesi veya uygulanması gerektiğini ifade eder. Bahse konu parametrelerin ayrı ayrı hesaplanmaları ile önceliklendirme çalışmasının kapsayıcılığı ile doğruluğu artırılmıştır.

2019 KTYH kapsamında kullanılan kriter seti üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Bahse konu iyileştirmelerden ilki Teknoloji Konuların önceliklendirilmesi kapsamında "Kritiklik" altında ele alınan ancak "Temin Riski" olarak değerlendirilebilecek 4 alt kriterin ayrıştırılarak yeni ana kriter başlığı altında ele alınmasıdır. Mevcutta yer alan ana kriterler altındaki değerler tek bir alt kriter değeri seçimiyle belirlenmiş olup, "Temin Riski" altında ele alınan alt kriterlerin çoktan seçmeli yapısı olduğu için alt kriter değerleri Evet / Hayır seçenekleriyle belirlenmiştir. "Tedarik Projelerine Uygulama" kriter adı "Projelere Uygulama" olarak, "Altyapı" altındaki özniteliklerde daha anlaşılır ifadeler kullanılarak revizyon yapılmıştır.

Her bir Teknoloji Konusu için 7 ana kriter altında yer alan 20 alt öznitelik, 4 alt kriter üzerinden önceliklendirme değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeye esas olan öznitelikler ve alt kriterleri Şekil 6.8'de listelenmiştir.



Şekil 6.8 Ana Kriterler ve Öznitelikler

6.3.1.1 DEMATEL

DEMATEL yöntemi, 1970'lerde Genevre Battelle Enstitüsü tarafından geliştirilen, karmaşık sistemlerdeki nedensellik ilişkilerini ve kriterler arasındaki önem ağırlığını analiz etmek için kullanılan sebep ve sonuç arasındaki bağlantıları görselleştirerek sistemin dinamiklerini anlamaya yardımcı olan bir yöntemdir [25].

Uzman görüşlerine dayanan DEMATEL yöntemi, bir matris ve çeşitli analiz teknikleri kullanarak sistem bileşenleri veya kriterler arasındaki etkileşimleri incelemektedir. Bu sayede, nedensellik zincirlerini ve sistemdeki veya problemdeki en önemli bileşenleri veya kriterleri belirlemek mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında DEMATEL yöntemi, ilişkisi olduğu değerlendirilen kriterler arasında uygulanarak kriterlerin birbirleri arasındaki önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda, Ana Kriterler ve "Temin Riski" alt kriterlerinin önem ağırlıkları DEMATEL yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen Ana Kriter ve Alt Kriter önem ağırlıkları ise TOPSIS yöntemine girdi olarak kullanılmıştır.

DEMATEL yöntemi kapsamında takip edilen adımlar ve DEMATEL etki ölçeği Şekil 6.9'da sunulmaktadır.



Şekil 6.9 DEMATEL Yönteminde Kullanılan Etki Ölçeği ve DEMATEL Adımları

6.3.1.2 AHP

AHP, karmaşık karar verme problemlerini çözmek için 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir [26]. AHP, birden fazla kriteri ve alternatifi sistematik bir şekilde analiz ederek en uygun seçeneği belirlemeye yardımcı olur. AHP'nin temel prensibi, karmaşık bir problemi hiyerarşik bir yapıya indirgeyerek ve her bir seviyedeki unsurları ikili karşılaştırmalar yoluyla çözmektir.

2024 Kompozit OTAĞ çalışmaları kapsamında, ilişkili olmayan kriterler altındaki özneteliklerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde ise AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminin adımları Şekil 6.10'da sunulmuştur.



Şekil 6.10 AHP Yöntemi Adımları

AHP yönteminde karşılaştırma aşamasında kullanılan önem ölçeği ise **Tablo 6.6**'da sunulmaktadır.

Tablo 6.6 AHP Yönteminde Kullanılan Önem Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunmaktadır.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettirmektedir.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirmektedir.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve uygulamada baskınlığı rahatlıkla görülür.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük bir güvenliğe sahiptir.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerdir.

6.3.1.3 TOPSIS

TOPSIS, çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS yöntemi, ideal çözüme ve ideal olmayan çözüme olan uzaklıkları hesaplayarak alternatifleri sıralar [27]. TOPSIS yöntemine ait adımlar Şekil 6.11'de sunulmuştur.



Şekil 6.11 TOPSIS Adımları

Bu çalışma kapsamında TOPSIS yöntemi kullanılarak ana kriter, alt kriter ve öznitelik ağırlıkları belirlenmiş olan konular birbirleri arasında negatif ideal ve pozitif ideal konu vektörleri referans olarak sıralanmıştır. Sıralanan Teknoloji Konuları vade puanlarına göre sınıflandırılmıştır. Vade puanı hesaplanmış olan konular, geçmiş OTAĞ'larda kullanılan histogram içerisinde kullanılan normal dağılım yerine kesme vektörü belirlenmiş olan sınır değere göre sınıflandırılmıştır. Kesme vektörü, konuları vade puanlarına göre yakın ve uzak vade olmak üzere iki gruba sınıflandırır. Uzman görüşü ile belirlenen kesme vektörünün öznitelik değerleri, bir konunun yakın vadede kazanılması için gereken minimum öznitelik değerleri ne olması gerektiğine göre belirlenir. Yakın ve uzak vade içerisindeki konular öncelik puanlarına göre birbirleri arasında büyükten küçüğe doğru sıralanır.

2019 KTYH'de kullanılan önceliklendirme metodolojisi AHP ve uzman görüşü desteğiyle oluşturulmuştur. Metodoloji kapsamında Teknoloji Konuları öncelik puanlarına göre birbirleri arasında sıralanmıştır.

Uzman görüşüne olan bağımlılığı azaltıp daha kapsamlı, objektif, tutarlı bir karar verme süreci oluşturmak için AHP, DEMATEL, TOPSIS metodları bir arada kullanılarak hibrit bir karar modeli oluşturulmuştur. Yöntem üzerinde yapılan başlıca iyileştirmeler aşağıda açıklamalarıyla beraber sunulmuştur.

- **Vade ve Öncelik Düzeylerinin Belirlenmesi:** Teknoloji Konuları çalışılma vadeleri ve öncelik düzeylerine göre farklı ağırlık kümeleriyle değerlendirilmiş olup daha şeffaf ve izlenebilir bir süreç yaratılmıştır.
- **Kapsamlılık:** AHP, kriterler arasındaki ikili karşılaştırmalara dayalı bir yöntemdir. DEMATEL ise kriterler arasındaki karşılıklı etkileşimleri de hesaba katar. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması, kriterler arasındaki karmaşık ilişkileri daha iyi anlamayı sağlar.
- **Tutarlılık:** TOPSIS ile alternatifleri ideal çözüme göre sıralayarak karar vermede daha doğru ve tutarlı sonuçlar oluşur.
- **Objektiflik:** Her Teknoloji Konusu özelinde vade düzeyini belirlerken ve öncelik puanında iyileştirme yaparken uzman görüş desteğine ihtiyaç duyulurken, geliştirilen metodoloji ile birlikte bu ihtiyaç ortadan kalkmış olup referans vade vektörüne göre konuların vadeleri analitik olarak tasnif edilir.

6.4 ÖNCELİKLENDİRME ANALİZ YÖNTEMİ

Kompozit Teknolojileri Odak Teknoloji Ağı'nda yer alan Teknoloji Konuları geliştirilen özgün önceliklendirme metodolojisi kullanılarak öncelik ve yakın, uzak vadelerde kazanımı planlanmak üzere kategorize edilmiştir. Kategorizasyon sonrasında Malzeme ve İmalat Alt Konu Başlığı altındaki Teknoloji Konularının öncelik ve vade puanlarının aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Kategorizasyon sonrasında Malzeme ve İmalat Alt Konu Başlığı altındaki Teknoloji Konularının öncelik ve vade puanlarının aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Böylece Alt Konu Başlığı bazlı öncelik ve vade puanları, sektördeki teknolojik trendleri belirlemek ve geleceğe yönelik stratejiler geliştirmek için önemli bir veri tabanı oluşturmuştur.

Bölüm 6.3.1'de detayları verilen Önceliklendirme Metodolisi uygulanarak yapılan değerlendirme sonucunda belirlenen Tablo 6.7'de bulunan kriterler, *Teknoloji Konularının öncelik ve vade* sıralamasında öne çıkmasında etkili olmuştur:

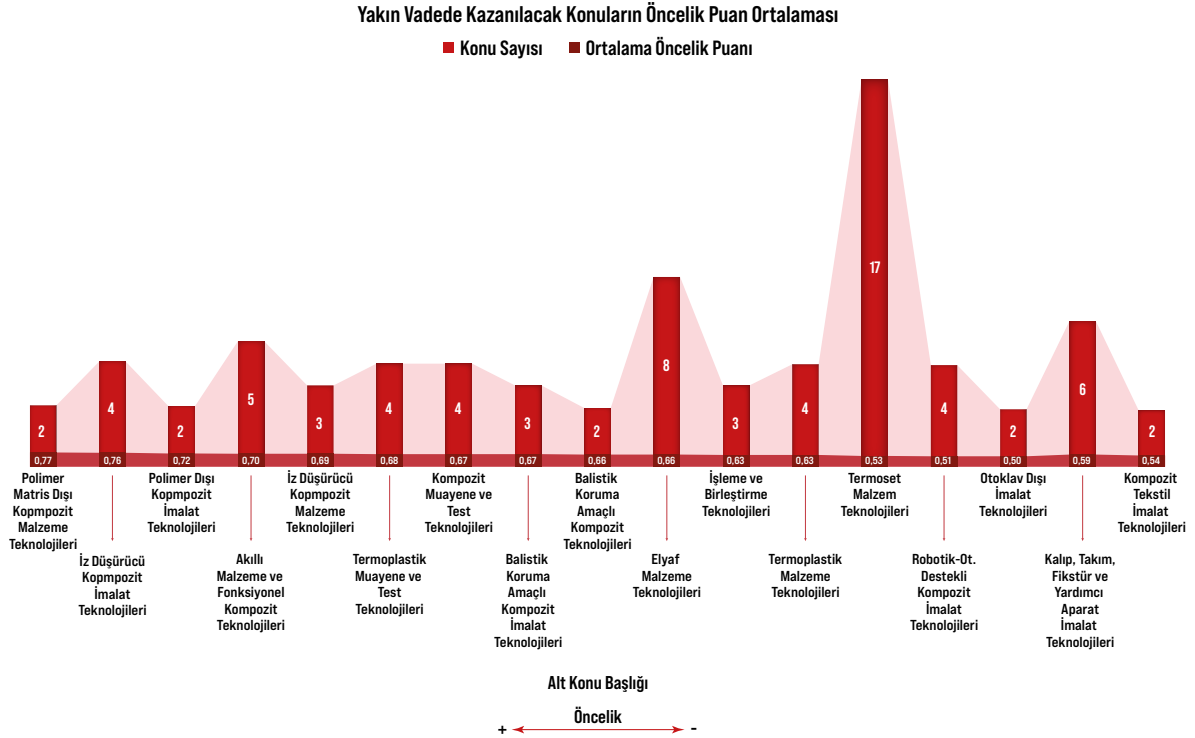
Tablo 6.7 Teknoloji Konularının Öncelik ve Vade Sıralamasında Öne Çıkan Kriterler

Kriter Listesi	Öncelik	Vade
Altyapı	Benzer veya tamamlayıcı teknolojilere ilişkin altyapı mevcuttur.	İlgili alt teknolojilere yönelik altyapılar mevcuttur.
Çift Kullanım	Teknoloji çift amaçlı olarak kullanılmaktadır.	Teknoloji çift amaçlı olarak kullanılmaktadır.
Dünyadaki Durum	Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olmadığı teknolojidir.	Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olmadığı teknolojidir.
Projelere Uygulama	Projelerde kullanılacaktır.	Projelerde kullanılacaktır.
Temin Riski	Ulusal ihracat lisansına veya ITAR düzenlemelerine tabidir.	Ulusal ihracat lisansına veya ITAR düzenlemelerine tabidir.
İnsan Kaynağı	Yetişmiş insan gücü yetersizdir.	Yetişmiş insan gücü bulunmaktadır.
Kritiklik	Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir.	Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, millî olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir.

7. 2024 KOMPOZİT OTAĞ TEKNOLOJİ KONULARI DEĞERLENDİRMESİ

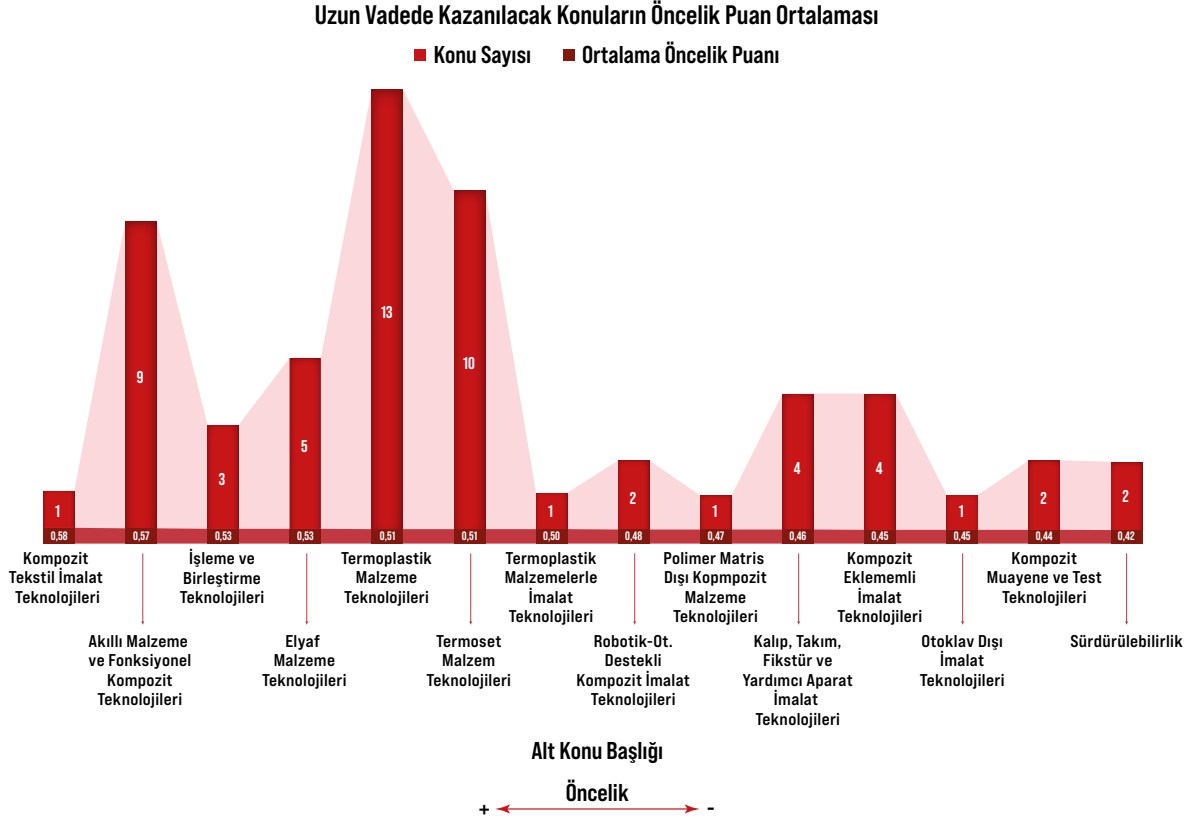
6.3 numaralı başlıkta anlatılan objektif değerlendirme metodolojisi sonucunda yakın vadede kazanımı planlanması öngörülen konuların Polimer Matris Dışı Kompozit Malzeme Teknolojileri, İz Düşürücü İmalat Teknolojileri ve Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri alt başlıklarında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 7.1). Bu konuları Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri, İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri, Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri konularında bazı Teknoloji Konularının takip ettiği gözlemlenmiştir.

Termoset Malzeme Teknolojileri ve Elyaf Malzeme Teknolojileri geniş bir malzeme ailesi olup içerisinde bir çok Teknoloji Konusunu barındırması nedeni ile sıralamada biraz daha geride görünmektedir. Buna karşın bu Alt Konu Başlıkları, özellikle termoset reçine sistem bileşenlerinin ve elyafların (kuartz ve yüksek modül karbon elyaf vb) Türkiye’de geliştirilmesinin kritikliği açısından önem arz etmektedir.



Şekil 7.1 Yakın Vadede Kazanılacak Konuların Öncelik Dağılımı

Şekil 7.2’de gösterilen grafikte ise uzak vadede kazanılacağı değerlendirilen teknolojilerin önceliklerine göre ortalama puanları görülmektedir. Uzak vadede kazanımı değerlendirilen Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri, Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri, İşleme ve Birleştirme Teknolojileri, Elyaf Malzeme Teknolojileri konularının yüksek önceliğe sahip oldukları değerlendirilmiştir. Bu konuları, yüksek oranda konu başlığı talebi ile Termoplastik Malzeme Teknolojileri ve yakın vadede olduğu gibi bazı Termoset Malzeme Teknolojileri konuları takip etmiştir.



Şekil 7.2 Uzun Vadede Kazanılacak Konuların Öncelik Dağılımı

7.1 MALZEME KONULARI ANALİZ SONUÇLARI

Malzeme Teknolojileri içerisinde yer alan teknolojilerin çalışılma vadelerine göre ortalama puanları Şekil 7.3'te sunulmuştur.

“Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir” kritiklik seviyesine sahip olan “Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Teknolojileri” Alt Konu Başlığında yer alan, Polimer Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler ve Seramik Matrisli Balistik Kompozit Malzeme teknolojilerinin yakın vadede kazanılması ön görülen öncelikli konular olarak tespit edilmiştir.

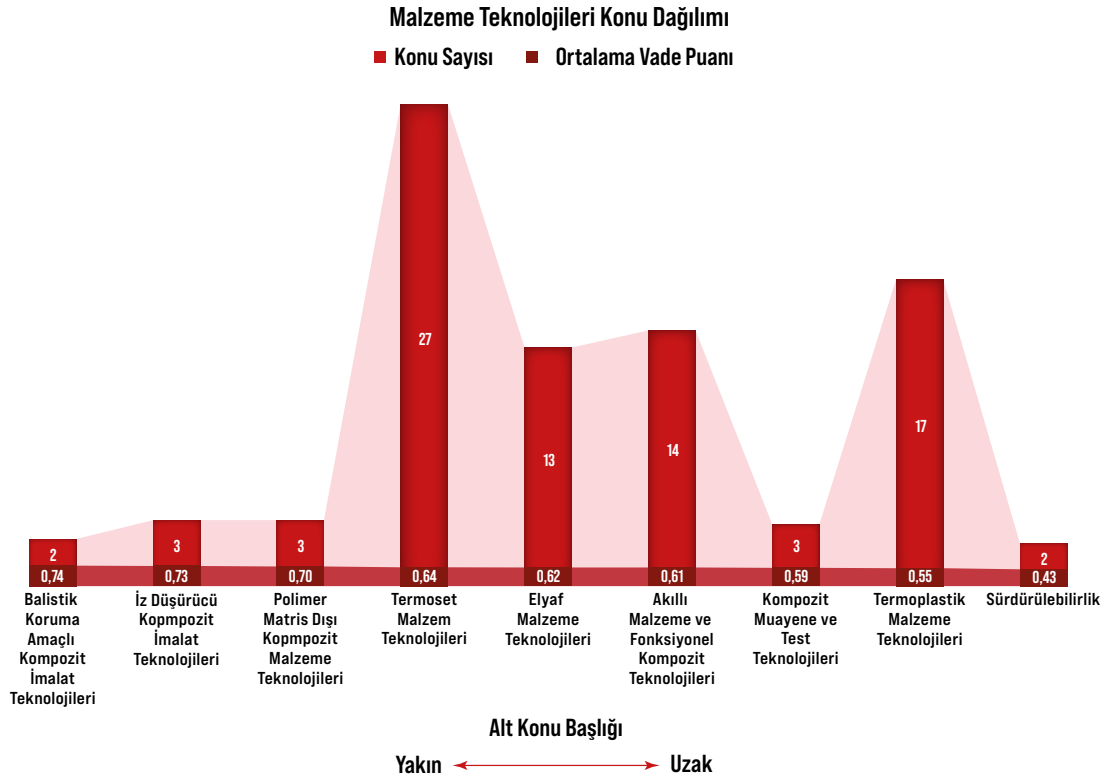
İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri ise gerek Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanım gerekliliği gerekse de önceliklendirme çalışmalarında öne çıkan Temin Riski kriterleri nedeniyle yakın vadede kazanılması elzem olan Alt Konu Başlıklarından biri olmuştur. Bununla beraber, Polimer Matris Dışı Kompozit Malzeme Alt Konu Başlığı'nda yer alan Teknoloji Konuları benzer veya tamamlayıcı teknolojilere ilişkin altyapının mevcut olması nedeni ile yakın vadede kazanımı öncelikli konular arasında yerini almıştır. Ayrıca, ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olduğu teknoloji olması sebebi ile çalışılması kritik olan platform ve sistemlerimizde ihtiyaç duyulan teknolojilerdir.

Termoset Malzeme Teknolojileri Alt Konu Başlığı altında reçine sistem bileşenlerinden (baz reçine, toklaştırıcı, başlatıcı, kütleme ajanı, vb) başlayarak platformların ihtiyaç duyduğu yeni nesil termoset malzeme teknolojilerinin benzer veya tamamlayıcı teknolojilere ilişkin altyapı ve insan kaynağının mevcut olması nedeni ile yakın vadede kazanımının kritik olduğu değerlendirilen teknolojilerdir.

Termoplastik Malzeme Teknolojileri Alt Konu Başlığı altındaki Teknoloji Konuları arasında PEKK prepreg, PAEK prepreg, termoplastik towpreg ve termoplastik dar şerit gibi kritik teknolojilerin benzer veya tamamlayıcı altyapıların da mevcut olması sebebiyle daha kısa vadede kazanımı önceliklendirilmiştir. Bu teknolojiler dışındaki Teknoloji Konularının çoğunluğunun ise hem yetişmiş insan gücünün yetersiz olması hem de gerekli altyapıların temel araştırma fazı için üniversite laboratuvarı ve araştırma merkezi seviyesinde olması nedeniyle uzak vadede kazanılabileceği belirlenmiştir.

Sürdürülebilirlik, 2024 Kompozit OTAĞ çalışmaları ile yeni eklenen konulardan olup tüm dünyada hızla yükselen bir trende sahiptir. Teknolojinin geliştirilmesinin ülkemizin rekabetçi gücünü arttıracığı değerlendirilmekte olup yapılan Önceliklendirme Metodolojisi çalışmalarında uzak vadede kazanılması beklenen Teknoloji Konuları arasında yer almaktadır.

Elyaf Tasarım Teknolojilerinden Silisyum Karbür Elyaf ve Kuvars Elyaf gibi kazanımı Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu teknolojilerde ise ülkemizin altyapı ve insan kaynağı ihtiyacı nedeni ile kazanımı uzak vadede planlanan Teknoloji Konuları olarak yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır. Bunlar gibi kazanılması kritik olan teknolojilerde altyapı ve insan kaynağının yeterli olduğu değerlendirildiği durumlarda, kazanımın yakın vadede gerçekleşmesine yönelik planlamalar yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.



Şekil 7.3 Malzeme Teknolojileri Vade Konu Dağılımı

Yakın vadede kazanılması öngörülen öncelikli malzeme Teknoloji Konu başlıkları Tablo 7.1'de uzak vadede kazanılması öngörülen Malzeme Teknoloji Konuları Tablo 7.2'de sunulmaktadır.

Tablo 7.1 Yakın Vadede Önceliklendirilen Malzeme Teknoloji Konuları

Alt Konu Başlığı*	Konu Adı*
Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Akustik Sönümlenme Özellikli Gözenekli Yapılar Elektriksel Özelliği İyileştirilmiş Kompozit Malzemeler Kompozit Yapısal Enerji Depolama, Batarya ve Süper Kapasitörler Termal İletkenliği İyileştirilmiş Artırılmış Kompozit Yapılar Yenilikçi Kompozit ve Elyaf/Kumaş Arayüzey Teknolojileri
Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Polimer Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler Seramik Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler
Elyaf Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Aramid Elyaf ve Kumaş Havacılık Sınıfı E Cam Elyaf Katran (İng. Pitch) Esaslı Karbon Elyaf ve Kumaş Orta Modül Karbon Elyaf Otoklav Dışı İmalat İçin Kuru Elyaf ve Dokuma Kumaş S Cam Elyaf UHMWPE Elyaf ve Tek Yönlü Kumaş Yüksek Modül Karbon Elyaf
İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Kızılötesi Düşük Görünür Malzemeler Radar Soğurucu Kaplamalar Radar Soğurucu Kompozit Yapılar
Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Yapısal Sağlık İzleme Teknolojileri
Polimer Matris Dışı Kompozit Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler
Termoplastik Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Poli (Ariken Eterketon) (PAEK) Prepreg Poli (Eter Ketonketon) (PEKK) Prepreg Termoplastik Dar Şerit (Slit Tape) Yüksek Performanslı Termoplastik Towpreg (PEEK, PPS vb.)
Termoset Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> 120 °C Kür Yapısal Epoksi Film Yapıştırıcı ve Yüzey Filmi 180 °C Kür Yapısal Epoksi Film Yapıştırıcı ve Yüzey Filmi 3-4 Fonksiyonlu Epoksi Reçine (120 °C ve 180 °C Kür, Islak ve Prepreg Uyg.) ATL/AFP Teknolojisi İçin Yüksek Performanslı Dar Şerit ve Towpreg Epoksi Reçineli Prepreg (120 °C Kür, Karbon, Cam Elyaf, Aramid vb. Takviyeli) Epoksi Reçineli Prepreg (180 °C Kür, Karbon, Cam Elyaf, Aramid vb. Takviyeli) Havacılık Sınıfı Yüksek Sıcaklık ve Mukavemet Dayanımlı Epoksi ve Silikon Pasta Yapıştırıcı

Alt Konu Başlığı*	Konu Adı*
Termoset Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Kriyojenik Reçine ve Towpreg Kürlenme Süresi Hızlı Olan Prepregler Otoklav Dışı Üretim Teknikleri İçin Prepreg (180 °C Kür, Karbon, Cam Elyaf, Aramid vb. Takviyeli) Siyanat Ester Reçine Siyanat Ester Reçineli Prepreg Yüksek Sıcaklık Dayanımlı ($T_g > 230$ °C) (BMI, PI vb.) Prepreg Yüksek Sıcaklık Dayanımlı ($T_g > 230$ °C) Reçine (BMI, PI vb.) Yüksek Sıcaklık Dayanımlı İnce Tabaka Yapısal Yapıştırıcı Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Prepreg Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Reçine

*Teknoloji Konuları ve Alt Konu Başlıkları alfabetik olarak sıralanmıştır.

Tablo 7.2 Uzak Vadede Önceliklendirilen Malzeme Teknoloji Konuları

Alt Konu Başlığı*	Konu Adı*
Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Fiber Algılayıcı Tabaka İçeren Kompozit Malzemeler Fonksiyonel (RF, Isıl ve/veya Yapısal) Seramik Kaplamaları Fonksiyonel Kaplamalar (Buzlanma Önleyici/Giderici, Yağmur Erozyonu Önleyici, İletken vb.) Kendini Onarabilen Kompozit Malzemeler Korozyon Önleyici Kaplamalar Kriyojenik Nanoyapıştırıcılar Optik Özelliği İyileştirilmiş Saydam Malzemeler Şekil Hafızalı Malzeme İçeren Kompozit Yapılar Termoplastik Nanokompozitler
Elyaf Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Bor Elyaf ve Kumaş Hibrit Dokuma Kumaş Kuartz Elyaf (Silika Oranı >%99.9) Silisyum Karbür Elyaf Yüksek Silika Elyaf (Silika Oranı >%95)
Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Kriyojenik Malzeme Test Teknolojileri Balistik Malzeme Test Teknolojileri
Sürdürülebilirlik	<ul style="list-style-type: none"> Geri Dönüştürülebilir Kompozit Üretimi Termoplastik Atıkların Yeniden Kullanımı

Alt Konu Başlığı*	Konu Adı*
Termoplastik Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Köpük Core Malzemeleri (Polymetacrylimide (PMI), (Syntactic v.b.) • Poli (Ariken Eterketon) (PAEK) Matris ve Ham maddeleri • Poli (Eter Eterketon) (PEEK) Matris ve Ham maddeleri • Poli (Eter Eterketon) (PEEK) Prepreg • Poli (Eter İmid) (PEI) Matris ve Ham maddeleri • Poli (Eter İmid) (PEI) Prepreg • Poli (Eter Ketonketon) (PEKK) Matris ve Ham maddeleri • Polifenilen Sülfid (PPS) Matris ve Ham maddeleri • Polifenilen Sülfid (PPS) Prepreg • Poliimid (PI) Matris ve Ham maddeleri • Silikon Esaslı İnorganik Reçine • Termoplastik Ağ ile Güçlendirilmiş Dar Şerit Prepreg Malzemeler • Termoplastik Yağmur Erozyon Koruma Malzemesi • Termoplastik Yapıştırıcı
Termoset Malzeme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • 2-Fonksiyonlu Epoksi Reçine (120 °C Kür, Islak ve Prepreg Uyg.) • Bal Peteği Alüminyum • Bal Peteği Aramid-Fenolik • Bal Peteği Cam-Siyanat Ester • Epoksi-Fenolik Reçine • Reçine Hammaddeleri • Termoset Yağmur Erozyon Koruma Malzemesi • Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Benzoxazine Reçine • Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Kalıp Malzemeleri • Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Yapısal Film Yapıştırıcı (BMI, Siyanat Ester vb.)

7.2 İMALAT KONULARI ANALİZ SONUÇLARI

Şekil 7.4'te gösterilen grafikte İmalat Teknolojileri içerisinde yer alan teknolojilerin çalışılma vadelerine göre ortalama puanları görülmektedir.

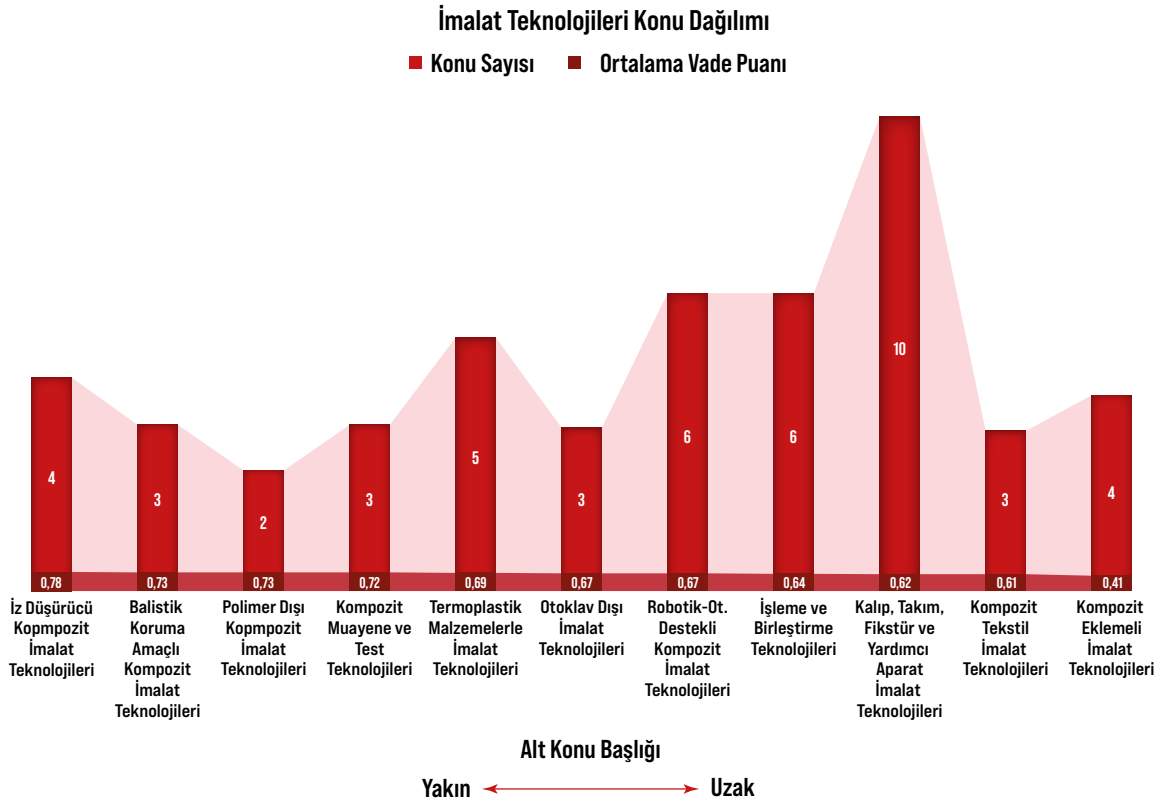
Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, millî olarak kazanılması zorunlu bir teknoloji olarak değerlendirilen, yetişmiş insan gücü Türkiye'de bulunan, benzer veya tamamlayıcı altyapılar mevcut olan; İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri, Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalat Teknolojileri yakın vadede öncelikli kazanılması gereken konular olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, ülkemiz için aynı kritiklik seviyesinde olan ancak yetişmiş insan gücünün de yetersiz olduğu Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri yakın vadede öncelikli kazanılması gereken konu olarak öne çıkmaktadır.

Ek olarak, Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri, kritik bir teknoloji olup geliştirilen Malzeme ve İmalat Teknoloji Konularını bütünlemektedir. Test Tahribatsız ve Muayene Metotları bölümünde yer alan çalışmalar kapsamında Yapay Zekâ ve Makine öğrenmesi platformları da süreçlerin iyileşmesi adına entegre edilmesinin gerekliliği ve geleneksel yöntemler ile karşılaştırılarak eniyileme çalışmalarının yapılmasının önemi toplantılarda kayıt altına alınmıştır.

Kompozit Eklemeli İmalat Teknolojileri ile ilgili olan Sürekli-Elyaf Kompozit İmalatı, Büyük ölçekli Kompozit İmalatı (kalıp vb.), Kısa-Elyaf Kompozit İmalatı, Tanecikli / Katkılı Kompozit İmalatı konularının uzak vadede kazanımının mümkün olacağı değerlendirilmiştir.

Uzak vadede yer alan, ancak büyük, karmaşık ya da çok sayıda parça imalatı söz konusu olduğunda öne çıkan Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri ise teknolojik açıdan önemli alt başlıklara sahip olup çapılma analizi gibi konularda yetişmiş insan gücü yetersizliği, ya da büyük parçaların ısı işleme ve kaplaması gibi konularda alt yapı yetersizliği yaşanan konular arasındadır.

Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri ile İşleme ve Birleştirme Teknolojileri alanında ihtiyaçlar da uzak vadede kazanımı planlanan teknolojiler arasında yer almaktadır.



Şekil 7.4 İmalat Teknolojileri Vade Konu Dağılımı

Yakın vadede kazanılması öngörülen öncelikli İmalat Teknoloji Konu başlıkları Tablo 7.3'te, Uzak vadede kazanılması öngörülen İmalat Teknoloji Konuları Tablo 7.4'te yer almaktadır.

Tablo 7.3 Yakın Vadede Önceliklendirilen İmalat Teknoloji Konuları

Alt Konu Başlığı*	Teknoloji Konusu*
Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Patlamaya Karşı Koruma Amaçlı Kompozit İmalatı Polimer Matrisli Balistik Kompozit İmalatı Seramik Matrisli Balistik Kompozit İmalatı
İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Birleştirme Teknolojilerine Yönelik-Termoset-Kalıp, Takım ve Fikstür İmalat Teknolojileri Termoplastik (Ultrasonik, Direnç, İndüksiyon vb.) Birleştirme Teknolojileri Yapışma Teknolojileri (Lazer ve Plazma Gibi Enerjik Yüzey Hazırlama Teknikleri, Kumlama, vb.)
İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Desenli Kompozit İmalatı Çok Katmanlı Kompozit İmalatı Hibrit Kompozit İmalatı Tanecikli / Katkılı Kompozit İmalatı
Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Eklmeli İmalat Teknolojileri ile Kalıp Üretimi Montaja Yönelik (Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri) Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojilerine Yönelik Termoplastik Parçalar İçin Kalıpların Isıl İşlemi ve Kaplaması Termoset Parçalar İçin Kalıpların Isıl İşlemi ve Kaplaması Termoset Parçalar İçin Kalıpların Üretimi
Kompozit muayene ve test teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> İz Düşürücü Kompozitler İçin Kalite Kontrol ve Tahribatsız Muayene Teknolojileri Kompozit Malzemelerin Tahribatsız Muayene Yöntemleri Yapıştırılan Parçaların Kalite Kontrol ve Tahribatsız Muayene Teknolojileri
Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> 3 Boyutlu Dokuma Teknolojisi 3 Boyutlu Kumaş Örme (3D Braiding) Teknolojisi
Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> 3d Prefrom Resin Transfer Molding (3D-RTM) Same Qualified Resin Transfer Molding (SQRTM)
Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Metal Matrisli Kompozit İmalat Teknolojileri Oksit ve Oksit Olmayan Seramik Matrisli Kompozit İmalat Teknolojileri
Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> Filaman Sarma Cihazı ile Parça Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları Kuru Fiber ile Otomatik Fiber Serme Cihazında Preform İmalatı Otomatik Fiber ve Şerit Serme Cihazı ile Parça Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları Termoset Malzemeler ile Otomatik Fiber ve Şerit Serme Cihazında Parça İmalatı

Alt Konu Başlığı*	Teknoloji Konusu*
Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Otomatik Fiber Serme Yöntemi ve Yerinde- Ve İkincil-Konsolidasyon Prosesleri • Sürekli Sıkıştırılmalı Kalıplama (Continuous Compression Molding – CCM) • Termoplastik Konsolidasyon • Thermoforming (Pres-Forming)

*Teknoloji Konuları ve Alt Konu Başlıkları alfabetik olarak sıralanmıştır.

Tablo 7.4 Uzak Vadede Önceliklendirilen İmalat Teknoloji Konuları

Alt Konu Başlığı*	Teknoloji Konusu*
İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Seramik Matris Kompozit Malzemelere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri • Hibrit Malzemelere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri • Polimerlere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri
Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Çarpılmaya Yönelik Ön Şekillendirmeli Preshaping Kalıp Tasarımı ve Modellemesi • Termoplastik Parçalar İçin Kalıplarda Çarpılmaya Yönelik Kalıp Tasarımı ve Modellemesi • Termoplastik Parçalar İçin Kalıpların Üretimi • TS Parçalar İçin Kalıplarda Çarpılmaya Yönelik Kalıp Tasarımı ve Modellemesi
Kompozit Eklemeli İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Büyük Ölçekli (Kalıp vb.) Kompozit İmalatı • Kısa-Elyaf Kompozit İmalatı • Sürekli-Elyaf Kompozit İmalatı • Tanecikli / Katkılı Kompozit İmalatı
Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Tailored Fiber Placement
Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM)
Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Eklemeli İmalat Teknolojilerine Yönelik Yazılım Çalışmaları • Kompozit Tekstil (3 Boyutlu Örgü, Tailored Fiber Placement, vb.) Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları
Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	<ul style="list-style-type: none"> • Injection Over Molding

*Teknoloji Konuları ve Alt Konu Başlıkları alfabetik olarak sıralanmıştır.

7.3 ÖNE ÇIKAN TEKNOLOJİ DEĞERLENDİRMESİ

Teknoloji Konuları özelinde önceliklendirme çalışması yapılırken izlenen yöntem Bölüm 6'da detaylı olarak aktarılmıştır. SSB Taksonomisi [27] ile ilişkilendirilen ve Önceliklendirme Analizi yapılan Teknoloji Konularının listesi EK-2'de verilmiştir.

Bu kapsamda her bir Teknoloji Konusu için Bölüm 6.3.1'de detayları verilen 7 ana kriter bazında (Kritiklik, Dünyadaki Durum, İnsan Kaynağı, Altyapı, Çift Kullanım, Projelere Uygulama, Temin Riski) değerlendirmeler 2. Odak Çalışma Grubu Toplantısı'nda paydaşlarımızın da katılım ve değerlendirmeleri göz önüne alınarak tamamlanmıştır. Söz konusu kriterlerden en yüksek etki ağırlığına sahip kriter "Kritiklik" olarak değerlendirilmiştir. Mevcut savunma sanayi projelerinde ihtiyaç duyulan ve bunun sonucunda ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan ve milli olarak kazanılması zorunlu teknolojiler bu kriter ile öne çıkmıştır. İkinci önemli kriter ise "Temin Riski" olarak belirlenmiştir. Savunma Sanayi uygulamalarında kullanımı zaruri olup FTKR, ITAR vb. anlaşmalarla tedariki kısıtlanan teknolojiler de bu kriter ile önceliklendirme matrisinde öne çıkmıştır.

Yakın vadede önceliklendirilen malzeme teknolojileri değerlendirildiğinde, söz konusu teknolojilerin genel olarak mevcut veya kısa vadede planlanan savunma sanayii platformlarında kullanımı zorunlu teknolojiler olduğu ve buna bağlı olarak kritiklik özneliklerinin yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Bu teknolojilerin tamamının tedarikinde ihracat kısıtları olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yakın vadede önceliklendirilen bu teknolojiler, çoğunlukla altyapı gereksinimi bulunmayan veya benzer altyapıların yurt içinde var olduğu, buna bağlı olarak da kısa vadede kazanımı mümkün olan teknolojilerdir. Bunun yanında altyapı ve insan kaynağı yetersiz olmasına rağmen yakın vadede kazanılması planlanan Teknoloji Konuları ise, ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan zorunlu teknolojilerdir.

Uzak vadede önceliklendirilen malzeme teknolojileri değerlendirildiğinde de kritiklik seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu teknolojilerin de tamamının tedarikinde ihracat kısıtlamaları bulunmaktadır. Yetişmiş insan gücünün olmadığı veya yetersiz olduğu teknolojiler olmaları nedeniyle nitelikli iş gücü oluşturulması için zaman gerektiren teknolojilerdir. Ek olarak, herhangi bir altyapı bulunmayan veya yalnızca temel araştırma fazı için üniversite laboratuvarı ve araştırma merkezi gibi altyapıların mevcut olduğu teknolojilerdir. Bu öznelikler nedeniyle de ürünleştirilmesi için uzun vade gerektiren öncelikli teknolojilerdir.

7.3.1 MALZEME ODAK ÇALIŞMA GRUBU

EK-2 ile verilen Teknoloji Konuları Önceliklendirme Listesi incelendiğinde 2019 KTYH 'de kısa vade öncelikli konular arasında bulunan "Orta ve Yüksek Modül Karbon Elyaf" teknolojilerinin 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda önceliğini koruduğu görülmüştür. Bu kapsamda Savunma Sanayi Başkanlığı bünyesinde Orta Modül Karbon Elyaf teknolojisi kapsamında faaliyetler devam etmekte olup yakın vadede ulaşılmaya hedeflenmektedir. Aynı şekilde 2019 KTYH'de öncelikli konular arasında bulunan ATL/AFP Teknolojisi için Yüksek Performanslı Dar Şerit ve Towpreg teknolojisinin 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında ile yapılan çalışmalar sonucunda önceliğini koruduğu görülmüştür. Savunma Sanayi Başkanlığı desteğiyle başlatılan Ar-Ge Projeleri ile

bu teknolojiye yakın vadede ulaşılması hedeflenmektedir. İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri ve Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Malzeme Teknolojileri de benzer olarak yine yakın vadede öncelikli konular olarak öne çıktığı görülmekte olup bahse konu teknolojilerde de belirli projeler yürütülmüş teknoloji kazanımına katkı sağlanmıştır.

2019 KTYH'de orta vadede kazanımı değerlendirilen Kriyojenik Reçine ve Towpreg, Akustik Sönümlenme Özellikli Gözenekli Yapılar, Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Reçine, Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler ve Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Teknoloji Konuları 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında yakın vadede kazanımı öncelikli konular olarak öne çıkmıştır. Bu konular arasından Kriyojenik Reçine ve Towpreg, Akustik Sönümlenme Özellikli Gözenekli Yapılar, Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Reçine Teknoloji Konuları mevcut veya yakın vadede planlanan sistemlerdeki ihtiyaçlar göz önünde bulundurulduğunda kazanımı gerekli teknolojiler olduğu görülmektedir. Polimer Matris Dışı Kompozit Malzeme Teknolojileri ise birçok alt teknolojiyi içinde barındıran ve önceliği güncelliğini koruyan teknolojilerdir. Ek olarak, bu alt teknolojilerden birçoğu hem Dünya'da hem ülkemizde gelişime açık alanlardır.

7.3.2 İMALAT ODAK ÇALIŞMA GRUBU

2019 KTYH'da kısa vadeli malzeme teknolojileri konuları arasında yer alan İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri, 2024 Kompozit OTAĞ çalışmalarında da gerçekleştirilen değerlendirmeler ve önceliklendirme çalışması neticesinde öncelikli konular arasında yer almıştır. İlgili teknolojiye ilişkin ihtiyaçlar belirlenmiş ve bu alt konu başlığının önceliğinin yakın vade olarak devam ettiği tespit edilmiştir. Desenli, çok katmanlı ve tanecikli/katkılı alt teknolojilere ek olarak hibrit kompozit imalatı alt teknolojisi de eklenerek, hedeflenen ürün ve platformlara iz düşürücü kompozitlerin entegrasyonunu sağlamak amacıyla genişletilmiştir. Ulusal güvenliğimiz için kritik bir konu olan balistik koruma amaçlı imalat teknolojileri alt başlığı 2019 KTYH'da olduğu gibi 2024 Kompozit OTAĞ çalışmalarında da önceliğini korumaktadır. Bu önceliğe yönelik ihtiyaçlar doğrultusunda desteklenen projeler ile önemli bilgi birikimleri geliştirilmiş ve temel altyapılar oluşturulmuştur. Ancak, halen insan kaynağı eksikliği, tedarik projelerinde kullanım ihtiyacına yönelik değerlendirmeler ve temin riskleri göz önüne alındığında, 2024 Kompozit OTAĞ çalışması ile bu alt başlık güncel yol haritasında yakın vadede öncelikli konumunu korumuştur. Ayrıca, güncel çalışma ile Polimer ve Seramik Matrisli Balistik Kompozit İmalatına yönelik Teknoloji Konularına yönelik ihtiyaçların öne çıktığı değerlendirilmiştir.

2019 KTYH'de öne çıkan Termoplastik Malzemeler ile İmalat Teknolojileri, Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri ve Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri başlıkları, 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında da artan bir ivme ile önemini korumaktadır. Farklı kullanım alanlarını ve performans gereksinimlerini farklı malzeme teknolojileri ile bir araya getiren bu Alt Konu Başlıkları, 2024 Kompozit OTAĞ çalışmaları kapsamında her bir ilgili Teknoloji Konusunun değerlendirilmesi ile ele alınmıştır.

Termoplastik Malzemeler ile İmalat Teknolojileri kapsamında, 2019 KTYH'de olduğu gibi 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında özellikle Termoplastik Konsolidasyon ve Otomatik Fiber Serme Yöntemi ile Yerinde ve İkincil Konsolidasyon Prosesleri konuları yakın vadeli olarak öne çıkmıştır.

Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri kapsamında yapılan güncellemeler, SQRTM ve 3D RTM teknolojilerinin yakın vadede konumlandırılmasını ve VARTM gibi teknolojilerin imalat yöntemlerinin olgunluk seviyeleri dikkate alınarak, ürün bazlı ihtiyaç durumunu kapsamak açısından uzak vadede önceliklendirilmesini içermektedir.

Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri, parça üretimine yönelik en doğru tasarımı ve üretilebilirliği ile 2024 Kompozit OTAĞ ile öne çıkan teknolojiler arasında yer almaktadır. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda, 2019 KTYH Tasarım ve Analiz OÇG grubunca değerlendirilen bu Teknoloji Konularının tasarım, modelleme ve yazılım çalışmaları da İmalat OÇG tarafından değerlendirilmiştir. İlgili imalat teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik SSB destekli ve çeşitli öz kaynak projeleri ile elde edilen teknoloji kazanımlarının geliştirilmesi daha üst seviyeye taşınması amaçlanmıştır.

Kompozit Eklemeli İmalat Teknolojileri, 2019 KTYH'de yakın vadeli olarak belirlenmişken, bu imalat teknolojileri farklı polimer sistemleri ile ticarileştiğinden dolayı bu ihtiyaç karşılanmıştır. Bu kapsamda ilgili öz kaynak projelerinin alt yapı ve insan gücü konusunda ülkemizdeki eklemeli imalat konusundaki konumunu belirli bir seviyeye getirmiştir. 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında ise elyaf takviyeli ve katkılı teknolojileri uzak vadeli olarak çalışılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri kapsamında, üç boyutlu dokuma teknolojileri, hem 2019 KTYH hem de 2024 Kompozit OTAĞ'da yakın vadeli olarak belirlenmiştir. Tailored Fiber Placement konusunun ise 2024'te uzak vadeli olarak ele alınması uygun görülmüştür.

Ülkemiz adına diğer kritik konularından biri de Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileridir. 2019 KTYH kapsamında Seramik Matrisli Kompozitler, Balistik Koruma Amaçlı Kompozit başlığında geçmiş olup öncelikli teknolojiler arasında yer alırken, bu başlık altında yer alan Metal Matrisli Kompozitler orta vade ihtiyacı olarak sunulmuştur. 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda ise bu konu başlığının hem seramik hem de metal matrisli kompozitler için kritiklik seviyesinin halen en üst seviyede olduğu, yetişmiş insan gücü konusunda yetersizlik durumu ve tedarik projelerinde kullanılacak malzemelerle ilgili temin risklerinin ortaya konulduğu görülmüştür. Özellikle seramik matrisli kompozitlerin imalat yöntemlerinin hem balistik hem termal hem de elektromanyetik geçirgen ürünlerde kullanılmak üzere geliştirilme ihtiyacı bulunduğundan, yakın vadeli olarak öne çıkmaktadır. Aynı şekilde metal matrisli kompozitlerin imalatına yönelik ihtiyaçlar teknoloji hazırlık seviyelerinin yükseltilmesini de kapsayacak şekilde yakın vadeli olarak değerlendirilmektedir.

2019 KTYH değerlendirmeleri ile uyumlu olarak, 2024 Kompozit OTAĞ çalışmasında bir diğer önem arz eden konu da Kalıp, Takım ve Fikstür İmalat Teknolojileridir. İmalat süreçlerinin desteklediği her bir projenin dönüm noktasını teşkil eden bu konu, bu çalışmada özellikle yakın vadede büyük, kapalı kalıpların tasarımı, üretimi, ısıl işlemi ve kaplama konuları ile öne çıkmıştır. Öte yandan, ön şekillendirmeli ve çarpılmaya yönelik kalıp tasarım ve modelleme çalışmaları uzak vadeli olarak 2024 Kompozit OTAĞ 'da yer almaktadır.

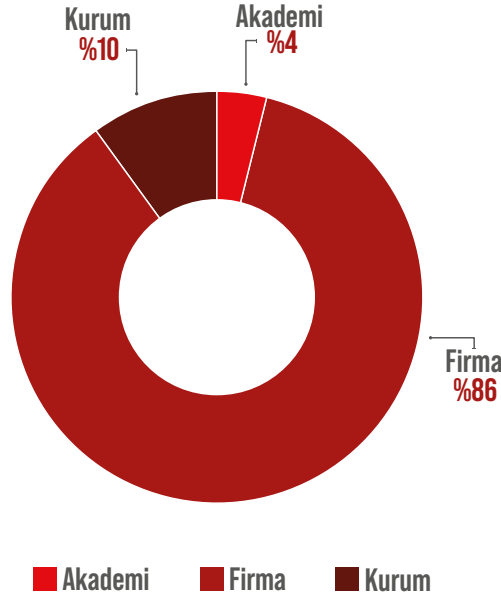
İşleme ve Birleştirme Teknolojileri, 2019 KTYH'de orta ve uzun vadeli olarak öne çıkmıştır. 2024 Kompozit OTAĞ çalışmalarında ise 2019 KTYH'de olduğu gibi farklı malzeme ve üretim teknikleri için hem yakın hem de uzak vadede yer almaktadır. Özellikle termoplastik, seramik ve hibrit malzeme çözümlerinin malzeme ve imalat teknolojileri altında öne çıkması, ilgili İşleme ve Birleştirme Teknolojilerine yönelik ihtiyacı doğurmuştur. İlgili malzeme teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik Yapısal Yapıştırıcı projeleri çıktılarının, imalat süreçleri ve yukarıda bahsedildiği üzere test ve tahribatsız muayene yöntemlerine yönelik ihtiyacı da desteklemesine yönelik bütüncül bir yol haritası önceliklendirme çalışmalarının bir çıktısı olduğu görülmüştür.

Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri, 2019 KTYH'de Test ve Tahribatsız Muayene Odak Çalışma Grubunda yer alırken, 2024 Kompozit OTAĞ çalışmalarında imalat ve malzeme süreçlerinin dışında ele alınmaması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda tanımlanan bu alt konu başlığı için güncel OÇG değerlendirmeleri sonucunda öne çıkan yeni malzeme ve imalat yöntemleri göz önüne alındığında üç Teknoloji Konusu ile kısa vadeli önceliklendirme ile raporlanmıştır. İz düşürücü kompozitlerin hem malzeme hem de üretim açısından gelişmesiyle birlikte ilgili kalite kontrol ve tahribatsız muayene teknolojileri yakın vadeli teknolojiler arasına girmiştir. Ek olarak, yapıştırılan parçaların kalite kontrol ve tahribatsız muayene teknolojileri de yakın vadeli olarak önemini korumaktadır. Bu konuyla ilgili önce çıkan bir diğer değerlendirme ise, bu muayene ve test teknolojilerinin parçaların maruz kaldığı özellikle kriyojenik şartları kapsayacak şekilde servis koşulları ile uyumlu bir şekilde geliştirilmesinin gerekliliği olmuştur. Geliştirilen malzeme ve imalat süreçlerinin doğrulama ve ömür tayini süreçleri için kritik öneme sahip olduğundan, ilgili alt yapı, sensör teknolojileri ve yazılım bileşenleri ile birlikte başarılı yapısal sağlık değerlendirme araçlarının inşa edilmesi gerektiği görülmektedir.

8. GELECEK ATÖLYESİ ÇALIŞMASI

Geleceğin harekât ortamında Kompozit Malzeme ve İmalat Teknolojilerinin; teknolojik, toplumsal, ekonomik ve çevresel etkilerini keşfetmek; ilgili alandaki eğilimler veya yıkıcı gelişmeler doğrultusunda geleceğin dünyasını hayal etmek; arzu edilen geleceğe ulaşılması için gerekli politikaların geliştirilmesine katkı sağlamak amacı ile Gelecek Atölyesi çalışması gerçekleştirilmiştir.

Atölyeye sektörün öncü firmalarından alan uzmanları ve çeşitli üniversitelerden değerli öğretim üyeleri katılım göstermiş olup, toplamda 69 katılımcı atölyede katkı sağlamıştır. Katılımcıların yüzde dağılımı Şekil 8.1'de yer almaktadır.



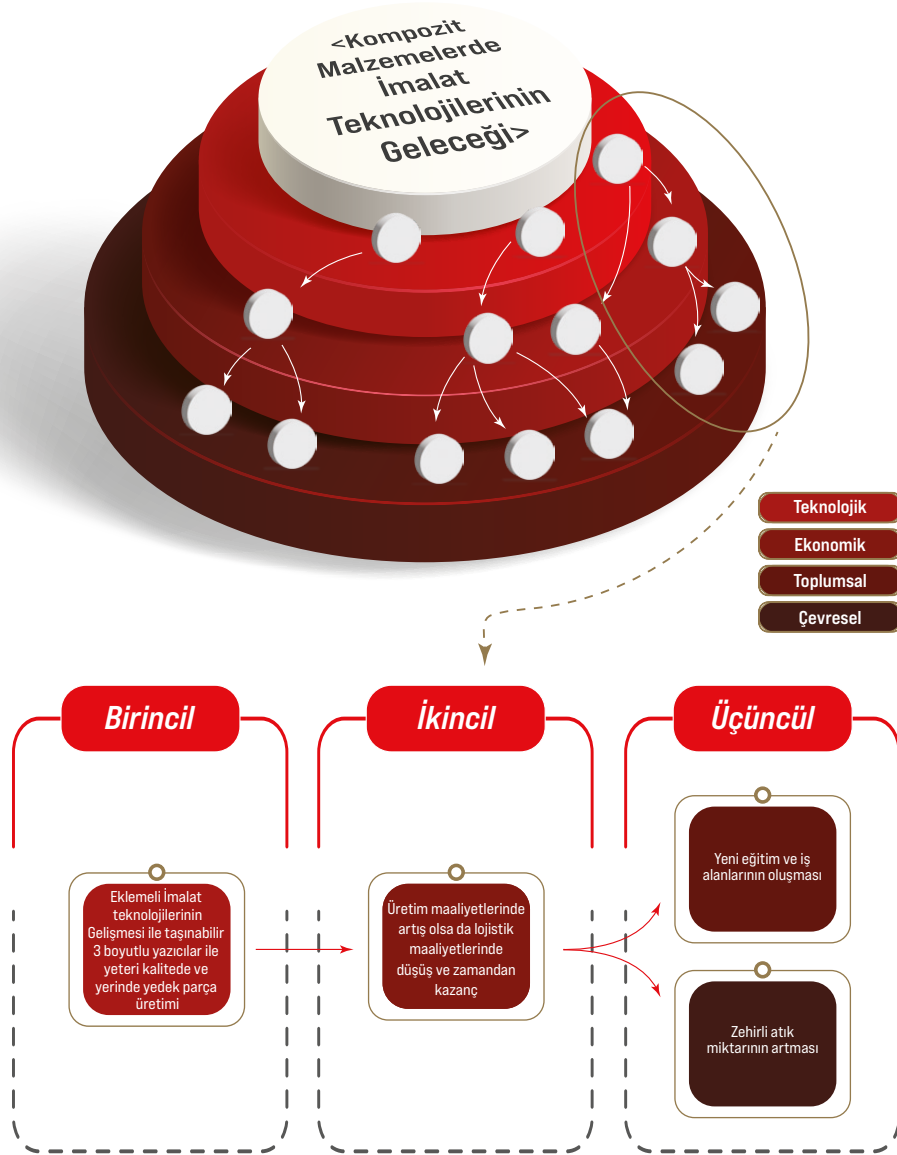
Şekil 8.1 Katılımcı Dağılım Grafiği

8.1 YÖNTEM

OTAĞ çalışmaları kapsamında Yeni Zelanda Hükümeti Politika oluşturma projesinden Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın strateji planlama faaliyetlerine kadar pek çok politika geliştirme çalışmasında faydalanılan Gelecek Çarkı (Futures Wheel) [28] yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ile Kompozit Teknolojilerinin 2050 yılı ve sonrası olası olumlu/olumsuz etkileri incelenmiştir.

Çalışmaya Kompozit Teknolojileri alanında faaliyetler yürüten firma temsilcileri ve akademisyenler katılmış ve katılımcılar uzmanlık alanlarına göre çalışma gruplarına ayrılmıştır. Atölye sırasında ilgili çalışma grupları farklı masalara konumlandırılmıştır. Atölye kapsamında 2050 yılının kompozit dünyasındaki gelişmeleri hayal etmek için "Kompozit Malzeme Teknolojileri" ve "Kompozit İmalat Teknolojileri" konuları masaların odak konusu olarak belirlenmiştir. Çalışmalar her bir konu için 3 farklı masa olmak üzere toplamda 6 masada gerçekleştirilmiştir. Atölye sırasında üretilen tüm fikirler, atölye öncesinde ve tüm çalışma grupları için ayrı ayrı hazırlanan yapılandırılmış posterler kullanılarak toplanmıştır.

Atölyenin birinci aşaması olan Gelecek Çarkı bölümü 3 çepere ayrılmıştır. Tüm çepelerin merkezinde, tartışılacak olan ana konu konumlandırılmıştır. Merkezden başlayarak ilgili konunun gelecekteki birincil, ikincil ve üçüncül etkileri ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle çepeler arasında ortaya çıkan etkilerde, öncül ardıl ilişkileri kurulmuştur. Atölye sırasında alan uzmanlarının zihin fırtınası ile hayal ettiği etkiler farklı renk kodları ile ekonomik, sosyal, çevresel veya teknolojik boyutlarda farklı şekilde belirtmiştir. Geliştirilen yöntem ile ilgili etkilere PESTLE boyutu kazandırılmıştır. Böylece analiz edilen etkilerin hangi boyutlarda yoğunlaştığını da görmek mümkün olmuştur.

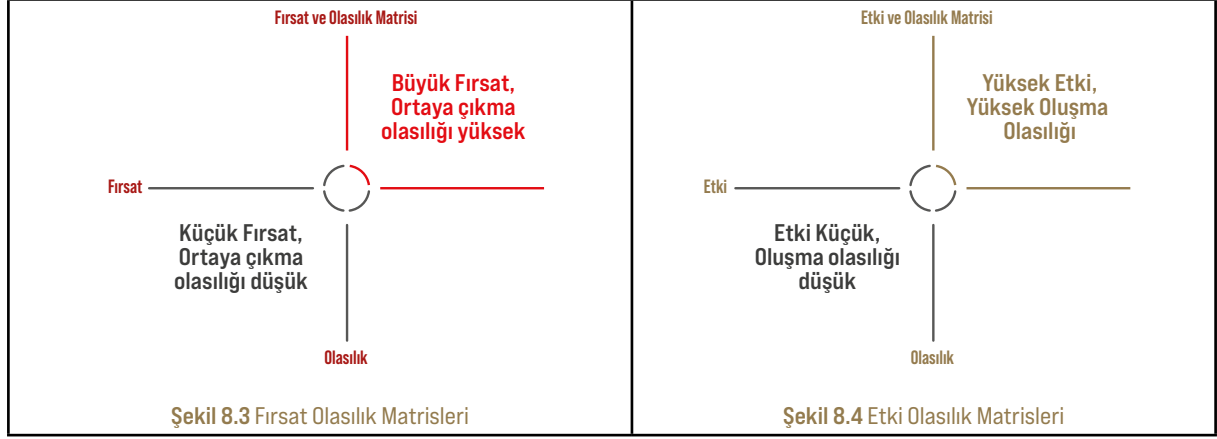


Şekil 8.2 Gelecek Çarkı Atölye Akışı

Şekil 8.2'de görüldüğü üzere, uygulama sırasında her bir çepere (iç içe geçmiş 3 farklı daire); hayal edilen, ilgili zaman vadesinde gerçekleşmesi muhtemel olarak değerlendirilen gelecek etkileri yazılmış, ikinci ve üçüncül çepelerde ise bir önceki çeperdeki etki düşünülerek ikincil ve üçüncül etkiler tartışılmıştır. Gelecek Çarkı aşamasında belirlenen etkiler boyutlarına göre tasniflendikten sonra atölyenin ikinci aşamasında "Fırsat-Olasılık" ve "Etki-Olasılık" koordinat sistemine yerleştirilmiştir.

“Fırsat-Olasılık Matrisi” olumlu etkileri içermekte olup, olumsuz olarak değerlendirilen etkiler de “Etki-Olasılık Matrisi” matrisine yerleştirilmişlerdir (Şekil 8.3 ve Şekil 8.4).

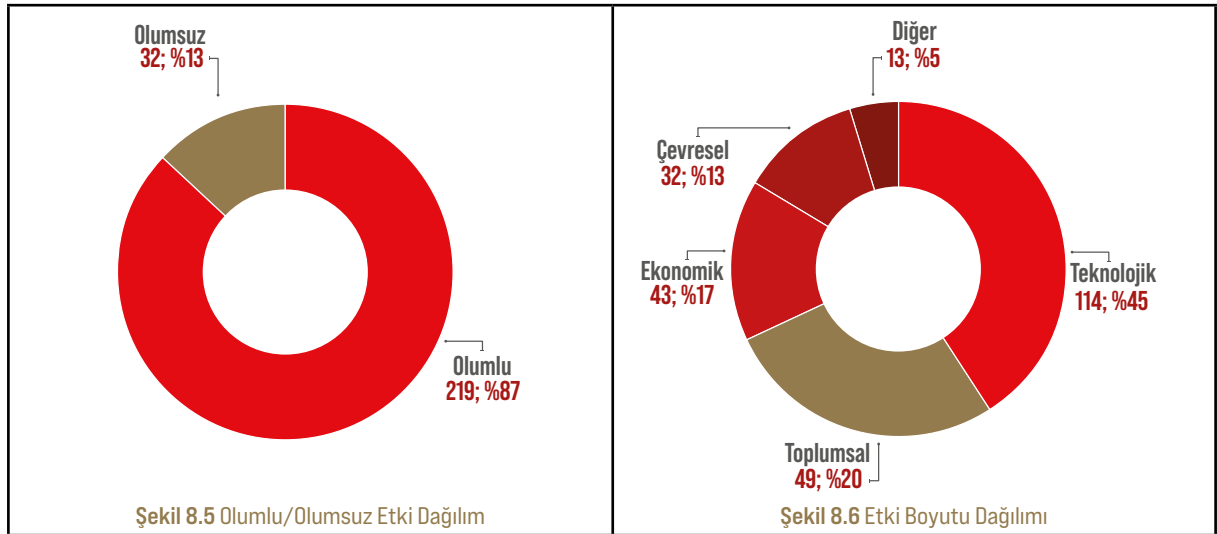
Matris yapılarında da etkiler gerçekleşme ihtimallerine ve önem derecelerine göre 4 bölümde değerlendirilmiştir. Etkisinin en büyük ve gerçekleşme ihtimalinin en yüksek olan etkiler eksenlerdeki 1. bölümlere yerleştirilmişlerdir.



Atölyenin 3. ve son aşamasında “fırsat ve olasılık”, “etki ve olasılık” matrisine yerleştirilen etkilerden “Büyük Fırsat, Ortaya Çıkma Olasılığı Yüksek” ve “Yüksek Etki, Yüksek Oluşma Olasılığı” olarak etiketlenen sonuçlara ilişkin politikalar oluşturulmuştur.

8.2 ANALİZ

Atölye sonucunda 6 ayrı masanın ve 69 katılımcının ürettiği fikirler metodolojiye uygun yapılandırılmış bir şekilde toplanmış ve analiz edilmiştir. Analiz kısmında ilk olarak atölye çalışmasına ait sayısal veriler ele alınmış, ikinci aşamada elde edilen çıktılar üzerinden katılımcıların oluşturduğu öngörülerin analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.5'de atölye sırasında üretilen gelecekçi düşüncelerin olumlu veya olumsuz etiketlerine göre dağılımları yer almaktadır. Katılımcıların büyük çoğunluğunun olumlu bir geleceği hayal ettiği ve bu yönde girdiler yaptığı tespit edilmiştir.

Şekil 8.6'de ise katılımcıların belirttiği gelecekçi düşüncelerin ilişkili olduğu boyutlara göre dağılımı verilmiştir. Girdilerin çoğunluğu teknolojik boyutta olsa da katılımcıların farklı boyutları da ele alarak olası etkilere yönelik değerlendirmeleri paylaştığı gözlemlenmiştir.

Atölye katılımcılarının öngörülerinin analiz edilmesi amacıyla, derlenen etkilerden ardıl öncül ilişkileri kurulabilen örnekler seçilmiş ve seçilen bu ilişkiler değerlendirilerek ilgili öngörü rotasını takip eden kısa gelecek senaryoları oluşturulmuştur. Düşünülen etkilerin öncül ardıl ilişkileri işlenmiş olup, sonrasında bu bağların büyüklüklerine göre en anlamlıları seçilip, mini gelecek senaryoları oluşturulmuştur. İlgili kısa senaryolar aşağıdaki gibi 4 alt başlıkta incelenmiş ve EK-3'te belirtilmiştir.

- Kompozit İmalat Yöntemleri Olumlu Gelecek Senaryoları
- Kompozit İmalat Yöntemleri Olumsuz Gelecek Senaryoları
- Kompozit Malzemeler Olumlu Gelecek Senaryoları
- Kompozit Malzemeler Olumsuz Gelecek Senaryoları

Malzeme ve İmalat Teknolojilerinin keskin bir çizgi ile ayrılamaması, doğal bir sonuç olarak başlıklar altında toplanan gelecek senaryolarının da kesin bir çizgi ile ayrılamamasına neden olmuştur. Bu sebeple İmalat Teknolojileri odağındaki bir masada, Malzeme Teknolojileri konuları da gündeme gelmiş, Kompozit Malzeme Teknolojileri odaklı bir masada da İmalat Teknolojileri hayal edilmiş ve etkilerin değerlendirildiği gözlemlenmiştir.

8.3 GELECEK ATÖLYESİ BULGULARI

Gelecek Atölyesi sonucunda gelecekçi fikirler önce etki haritasına öncül-ardıl ilişkilerine göre konumlandırılmış, daha sonrasında bu haritadan mini gelecek senaryoları oluşturulmuştur (Ek-3).

Ek-3'ün ilk sütununda yer alan "Boyutlar" bölümü gelen düşüncelerin hangi PESTLE boyutlarında olduğunu belirtmektedir. "Yöntem" kısmında da belirtildiği üzere katılımcılar düşüncelerini belirtirken PESTLE boyutlarını da düşünmüş ve her bir düşüncelyi bu boyutlar ile ilişkilendirmiştir.

"Değerlendirme" bölümü ise katılımcıların belirttiği ve etkilerin belli bir metodoloji ile birleştirilmesiyle oluşan mini gelecek senaryolarını içermektedir. Değerlendirme bölümünde, katılımcılar tarafından belirlenerek Fırsat veya Etki eksenlerine konumlandırılacak kadar değerli olan düşünceler de mini senaryoların bitimlerinde belirtilmiştir. Bu gösterim, adı geçen etkinin ilgili eksenlerde hangi bölgede bulunduğu göre değerlendirilmiştir. Ek-3'te yer alan senaryoların bütünü incelendiğinde aşağıda yer alan tespitlere ulaşılmıştır;

- Çevresel etkilerin artması ve karbon tüketimine yönelik yeni regülasyonların yürürlüğe girmesi beklenirken, düşük maliyetli ve güvenilir kompozit konsolidasyonu yöntemleri sayesinde nakliye maliyetleri düşecek ve termoplastik onarım olanakları yaygınlaşacaktır.
- Termal ve elektriksel etkileşimle şekil değiştirebilen hafif malzemelere olan talep artacak ve izlenebilirlik analizi yapan şirketlerin sayısı çoğalacaktır.
- Kompozit imalat teknolojilerinin otomasyonu ile karmaşık geometrilerde robotik üretim mümkün olacak, ancak bu süreç işsizlik riskini beraberinde getirecektir.
- Simülasyon destekli imalat, dijital ikizler, yapay zekâ ve büyük veri gibi teknolojilerle üretim süreçleri daha akıllı hale gelecek; nitelikli iş gücüne olan ihtiyaç artarken, siber suçların da yükselmesi kaçınılmaz olacaktır.
- Kendini onarabilen malzemeler ve dijital izlenebilirlik ile bakım maliyetleri azalacak, malzeme ömürleri uzayacak, ancak yedek parça fiyatlarında artışlar gözlemlenecektir.
- Gömülü sensör teknolojisi ile malzeme durumlarını anlık izleyebilmek mümkün hale gelirken, yapısal enerji depolama ve biyobozunur malzeme çözümleri daha ekonomik ve doğa dostu alternatifler sunacaktır.
- Ayrıca, düşük görünürlük sağlayan hafif kompozitlerin mukavemeti artırılabilecek, bu da hava araçlarının ağırlığını azaltıp, yakıt tasarrufu ve performans artışı sağlarken çevresel koşullara karşı hassasiyetlerini artıracaktır.

Geleceği betimleyen bu mini senaryolara ve etkilere bakıldığında bugünden alınması gereken önlemler veya desteklenmesi gereken politikalar olduğu değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında bunlar, "Politika Oluşturma" adlı bölümde katılımcılar tarafından tartışılmıştır. Masalarda tartışılan etkilerin önem dereceleri en yüksek olanlar seçilmiş ve önerilen politikalar aşağıda sıralanmıştır.

Destek Politikaları;

- Teknoloji yol haritalarının her seviyede hazırlanması,
- İnsan ve maddi kaynakların buna göre ayrılması,
- Teknolojik gelişmelerin hepsi için farkındalık çalışmalarının yapılması ve ortak politikalarının yapılması,
- Üniversitelerdeki eğitim modelinin değiştirilmesi; verimli, proaktif insan odaklı, eğitim modeli oluşturulması,
- Üniversite ve sanayi iş birliğinin arttırılarak Ar-Ge faaliyetlerinin arttırılması,
- Yetkin insan kaynağının artırılması için eğitim politikalarında köklü değişikliklerin getirilmesi,
- Yapısal analiz ve tasarım hakimiyetinin arttırılması,
- Biyokompozit malzemelere yönelik çalışmaların ve termosetten termoplastiğe yönelimin artması,
- Radyasyona, yüksek sıcaklığa ve basınca dayanıklı malzemelerin üretimi çalışmalarının desteklenmesi,
- Şirketler arasında tecrübe ve bilgi paylaşımı için bilgi havuzunun oluşturulması (ticari gizli bilgilerin verilmesine karşın maddi olarak destek sistemlerinin de getirilmesi)

Önlem Politikaları;

- Çevresel regülasyonlar ceza ile teşvik siteminin getirilmesi, geri dönüşemeyen ve insan sağlığına zararlı kimyasal içeren kompozitlerin kullanımının kısıtlanması,
- Savunma sanayi şirketlerinin yeni departmanlar kurarak, sivil alanlara da katkı sağlaması, çift kullanım çalışmalarının artırılması,
- Fikri ve sınai haklar ile ilgili regülasyonlar düzenlenmeli, bilgi paylaşım çağında kaos engellenmeli,
- Ürünlerin ömürleri sonrasında ikincil ve üçüncül kullanım alanlarının en baştan belirlenmesi konusunda politikaların oluşturulması olarak sıralanabilir.

9. SAVUNMA SANAYİ BAŞKANLIĞI TEKNOLOJİ KAZANIM ÇALIŞMALARI

Başkanlığımızın 2024 – 2028 Stratejik Planı kapsamında Ar-Ge ve Teknoloji alanında geleceğe yön verecek teknoloji ve yetenekleri milli imkanlarla geliştirmek amacıyla, günümüz ve geleceğin teknolojilerine yönelik kapsayıcı ve istikrarlı gelişimin sürdürülmesi ve çığır açan teknoloji alanlarında yetenek kazanımının sağlanması hedeflenmektedir.

Savunma sanayii alanında dışa bağımlılığı asgari seviyeye indirmek, ana sistemlerin ve tüm kritik alt sistemlerin yerleştirilmesi ile mümkündür. Bunun yanı sıra, teknolojiyi takip eden değil teknolojiye öncü olan bir ülke olmak için, ileri teknolojiye yatırım yapmak büyük önem arz etmektedir.

Bu doğrultuda, Başkanlığımız tarafından günümüzdeki teknolojik gelişimin hızıyla 3-5 yıl olarak tanımlanabilecek yakın vadeden ötesini ve o yılların harekât ortamlarını tasvir etmek ve bu ortamlarda etkin olacak konseptler ile onların gerçekleştirilmesini sağlayacak teknolojileri belirlemek amacı ile Geleceğin Harekât Ortamını Şekillendirecek Teknolojiler (GHOST) etkinliği gerçekleştirilmektedir.

GHOST kapsamında geleceğe etki potansiyeli yüksek olarak belirlenen teknolojiler Savunma Sanayii Başkanlığı Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı tarafından düzenlenmekte olan Odak Teknoloji Ağı (OTAĞ) çalışmaları kapsamında ele alınmaktadır. Her yıl belirlenen teknoloji alanlarında; üniversiteler, araştırma kuruluşları, ihtiyaç makamları, sanayi ve KOBİ'lerden ilgili temsilcilerin katılımıyla OTAĞ faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. OTAĞ faaliyetlerine ilişkin bilgilere, Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Portalinden (<https://arge.ssb.gov.tr>) ulaşılabilir.

OTAĞ faaliyetleri ile ele alınan teknolojiler bütüncül bir yaklaşımla, ekosistemde yer alan tüm paydaşların katkıları ile, belirlenen ve önceliklendirilen konu önerileri doğrultusunda Teknoloji Bazlı Ar-Ge Yol Haritaları oluşturulmaktadır.

Ar-Ge Paneli'ne sunulacak konuların belirlenmesinde, Teknoloji Bazlı Ar-Ge Yol Haritaları öncelikli girdidir.

Gereksinimleri net olarak belirlenmemiş ya da belirlenemeyen konular, Savunma Sanayii Ar-Ge Geniş Alan (SAGA) Çağrısı olarak, diğer durumlarda, Ar-Ge Projesi Önerisi olarak Ar-Ge Paneli'ne sunulur. Ar-Ge Paneli Kararları alındıktan sonra SSB projelendirme faaliyetleri gerçekleştirilir.

Başkanlığımız tarafından sektörel yetkinlik ve kapasitelerin değişik aşamalarda, farklı kategorilerde ve süreklilik içinde değerlendirilmesi ve puanlandırılması amacıyla Endüstriyel Yetkinlik Değerlendirme ve Destekleme Programı (EYDEP) yürütülmektedir. EYDEP ile savunma sanayiinde faaliyet gösteren firmaların, sektörde nitelikli tedarikçi olabilmelerini teminen durum analizleri yapılmakta ve gelişme planlarının oluşturulması amaçlanmaktadır. EYDEP'e başvurular "<https://yeten.ssb.gov.tr/eydepinfo>" internet adresinden yapılabilmektedir. Ayrıca, Savunma Sanayii Yetenek Envanteri (YETEN) kapsamında birçok kamu kurum ve kuruluşu ile entegrasyon sağlanarak mevcut veri tabanlarından bilgi transferi sağlanmaktadır. Bu kapsamda, savunma sanayii alanında faaliyet gösteren firmaların ürünlerinin, üretim ve test altyapılarının, finans ve insan kaynağı bilgilerinin

YETEN'e kayıt etmesi gerekmektedir. Böylece TSK'nin ihtiyaç duyacağı her türlü harp sanayii ürününün ve hizmetlerinin milli sanayiinin kaynak ve imkânları ile azami ölçüde yurt içinden karşılanması için mevcut sanayiinin kapasitesi ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmakta, açık teknoloji alanları belirlenmekte, sanayii içinden yapay zeka teknolojisi ile potansiyel firma önermesi yapılabilmekte ve teknoloji transferi ile yurt içinde imal edilebilecek olan ürünler ile bu ürünleri üretebilecek potansiyel firmalar belirlenebilmektedir. YETEN ile ilgili detaylı bilgi "<https://yeten.ssb.gov.tr/>" adresinde yer almaktadır.

10. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

2024 Kompozit OTAĞ güncelleme çalışması, 2019 yılında yayımlanmış olan Kompozit Teknolojileri Sonuç Raporu ile belirlenen Teknoloji Konularında geline noktanın değerlendirilmesi, yeni ihtiyaçların tespit edilerek yol haritasına eklenmesi, mevcut durumda kazanım ihtiyacı bulunmayan konuların belirlenmesi ve bunlar sonucunda Türkiye'nin kompozit teknolojileri alanındaki mevcut durumunu ve gelecek vizyonunun ortaya konulması amacıyla yapılmıştır.

Türkiye'nin savunma sanayi alanında ortaya koyduğu vizyonu ile ihtiyaç duyulan platform ve sistem çeşitliliği artmış, buna paralel olarak teknoloji seviyesi yüksek malzeme ve imalat yöntemlerinin kullanılması önemli konuma gelmiştir. Bu bağlamda 2024 Kompozit OTAĞ faaliyetlerinde; Emniyet ve Güvenlik Güçlerinin ihtiyaçları da göz önünde bulundurularak yapılan değerlendirme ile Teknoloji Konuları belirleme ve önceliklendirme analizi faaliyetleri incelendiğinde; ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan ve milli olarak kazanımı zorunlu olan teknolojilerin oranının %26, ulusal yetkinlik artırımı açısından kritik konuların oranının ise %53 olduğu tespit edilmiştir.

Kompozit teknolojisi "Malzeme" ve "İmalat" olarak konular ayrı ayrı ele alındığında, tedarik kısıtlamalarının "Malzeme" açısından daha kritik olduğu görülmektedir. Türkiye'de, teknolojisi yüksek, kritik malzemeler için bilgi birikimi eksikliği ve alt yapı yetersizliği daha büyük seviyededir. 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında yapılan değerlendirmeler sonucunda, elyaf malzeme teknolojileri, yüksek performanslı dar şerit ve towpreg teknolojileri, özelleşmiş reçine sistemleri, balistik kompozit malzemeler ve seramik matris kompozit malzemeler öncelikli çalışılması gereken konular arasında yer almaktadır. İz düşürücü malzemeler de gelişen tehdit seviyeleri ve çeşitli gereksinimler ile halen çalışılmasına ihtiyaç duyulan teknolojileri arasında olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin savunma sanayiinde sergilediği başarılar ve yerlilik oranının malzeme bazında giderek yükselmesi ile savunma ve havacılık sanayiinde yaygın kullanılan reçine sistemlerinin bir kısmının yerleştirilmesi sağlanmakla birlikte yüksek servis sıcaklıklarına sahip reçine sistemleri için bu alandaki ihtiyaç devam etmektedir. Öte yandan özel nitelikli reçine ihtiyacına paralel olarak kritik reçine hammaddelerinin üretim teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların hayata geçirilmesi gittikçe önem kazanmıştır.

Kompozit "İmalat" yöntemleri açısından dışa bağımlılık daha düşük seviyededir, ancak ekipman tedariklerine ciddi kısıtlamalar getirildiği görülmektedir. 2024 Kompozit OTAĞ kapsamında, iz düşürücü kompozit malzemelerin imalat ve kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiği görülmüştür. Bununla beraber seramik matrisli kompozitlerin imalat yöntemleri yakın vadede geliştirilmesi gereken kritik konular arasında olup robotik ve otomasyon destekli kompozit imalat teknolojilerinin geliştirilmesi de öncelikli ihtiyaçlar arasında değerlendirilmiştir.

Kompozit teknolojileri konusunda yakın vade ihtiyaçların yanı sıra uzak vadenin de şimdiden planlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, önceliklendirme kriterlerine göre uzak vadede yer alan elyaf malzeme teknolojileri, kompozit muayene ve özellikle yüksek sıcaklık ve kriyojenik test alt yapılarının geliştirilmesi, termoplastik malzeme ve imalat yöntemlerinin geliştirmeye devam ettirilmesi, kalıp tasarım ve üretim iyileştirme çalışmalarının da başlatılmasına ve devam ettirilmesine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

2024 Kompozit OTAĞ kapsamında gerçekleştirilen “Gelecek Atölyesi” çalışmasında ise 2050 yıllarında kullanılması hayal edilen teknolojiler hakkında değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Platform ihtiyaçlarına yönelik, 1000°C gibi yüksek sıcaklıklara dayanan, proses edilebilirliği daha kolay, radyasyona, basınca dayanan kompozit malzemelerin geliştirilmesi, biyokompozitlerin yaygınlaştırılması, otomasyonun ve yapay zekanın üretim ve kalite kontrol süreçlerine daha fazla dahil olması gibi konular geleceğin ihtiyaçları olarak öne çıkmaktadır.

Ülkemizin coğrafi konumu ve uluslararası yatırımcıların varlığı neredeyse tüm sektörlerde kompozit malzeme ve imalat teknolojilerinin kullanımında artışı beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte, yüksek üretim maliyetleri ve üretim süreçlerinin karmaşıklığı önemli zorluklar teşkil etmektedir. Yeni parçaların hızlı bir şekilde tasarlanması ve mühendisliğinin yapılması için ancak değer zinciri boyunca tüm taraflarca kabul edilen standartlar ve normlar ile istikrarlı değerlere ve tekrarlanabilir sonuçlara ulaşılabilecektir. Özellikle havacılık ve savunma sanayiinde kompozit malzemelerin sıkı güvenlik ve performans standartlarını karşılamasını sağlamasında üretimde standardizasyon ve kalite kontrolün önemi yadsınamaz. Oluşturulacak malzeme veri tabanları, laboratuvarlar arası verifikasyon ile gerekli standartların oluşturulması da pazar için kritik diğer unsurlardır.

Bununla beraber, bahse konu kritiklik seviyesine sahip teknoloji alanlarının yapılabilirliğine ilişkin değerlendirmede yetişmiş insan kaynağının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Kalifiye işgücüne olan ihtiyacın karşılanması için; devlet ve şirket politikaları ile eğitim ihtiyaçlarının tespit edilerek ilgili kurumlar nezdinde kritik ve yetkin personelin yetiştirilmesi önem arz etmektedir.

Kritikliği önem kazanan bir diğer konu da teknoloji kazanım faaliyetleri planlanırken; kullanım hacmi göz önünde bulundurularak yerleştirme alt yapılarının kurgulanmasıdır. Bu kapsamda, çift kullanım kriteri konusunda öne çıkan Teknoloji Konularına yönelik farkındalığın artırılması, kurum ve kuruluşlar tarafından tespit edilen öncelikli alanların takip edilmesi ve mevcut çalışmaların ilgili alanlara entegrasyonu için görüşmeler yapılmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Tüm bu hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilen 2024 Kompozit OTAĞ güncelleme çalışmaları kapsamında, sektörün mevcut ve gelecek ihtiyaçlarını kapsayıcı bir yol haritası elde edilmiştir. Oluşturulan Kompozit Teknolojileri Yol Haritası, öncelikli alanlara yönelik Ar-Ge faaliyetlerini yönlendirmek ve teknoloji kazanımlarını planlamak için kritik bir araç olarak konumlandırılmakta olup; sektörün rekabetçi kalabilmesi ve güvenlik ihtiyaçlarını karşılayabilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir.

11. REFERANSLAR

- [1] A. T. A. D. D. Ö. D. Y. E. K. İ. Karail, «SSB Kompozit Teknolojileri Yol Haritası Sonuç Raporu,» T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2019.
- [2] J. World, «JEC Overview of the global composite market 2023-2028,» 2024.
- [3] ATI, «Composite-Roadmapping-Results,» 2019.
- [4] G. L. U. V. H. W. Jin Zhang, «Past, Present and Future Prospective of Global Carbon Fibre Composite Developments and Application,» *Composite Part B*, 2023.
- [5] V. S. C. H. W. C.-H. W. Jin Zhang, «Current Status of Carbon Fibre and Carbon Fiber Composites Recycling,» *Composites Part B*, 2020.
- [6] J. C. G. a. A. K. D. J. R. J. J. O. B. Douglas A. McCarville, «Design, Manufacture abd Test of Cryotank Components».
- [7] J. Magazine, «The Last 50 Years and The Future,» cilt History of Composite Volume 2, 2023.
- [8] M. a. C. -. C. M. C. (. Market, «Ceramic Matrix Composites [CMCs] Market Size, By Matrix Type (OX/OX, SIC/SIC, C/C, and SIC/C), By Fiber Type (Continuous and Woven), By End-Use Industry, and By Region Forecast to 2030,» 2022.
- [9] M. BAKIR, «Quartz Fiber Radome And Substrate For Aerospace Applications,» *Eskişehir Technical University Journal Of Science And Technology A- Applied Sciences And Engineering*, Cilt %1 / %224(1),, pp. 48-56, , 2023.
- [10] C. Raible, «Global Quartz Fiber Market: Focus on Application, End-use Industry, Type, Equipment, and Region - Analysis and Forecast, 2024 – 2031,» 2024.
- [11] Jeff Sloan, «From the CW Archives: I See Thermoplastics in Your Future,» *Composites World Magazine* .
- [12] M. Ç. R. E. E. Fahrettin Öztürk, «Recent Advancements in Thermoplastic Composite Materials in Aerospace Industry,» *Journal of Thermoplastic Composite Materials*,, 2023.
- [13] Composites World, «Multifunctional composite structures across end markets,,» 2021.
- [14] NASA Technology Roadmaps, «TA 12: Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing, ,,» 2015.
- [15] JTAMT, «Forecasting on composites-Markets, Products, and Demands, Vol.9, 2,,» 2015.
- [16] Subcommittee on Advanced Manufacturing Committee on Technology of The National Science and Technology Council, «National Strategy For Advanced Manufacturing a Report,» 2022.
- [17] H. D. a. G. P. A. Lotfi, «Natural Fiber Reinforced composite A Review on material manufacturing and machinability,» *Journal of Thermoplastic Composite Materials* , pp. 1-47, 2019.

- [18] M. a. C. - C. Market, «Composites Market By Resin Type (Thermoset Composites and Others), By Product (Polymer Matrix Composites and Others), By End-Use (Automotive & Transportation and Others), and By Region Forecast to 2030,» 2021.
- [19] J. Sourkes, «The Maturation of Composite Manufacturing in Aerospace,» TxVAero, 2019.
- [20] Mitsubishi Materials, «Changing the World with New Materials, A Half-Century History of CFRP.».
- [21] J. Sloan, «Composite End Markets: Pressure Vessels,» *Composite World Magazine*, 2023.
- [22] «Tow Prepreg Market by Resin Type (Epoxy, Phenolic), Fiber Type (Carbon, Glass), Application (Pressure Vessels, Scuba Tanks, Oxygen Cylinders), End-Use Industry, and Region (North America, Europe, APAC, MEA & Latin America)- Global Forecast to 2026.».
- [23] J. J. P. R. Wiser, «Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050,» *Nature Energy*, 2021.
- [24] F. E. Gabus A, «World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL.,» *Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland.*, cilt 1, no. 8, pp. 4-12, 1972;.
- [25] T. Saaty, «The analytic hierarchy process,» *McGraw-Hill, New York*, 1980.
- [26] C. L. & Y. K. Hwang, «Multiple attribute decision making: Methods and applications,» *Springer-Verlag, New York*, 1981.
- [27] A. T. A. E. D. O. M. G. Y. D. Ö. D. A. Y. N. A. İ. U. D. M. E. Ç. A. K. Kaan Arda, «Savunma Sanayii Teknoloji Taksonomisi 2.0,» SSB, Ankara, 2020.
- [28] J. Glenn, THE FUTURES WHEEL, The Millennium Project, 2021.

EKLER

EK-1 Katılımcı Listesi

EK-2 Teknoloji Konuları Listesi

EK-3 Gelecek Senaryoları

EK-1 KATILIMCI LİSTESİ

No	Kurum/Üniversite/Firma
1	Aksa Akrilik Kimya
2	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
3	Altıgen Uzay Hav.Gemi İnş.San. ve Tic.Ltd.Şti.
4	ASELSAN
5	Atılım Üniversitesi
6	Başkent Üniversitesi Bilgi İnovasyon ve Teknoloji Transfer Ofisi (BİTTO)
7	Baykar Teknoloji
8	Bilkent Üniversitesi
9	BMC Otomotiv A.Ş.
10	BOTEK AR-GE KİMYA A.Ş.
11	Bursa Teknik Üniversitesi
12	BUTEKOM ve Bursa Uludağ Üniversitesi
13	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
14	DowAksa İleri Kompozit Malzemeler
15	Duratek A.Ş.
16	Ernes kompozit teknolojileri san ve tic a.ş.
17	Fırat Üniversitesi Müh.Fak. Makina Müh.Böl.
18	GARANTİ GİYİM KOMPOZİT TEKNOLOJİLERİ
19	Gazi Üniversitesi
20	Havelsan
21	Hazerfen Kimya Malzeme ve Enerji Teknolojileri Sanayi Ticaret A.Ş.
22	Hv.K.K.İği
23	IMS Polymers (İzmir Eğitim Sağlık Sanayi Yatırım A.Ş.)
24	Ege Ünivesitesi
25	İnoveta Kompozit Ltd.
26	İstanbul Üniversitesi
27	İstanbul Teknik Üniversitesi
28	İzel Kimya Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
29	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
30	Karadeniz Teknik Üniversitesi
31	Kimpur Kimteks Poliüretan
32	Kipaş mensucat
33	Konya Teknik Üniversitesi
34	KORD Endüstriyel İp ve İplik San ve Tic AŞ
35	Kordsa Teknik Tekstil A.Ş
36	Marmara Üniversitesi

No	Kurum/Üniversite/Firma
37	MİR Araştırma ve Geliştirme A.Ş.
38	Nanografi Nano Teknoloji Anonim Şirketi
39	Nurol Teknoloji
40	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
41	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
42	Otokar Otomotiv ve Savunma San.A.Ş.
43	ROKETSAN A.Ş.
44	Sabancı Üniversitesi (SUIMC)
45	Samsun Üniversitesi
46	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
47	Sasa Polyester Sanayi A.Ş.
48	SECANT Teknoloji Geliştirme Sanayi ve Ticaret A.Ş.
49	SPM Kompozit İleri Malzeme Teknolojileri Müh. Dan. San. ve Tic. A.Ş.
50	Subor Boru San ve Tic. A.Ş.
51	Şahince Otomotiv A.Ş.
52	TED Üniversitesi
53	TEI
54	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
55	Tenmak
56	TENMAK Bor Araştırma Enstitüsü
57	TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
58	TÜBİTAK MAM
59	Tusaş Motor Sanayi
60	TÜBİTAK SAGE
61	Tüfekçi Makine
62	TÜPRAŞ
63	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi (TUSAŞ)
64	Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. (Şişecam) Bilim Teknoloji ve Tasarım Merkezi
65	VOLO Kompozit
66	Yıldız Teknik Üniversitesi

EK-2 TEKNOLOJİ KONULARI ÖNCELİKLENDİRME LİSTESİ

YAKIN VADEDE KAZANIMI PLANLANAN KOMPOZİT KONULARI

#	Alt Konu Başlığı	Teknoloji Konusu	SSB Taksonimisi	Odak Çalışma Grubu
1	Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	Otomatik Fiber Serme Yöntemi Ve Yerinde Ve İkincil-Konsolidasyon Prosesleri	A01.03	İmalat
2	Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri	Oksit Ve Oksit Olmayan Seramik Matrisli Kompozit İmalat Teknolojileri	A01.02	İmalat
3	Termoset Malzeme Teknolojileri	Kriyojenik Reçine Ve Towpreg	A01.03	Malzeme
4	İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri	Desenli Kompozit İmalatı	A02	İmalat
5	İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri	Çok Katmanlı Kompozit İmalatı	A02	İmalat
6	Polimer Matris Dışı Kompozit Malzeme Teknolojileri	Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	A01.02	Malzeme
7	Akıllı Malzeme Ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Termal İletkenliği İyileştirilmiş Artırılmış Kompozit Yapılar	A01.03 A01.11	Malzeme
8	Kompozit Muayene Ve Test Teknolojileri	İz Düşürücü Kompozitler İçin Kalite Kontrol Ve Tahribatsız Muayene Teknolojileri	A01.06	İmalat
9	Termoset Malzeme Teknolojileri	ATL/AFP Teknolojisi İçin Yüksek Performanslı Dar Şerit Ve Towpreg	A01.03	Malzeme
10	Polimer Matris Dışı Kompozit Malzeme Teknolojileri	Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	A01.01	Malzeme
11	Akıllı Malzeme Ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Akustik Sönümlenme Özellikli Gözenekli Yapılar	A01.03 A01.11, A01.16, A02.01	Malzeme
12	İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri	Hibrit Kompozit İmalatı	A02	İmalat
13	İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri	Kızılötesi Düşük Görünür Malzemeler	A02.02	Malzeme
14	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Yüksek Modül Karbon Elyaf	A01.03	Malzeme
15	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Orta Modül Karbon Elyaf	A01.03	Malzeme
16	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Reçine	A01.03 A01.14 A01.15	Malzeme
17	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Ariken Eterketon) (PAEK) Prepreg	A01.03	Malzeme
18	İşleme Ve Birleştirme Teknolojileri	Termoplastik (Ultrasonik, Direnç, İndüksiyon vb.) Birleştirme Teknolojileri	A01.04	İmalat

19	İz Düşürücü Kompozit İmalat Teknolojileri	Tanecikli / Katkılı Kompozit İmalatı	A02	İmalat
20	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı İnce Tabaka Yapısal Yapıştırıcı	A01.03 A01.04	Malzeme
21	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Aramid Elyaf ve Kumaş	A01.03	Malzeme
22	Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	Sürekli Sıkıştırılmalı Kalıplama (Continuous Compression Molding – CCM)	A01.03	İmalat
23	Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	Yapısal Sağlık İzleme Teknolojileri	B09.06	Malzeme
24	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Kompozit Yapısal Enerji Depolama, Batarya ve Süper Kapasitörler	A01.03 A01.11 A05.04	Malzeme
25	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalat Teknolojileri	Seramik Matrisli Balistik Kompozit İmalatı	A01.02 A01.11	İmalat
26	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Siyanat Ester Prepreg	A01.03 A01.14 A01.15	Malzeme
27	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Yenilikçi Kompozit Ve Elyaf/ Kumaş Arayüzey Teknolojileri	A01.03 A01.11	Malzeme
28	İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri	Radar Soğurucu Kaplamalar	A02.03	Malzeme
29	Elyaf Malzeme Teknolojileri	S Cam Elyaf	A01.02	Malzeme
30	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Teknolojileri	Polimer Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler	A01.03	Malzeme
31	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit Teknolojileri	Seramik Matrisli Balistik Kompozit Malzemeler	A01.02	Malzeme
32	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalat Teknolojileri	Patlamaya Karşı Koruma Amaçlı Kompozit İmalatı	A01.02 A01.03	İmalat
33	Balistik Koruma Amaçlı Kompozit İmalat Teknolojileri	Polimer Matrisli Balistik Kompozit İmalatı	A01.03	İmalat
34	İz Düşürücü Kompozit Malzeme Teknolojileri	Radar Soğurucu Kompozit Yapılar	A02.03 A02.04	Malzeme
35	Elyaf Malzeme Teknolojileri	UHMWPE Elyaf ve Tek Yönlü Kumaş	A01.03	Malzeme
36	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Eklemeli İmalat Teknolojileri ile Kalıp Üretimi	B12.05	İmalat
37	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Kuru Fiber ile Otomatik Fiber Serme Cihazında Preform İmalatı	B12.05	İmalat
38	Termoset Malzeme Teknolojileri	Kürlenme Süresi Hızlı Olan Prepregler	A01.03	Malzeme

39	Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	Yapıştırılan Parçaların Kalite Kontrol ve Tahrıatsız Muayene Teknolojileri	A01.06	İmalat
40	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Otomatik Fiber Ve Şerit Serme Cihazı İle Parça Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları	B12.05	İmalat
41	Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri	Same Qualified Resin Transfer Molding (SQRTM)	A01.03	İmalat
42	Termoset Malzeme Teknolojileri	180 °C Kür Yapısal Epoksi Film Yapıştırıcı ve Yüzey Filmi	A01.03 A01.04	Malzeme
43	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Termoplastik Dar Şerit (Slit Tape)	A01.03	Malzeme
44	Termoset Malzeme Teknolojileri	Otoklav Dışı Üretim Teknikleri İçin Prepreg (180 °C Kür, Karbon, Cam Elyaf, Aramid vb. Takviyeli)	A01.03	Malzeme
45	Termoset Malzeme Teknolojileri	Siyanat Ester Reçineli Prepreg	A01.03 A01.14 A01.15	Malzeme
46	Termoset Malzeme Teknolojileri	Havacılık Sınıfı Yüksek Sıcaklık ve Mukavemet Dayanımlı Epoksi ve Silikon Pasta Yapıştırıcı	A01.03 A01.04	Malzeme
47	Termoset Malzeme Teknolojileri	Siyanat Ester Reçine	A01.03 A01.15	Malzeme
48	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Katran (İng. PITCH) Esaslı Karbon Elyaf ve Kumaş	A01.03	Malzeme
49	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Eter Ketonketon) (PEKK) Prepreg	A01.03	Malzeme
50	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	TS Parçalar İçin Kalıpların Üretimi	B12.05	İmalat
51	Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojileri	Metal Matrisli Kompozit İmalat Teknolojileri	A01.01	İmalat
52	İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	Birleştirme Teknolojilerine Yönelik-Termoset - Kalıp, Takım ve Fikstür İmalat Teknolojileri	A01.04	İmalat
53	Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	Termoplastik Konsolidasyon	A01.03	İmalat
54	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Otoklav Dışı İmalat İçin Kuru Elyaf ve Dokuma Kumaş	A01.03	Malzeme
55	Termoset Malzeme Teknolojileri	3-4 Fonksiyonlu Epoksi Reçine (120 °C ve 180 °C Kür, Islak ve Prepreg Uyg.)	A01.03	Malzeme

56	İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	Yapışma Teknolojileri (Lazer Ve Plazma Gibi Enerjik Yüzey Hazırlama Teknikleri, Kumlama, vb.)	A01.04	İmalat
57	Termoset Malzeme Teknolojileri	120 °C Kür Yapısal Epoksi Film Yapıştırıcı ve Yüzey Filmi	A01.03 A01.04	Malzeme
58	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Elektriksel Özelliği İyileştirilmiş Kompozit Malzemeler	A01.03 A01.11	Malzeme
59	Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	Kompozit Malzemelerin Tahribatsız Muayene Yöntemleri	A01.06	Malzeme
60	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Polimer Dışı Kompozit İmalat Teknolojilerine Yönelik	B12.05	İmalat
61	Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri	3D Prefrom Resin Transfer Molding (3D-RTM)	A01.03	İmalat
62	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Filaman Sarma Cihazı ile Parça Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları	B12.05	İmalat
63	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Termoset Malzemeler ile Otomatik Fiber ve Şerit Serme Cihazında Parça İmalatı	B12.05	İmalat
64	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Termoplastik Parçalar İçin Kalıpların Isıl İşlemi ve Kaplaması	B12.05	İmalat
65	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Termoset Parçalar İçin Kalıpların Isıl İşlemi ve Kaplaması	B12.05	İmalat
66	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Havacılık Sınıfı E Cam Elyaf	A01.02	Malzeme
67	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Yüksek Performanslı Termoplastik Towpreg (PEEK, PPS vb.)	A01.03	Malzeme
68	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Montaja Yönelik (Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri)	B12.05	İmalat
69	Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri	3 Boyutlu Dokuma Teknolojisi	A01.03	İmalat
70	Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri	3 Boyutlu Kumaş Örmeye (3D Braiding) Teknolojisi	A01.03	İmalat
71	Termoset Malzeme Teknolojileri	Epoksi Reçineli Prepreg (120 °C Kür, Karbon, Cam Elyaf, Aramid vb. Takviyeli)	A01.03	Malzeme
72	Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	Thermoforming (Pres-Forming)	A01.03	İmalat
73	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı (Tg>230 °C) (BMI, PI vb.) Prepreg	A01.03	Malzeme
74	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı (Tg>230 °C) Reçine (BMI, PI vb.)	A01.03	Malzeme

UZAK VADEDE KAZANIMI PLANLANAN KOMPOZİT KONULARI

#	Alt Konu Başlığı	Teknoloji Konusu	SSB Taksonomisi	Konu Sınıfı
1	İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	Seramik Matris Kompozit Malzemelere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri	A01.04	İmalat
2	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Silisyum Karbür Elyaf	A01.02	Malzeme
3	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Optik Özelliği İyileştirilmiş Saydam Malzemeler	A01.03 A01.11	Malzeme
4	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Fonksiyonel (RF, Isıl ve/veya Yapısal) Seramik Kaplamaları	A01.02 A01.11	Malzeme
5	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Kriyojenik Nanoyapıştırıcılar	A01.03 A01.04 A01.11 A01.12	Malzeme
6	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Şekil Hafızalı Malzeme İçeren Kompozit Yapılar	A01.03 A01.11	Malzeme
7	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Yapısal Film Yapıştırıcı (BMI, Siyanat Ester vb.)	A01.03 A01.04	Malzeme
8	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Kuartz Elyaf (Silika Oranı >%99.9)	A01.02	Malzeme
9	Kompozit Tekstil İmalat Teknolojileri	Tailored Fiber Placement	A01.03	İmalat
10	Termoset Malzeme Teknolojileri	Bal Peteği Alüminyum	A01.03	Malzeme
11	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Yüksek Silika Elyaf (Silika Oranı >%99.9)	A01.02	Malzeme
12	Termoset Malzeme Teknolojileri	Bal Peteği Aramid-Fenolik	A01.03	Malzeme
13	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Eter Eterketon) (PEEK) Prepreg	A01.03	Malzeme
14	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Polifenilen Sülfid (PPS) Prepreg	A01.03	Malzeme
15	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Termoplastik Nanokompozitler	A01.03 A01.11 A01.12	Malzeme
16	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Korozyon Önleyici Kaplamalar	A01.03 A01.05 A01.07 A01.11	Malzeme
17	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poliimid (PI) Matris ve Hammaddeleri	A01.03	Malzeme
18	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Fonksiyonel Kaplamalar (Buzlanma Önleyici/Giderici, Yağmur Erozyonu Önleyici, İletken vb.)	A01.03 A01.07 A01.11	Malzeme
19	Termoset Malzeme Teknolojileri	Termoset Yağmur Erozyon Koruma Malzemesi	A01.03	Malzeme
20	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Eter Ketonketon) (PEKK) Matris ve Hammaddeleri	A01.03	Malzeme

21	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Polifenilen Sülfid (PPS) Matris ve Hammaddeleri	A01.03	Malzeme
22	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Eter Eterketon) (PEEK) Matris ve Hammaddeleri	A01.03	Malzeme
23	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Köpük Core Malzemeleri (Polymetacrylimide (PMI), [Syntactic vb.]	A01.03	Malzeme
24	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Eter İmid) (PEI) Prepreg	A01.03	Malzeme
25	Termoset Malzeme Teknolojileri	Epoksi-Fenolik Reçine	A01.03 A01.14 A01.15	Malzeme
26	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Termoplastik Yağmur Erozyon Koruma Malzemesi	A01.03	Malzeme
27	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Termoplastik Yapıştırıcı	A01.03	Malzeme
28	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Eter İmid) (PEI) Matris ve Hammaddeleri	A01.03	Malzeme
29	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Poli (Ariken Eterketon) (PAEK) Matris ve Hammaddeleri	A01.03	Malzeme
30	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Ekleli İmalat Teknolojilerine Yönelik Yazılım Çalışmaları	B12.05	İmalat
31	Termoplastik Malzemelerle İmalat Teknolojileri	Injection Over Molding	A01.03	İmalat
32	Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	Kriyojenik Malzeme Test Teknolojileri	A01.06 B03.07	Malzeme
33	Kompozit Ekleli İmalat Teknolojileri	Sürekli-Elyaf Kompozit İmalatı	A01.13	İmalat
34	Termoset Malzeme Teknolojileri	Reçine Hammaddeleri	A01.03	Malzeme
35	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Fiber Algılayıcı Tabaka İçeren Kompozit Malzemeler	A01.03 A01.11	Malzeme
36	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Benzoxazine Reçine	A01.03	Malzeme
37	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Termoplastik Parçalar İçin Kalıpların Üretimi	B12.05	İmalat
38	Kompozit Ekleli İmalat Teknolojileri	Büyük Ölçekli (Kalıp vb.) Kompozit İmalatı	A01.13	İmalat
39	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Silikon Esaslı İnorganik Reçine	A01.03	Malzeme
40	Termoset Malzeme Teknolojileri	Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Kalıp Malzemeleri	A01.03	Malzeme
41	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Çarpılmaya Yönelik Ön Şekillendirmeli "Preshaping" Kalıp Tasarımı ve Modellemesi	B12.05	İmalat
42	Robotik-Otomasyon Destekli Kompozit İmalat Teknolojileri	Kompozit Tekstil (3 Boyutlu Örgü, Tailored Fiber Placement, vb.) Üretimine Yönelik Modelleme ve Yazılım Çalışmaları	B12.05	İmalat

43	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	Termoplastik Parçalar İçin Kalıplarda Çarpılmaya Yönelik Kalıp Tasarımı ve Modellemesi	B12.05	İmalat
44	Kalıp, Takım, Fikstür ve Yardımcı Aparat İmalat Teknolojileri	TS Parçalar İçin Kalıplarda Çarpılmaya Yönelik Kalıp Tasarımı ve Modellemesi	B12.05	İmalat
45	İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	Hibrit Malzemelere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri	A01.04	İmalat
46	Termoset Malzeme Teknolojileri	Bal Peteği Cam-Siyanat Ester	A01.03	Malzeme
47	Otoklav Dışı İmalat Teknolojileri	Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM)	A01.03	İmalat
48	Termoset Malzeme Teknolojileri	2-Fonksiyonlu Epoksi Reçine (120° C Kür, Islak ve Prepreg Uyg.)	A01.03	Malzeme
49	İşleme ve Birleştirme Teknolojileri	Polimerlere Yönelik Talaşlı İmalat Teknolojileri	A01.04	İmalat
50	Sürdürülebilirlik	Termoplastik Atıkların Yeniden Kullanımı	A01.03	Malzeme
51	Akıllı Malzeme ve Fonksiyonel Kompozit Teknolojileri	Kendini Onarabilen Kompozit Malzemeler	A01.03 A01.11	Malzeme
52	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Bor Elyaf ve Kumaş	A01.02	Malzeme
53	Kompozit Eklemeli İmalat Teknolojileri	Kısa-Elyaf Kompozit İmalatı	A01.13	İmalat
54	Termoplastik Malzeme Teknolojileri	Termoplastik Ağ ile Güçlendirilmiş Dar Şerit Prepreg Malzemeler	A01.03	Malzeme
55	Kompozit Eklemeli İmalat Teknolojileri	Tanecikli / Katkılı Kompozit İmalatı	A01.13	İmalat
56	Sürdürülebilirlik	Geri Dönüştürülebilir Kompozit Üretimi	A01.03	Malzeme
57	Kompozit Muayene ve Test Teknolojileri	Balistik Malzeme Test Teknolojileri	A01.06	Malzeme
58	Elyaf Malzeme Teknolojileri	Hibrit Dokuma Kumaş	A01.03	Malzeme

EK-3 GELECEK ATÖLYESİ SENARYOLARI

Kompozit İmalat Yöntemleri Olumlu Gelecek Senaryoları

#	Boyutlar	Değerlendirme
1	Çevresel Diğer Teknolojik	Kompozit atıkların çevreye verdiği yüksek olumsuz etkiler nedeniyle yeni regülasyonlar oluşturulacak ve bunlar daha çok karbon ve diğer zehirli gazların tüketim miktarına özel olacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
2	Teknolojik Ekonomik	Hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli yeni nesil kompozit konsolidasyonu yöntemleri geliştirilecek, termoplastik tamir ve yerinde üretim ile nakliye maliyetlerinin azaltılması mümkün kılınacaktır.
		Fırsat Derecesi: Düşük
		Olasılık: Düşük
3	Teknolojik	1000 derece gibi yüksek sıcaklıkta dahi kürlenebilen reçine prosesleri ile parçaların hafifletilmesi sağlanacak, görev süresi daha uzun hava araçlarının üretilmesine ve bu teknolojiye sahip ülkelerin stratejik önem kazanmasına ön ayak olacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
4	Teknolojik	Giyilebilir teknolojilerin geliştirilmesiyle yeni malzeme çalışmaları genişleyecek ve koruyucu teknolojilere yönelik sektörler de oluşacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Düşük
5	Çevresel Ekonomik	Yenilenebilirliğin öneminin artması yapısal dayanımı yüksek çevreci malzemelerin gelişmesine ön ayak olacaktır. Ayrıca atık yönetimi ve geri dönüşüm konularının da küresel olarak benimsenmesiyle geri dönüşüm şirketlerinin sayısı da artacaktır.
		Fırsat Derecesi: Düşük
		Olasılık: Yüksek
6	Çevresel Toplumsal	Yenilenebilirliğin ve karbon ayak izi azaltmanın önemi arttıkça daha temiz hava sahası, çevreci bir hayat mümkün olacak ve böylece insanların ortalama yaşam sürelerinde artış gözlemlenecektir.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
7	Teknolojik Ekonomik	Termal ve elektriksel etkileşim ile şekil değişimi teknolojilerinin gelişmesi sebebiyle tek parça ve hemen kürlenebilen hafif malzemelere ihtiyaç artacaktır. Böylece izlenebilirlik analizleri yapan şirketlerin sayısı artacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Düşük
8	Toplumsal Teknolojik Ekonomik	Gelişen sensor teknolojileri ile dijital ikiz teknolojileri birleşerek gerçek kompozit parça özellikleri hassas bir şekilde yansıtılarak yeni malzeme araştırma süreçlerinin maliyetleri azaltılacaktır. Böylece yeni istihdam alanları oluşacak, bilgisayar sistemlerinin de paralelde gelişmesiyle Ar-Ge süreçlerini hızlandıracaktır. .
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek

#	Boyutlar	Değerlendirme
9	Teknolojik Ekonomik Diğer Toplumsal	Hipersonik sistemler, Ekstrem koşullarda çalışabilen malzemeler, Şekil değiştirebilen malzemeler ve Gelişen sensor teknolojileri ile; Uzay görevlerinde daha uzun süreli yapısal performans, ekonomik getiri ve teknolojik üstünlük sağlamak amacıyla şekil hafızalı malzemeler uzay projelerinde kullanılacak ve dijital ikiz uygulamalarının gerçek kompozit parçalarında kullanılması sayesinde yeni malzeme araştırma süreçlerinde maliyet azalacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
10	Teknolojik Ekonomik	Yerinde üretim yöntemlerinin geliştirilmesiyle hızlı ve maliyet etkin üretim artacaktır ve böylece lojistik avantajlar sağlanacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
11	Teknolojik Çevresel Toplumsal	Kompozit malzemelerdeki atık yönetiminin daha verimli bir şekilde sağlanabilmesi için ayrılabilen reçine teknolojileri gibi gelişmeler yaşanacak, hızlı yapılandırma ve çözme yöntemleri geliştirilecektir. Geri dönüştürülmüş malzemelerin tekrar kullanılması ve atık oluşumunun azaltılması yönündeki çalışmalar ile doğal kaynakların asgari düzeyde kullanması mümkün olacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
12	Teknolojik Çevresel	Kompozit imalat teknolojilerinin otomasyonu, termoset ve termoplastiklerde hızlı, güvenilir, düşük maliyetli kompozit konsolidasyonu, karmaşık geometriye sahip kompozit parçalarının robotik üretilmesi konusunda öncül teknolojiler olarak görülmektedir. Ayrıca bu teknolojilerle 3 boyutlu kişisel kendin üret merkezlerinin açılması ve böylece zehirli atık miktarlarında azalmalar gözlemlenecektir.
13	Teknolojik Diğer	Kompozit imalat teknolojilerinin otomasyonu ile karmaşık geometriye sahip kompozit parçaların robotik üretimi ve ürünlerin katma değerinde artış sağlanacaktır.
14	Teknolojik Toplumsal Diğer	Simülasyon destekli imalat, RTM (dijital twin), in situ monitoring (imalat), yapay zekâ, büyük veri (malzeme verisi), makine öğrenmesi gibi teknolojiler kompozit imalat süreçlerine etkili bir şekilde dahil olacaktır. Bu tür gelişmeler yeni mevzuat düzenlemelerine sebep olurken, Ar-Ge süreçlerini hızlandıracaktır.
15	Teknolojik Diğer	Yapısal sağlık izleme ve self healing (kendini onarabilen kompozitler) teknolojilerinin geliştirilmesiyle ürün bakım süreleri kısılacak ve güvenilirlik artacaktır. Bu gelişmeler akıllı yapısal sistemlere geçişi sağlayacaktır.
16	Teknolojik Toplumsal	Lazer silahlara dayanıklı kompozit malzemelerle savaş durumlarında üstünlük sağlanarak caydırıcılık etkisi oluşacaktır.
17	Toplumsal Ekonomik Teknolojik	Yapı sistemlerinde kullanılacak malzemelerin ileri düzeyde gelişmesi aynı zamanda maliyetlerin de artmasına sebep olacaktır. Ancak beraberinde savunma amacıyla modüler yapı sistemleri, hızlı barınma ve ulaşım çözümleri geliştirilmesine de öncülük edecektir. Bunların ışığında gelecekte bu tür unsurlar ülkelerin savaş sırasında stratejik üstünlük kurmasını sağlayacaklardır.

#	Boyutlar	Değerlendirme
18	Teknolojik Toplumsal Ekonomik	Kompozit imalat süreçlerinin tam otomasyonla gerçekleştirilmesiyle hatasız üretim sayısında artışlar gözlemlenecek böylece kalite kontrol süreçleri daha sade ve az maliyetli olacaktır.
19	Teknolojik Çevresel Toplumsal Ekonomik	Kompozit malzemelerde daha verimli bir şekilde atık yönetiminin sağlanabilmesi için ayrılabilen reçine teknolojileri gibi gelişmeler yaşanacak ve yerinde/anlık üretim yöntemleri geliştirilecektir. Bu teknolojilerin gelişmesiyle de geri dönüştürülmüş malzemelerin tekrar kullanılması, hızlı ve maliyet etkin üretim yöntemleri de gelişerek ekonomik avantajlar sağlanacaktır.

Kompozit İmalat Yöntemleri Olumsuz Gelecek Senaryoları

#	Boyutlar	Değerlendirme
1	Teknolojik Toplumsal	Hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli yeni nesil kompozit konsolidasyonu yöntemlerinin gelişmesi ve hızlı AFP Braiding teknolojilerinin gelişmesi altyapı maliyetlerinin artmasına neden olacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
2	Teknolojik Toplumsal	Kompozit imalat teknolojilerinin otomasyonu ile karmaşık geometriye sahip kompozit parçaların robotik üretimi mümkün kılınacak ancak bunun sonucu olarak işsizlik artacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
3	Teknolojik Toplumsal	Simülasyon destekli imalat, RTM (dijital twin), in situ monitoring (imalat), yapay zeka, büyük veri (malzeme verisi), makine öğrenmesi gibi teknolojiler kompozit imalat süreçlerine etkin şekilde dahil olacak ve bu tür gelişmeler nitelikli insan gücüne duyulan ihtiyacı artırırken aynı zamanda siber suçların da artmasına sebep olacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
4	Teknolojik Diğer	Yapısal sağlık izleme teknolojilerinin geliştirilmesiyle birlikte sensor teknolojileri ve fonksiyonel kompozitler de gelişecektir. Bunlar ayrıca, havacılık regülasyonlarının yeniden düzenlenmesi konusunu beraberlerinde getireceklerdir.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Düşük
5	Ekonomik Toplumsal	Ömür kısıtları olmayan prepregler geliştirilecek, stok ve depo maliyeti azaltılacak ve böylece bu iş kollarında çalışan işçilere daha az ihtiyaç duyulup işsizliğin artmasına sebep olacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
6	Teknolojik Çevresel Ekonomik	Kaplama teknolojilerinin artışı ile savunma sanayii için kullanılan parçalarda ürün çeşitliliği artacak olup harmonizasyon eksikliği sorunu ile karşı karşıya kalınacaktır.
		Tehdit Derecesi: Düşük
		Olasılık: Yüksek
7	Teknolojik Toplumsal	Otomasyon teknolojilerinin artması ile çalışan iş gücüne olan ihtiyacın azalması gözlemlenecektir. Bu da insanların işsizlik ile yüzleşmelerine ve ruh sağlıkları üzerine olumsuz etkilere neden olacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
8	Teknolojik Ekonomik	Dijital izlenebilirlik ve darbe dayanımı yüksek, kendi kendini tamir edebilen malzemelerin yaygınlaşmasıyla, bakım maliyetlerinde azalma ve malzeme ömürlerinde uzama görülecektir. Bunların hepsinin sonucunda da yedek parça ürünlerinin fiyatlarında artışlar gözlemlenecektir.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek

#	Boyutlar	Değerlendirme
9	Teknolojik Ekonomik Toplumsal	Termal ve elektriksel etkileşim ile şekil değişimi teknolojilerinin gelişmesi sebebiyle tek parça ve hemen kürlenebilen hafif malzemelere ihtiyaç artacak, böylece bu iş için gerekli olan insan iş gücüne olan ihtiyaç ve tüketim miktarı da artacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
10	Teknolojik Toplumsal Ekonomik	Yapı sistemlerinde kullanılacak malzemelerin ileri düzeyde gelişmesi aynı zamanda maliyetlerin de artmasına sebep olacaktır. Ancak beraberinde savunma amacıyla modüler yapı sistemleri, hızlı barınma ve ulaşım çözümleri geliştirilmesine de öncülük edecektir. Bu gelişmelerle birlikte yeni sektörler ortaya çıkacak, var olan sektörlerle yönelim oldukça azalacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
11	Teknolojik Toplumsal	Eklemeli imalat yöntemlerinin gelişmesiyle hem birincil yapısal parça üretimleri hem de kompleks geometrilerdeki parçaların tek seferde üretimleri kolayca sağlanabilecek olup kompozit imalat süreçleri tam otomasyonla gerçekleştirilecektir. Bu tam otomasyona geçişlerle birlikte personel ihtiyacı ve dolayısıyla istihdam azalacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek

Kompozit Malzemeler Olumlu Gelecek Senaryoları

#	Boyutlar	Değerlendirme
1	Teknolojik Toplumsal	Gömülü sensor teknolojisi entegre olan kompozit ve malzeme özellikleri ve durumunu aktarabilen sistemlerin yaygınlaşması (Yapılarda Tam Otomatik Sağlık Yönetimi) ile onarım için gerekli önlemlerin alınması kolaylaşacak ve böylece muayene tasarım alanlarında insan gücü ihtiyacı azalacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
2	Teknolojik	Gömülü sensor teknolojisi entegre olan kompozit ve malzeme özellikleri ve durumunu aktarabilen sistemlerin yaygınlaşması (Yapılarda Tam Sağlık Yönetimi) ile optimum tasarımın gerçekleştirilmesi mümkün olacak, böylece malzeme kullanım ömürlerinde artışlar gözlemlenecektir.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
3	Teknolojik Çevresel	Üretilen her malzemenin ikincil kullanım alanlarının belirlenmesi, atık yönetimi sisteminin kurulması, her Ar-Ge çalışmasının bir atık çalışmasının olması, atık bertarafını minimize etme çalışmaları ve full recovery/geri dönüşüm kazanım yöntemlerinin benimsenmesi ile malzeme kullanım ömründe artışlar gerçekleşmesi için self healing gibi teknolojiler gelişecektir.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
4	Çevresel Toplumsal Teknolojik	Yapısal enerji depolama malzemelerinin geliştirilmesi, bireysel kompozit üretiminin daha kolay olması ve biyobozunur yüksek performanslı cam elyaf gibi teknolojik gelişmeler ile ekonomik olarak daha ulaşılabilir ve biobased (doğal kaynaklı) malzeme çözümlerinin getirilmesi mümkün olacaktır.
		Fırsat Derecesi: Düşük
		Olasılık: Yüksek
5	Ekonomik Çevresel	Geri dönüştürülebilir batarya teknolojilerinin çevresel ölçekte öneminin artmasıyla birlikte çevre kirliliği ve atık oranlarında ciddi düşüşler sağlanacaktır. Dolayısıyla iklim krizinde azalmalar görülecektir.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
6	Diğer Teknolojik	Piezoelektrik malzeme teknolojileri ile hareket algılanıp elektrik enerjisi üretilebilecek ve böylece yeni yaşam alanlarının keşif çalışmaları artarken elektriğe ucuz ve kolay yoldan ulaşmak mümkün olacaktır.
		Fırsat Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Düşük
7	Diğer Toplumsal	Protez ekipmanlarında yüksek hareket ve dayanım kabiliyeti sağlayan kompozit yapılar geliştikçe bu ekipmanlara ihtiyaç duyan insanlar söz konusu ekipmanlara kolayca ulaşabilecektir. Böylece psikolojik refah da artmış olup insanların sosyalleşmesi ve topluma kazandırılması kolaylaşacaktır.

#	Boyutlar	Değerlendirme
8	Teknolojik Toplumsal	Gömülü sensor teknolojisi entegre olan kompozit ve malzeme özellikleri ve durumunu aktarabilen sistemlerin yaygınlaşması (Yapılarda Tam Sağlık Yönetimi) ile arızanın anında tespiti mümkün olacaktır. Bu tür sebeplerle insanların yeni üretim sistemlerine uyumlu olarak eğitilmesi zorunlu bir hal alacaktır.
9	Teknolojik Ekonomik	Kendi kendini onarabilen kompozit yapıları tekstillerden üretilen, çarpmaya ve yüksek ısıya dayanıklı hafif askeri kıyafetler üretilecek ve bunların bakım maliyetleri oldukça azalacaktır. Böylece yeni sektörlere geçişler gerçekleşecektir.
10	Teknolojik	Gizlilik/görünmezlik sağlayan kompozit malzemelerin geliştirilmesi, elektromanyetik alan güç kalkanı gibi koruma sağlayabilecek özellikli malzemelerin kullanılması ve düşük görünürlük sağlayan kompozit malzemelerin (mukavemetin çok, yoğunluğu az) kullanılması sonucu hava araçlarında ağırlığın azalması, yakıt tasarrufu sağlanması gibi gelişmeler ile hava araçları kullanım ömürleri ve performansları artacaktır.
11	Teknolojik Ekonomik	Mikrodalga ısıtılmaya uygun nano-mikro kompozitlerin yaygınlaşması, biaksiyel şerit dokuma kumaşların geliştirilmesi (LID prepreg şeritlerinin dokunması) ve yerinde (in-situ) polimerleşme teknolojilerinin yaygınlaşması (impregnasyon) ile daha ekonomik üretim için gerekli malzemeler geliştirilmiş olacaktır.
12	Teknolojik Ekonomik Toplumsal	Termoplastik teknolojilerinde yerinde polimerleşmenin artması ile ekonomik üretim için gerekli malzemelere ulaşma yaygınlaşacaktır. Böylece kompozit malzemelerin yaygınlaşması, üretim kapasitelerinin artması ve ürün çeşitliliğinin fazlaşması mümkün olacaktır.
13	Teknolojik Ekonomik	Enerji depolayabilen kompozit malzemeler ile akü, batarya gibi ekstra ürünlere olan ihtiyaç azalacak, ayrıca ağırlık azalması sebebiyle de yakıt tasarrufu sağlanacak ve hacim ihtiyacı minimum seviyeye gerileyecektir. Bunlarla birlikte ağırlık artışının daha da önüne geçebilmek için nano-jeneratörler geliştirilmiş olacaktır.
14	Toplumsal Diğer	Yeni nesil iş imkanlarının oluşmasıyla birlikte üniversite müfredatları güncellenerek yeni çalışmalara yer verecektir. Böylece ileri kompozit malzemeler alanında lisansüstü programların açılarak alan uzman insan kaynağı yetiştirilmesi hedeflenecektir. Ar-Ge çalışmaları sayısı giderek artacak bu sebeple araştırmalarda çalışacak insan sayısı artacaktır.
15	Teknolojik Diğer Toplumsal	Uzay misyonu için yeni polimerler gelişmeye devam ettikçe araştırma alanları da oldukça genişleyecek ve bu alanlar için yeni enstitüler ve üniversite bölümleri kurulacaktır. Yapay zekanın da ilerlemesi sebebiyle bu alandaki kalifiye mühendisler de kompozit araştırmalarına dahil olacaklardır.
16	Teknolojik Toplumsal	Hem görünmezlik hem de zırh özelliği olan giysi teknolojilerinin geliştirilmesi, aerjel vb. yüksek ısı ve ses yalıtım özelliğine sahip malzeme teknolojilerinin yaygın kullanımı ve iz düşürücü malzemelerdeki teknolojik gelişmeler ülkelere stratejik askeri üstünlük sağlayacaktır.
17	Çevresel	Biyobozunur yüksek performanslı cam elyaf teknolojilerinin geliştirilmesi, termoplastik malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması ve geri dönüştürülebilir batarya ve/veya ikincil pil teknolojilerinin çevresel ölçekte öneminin artması gibi gelişmeler çevre kirliliği ve atık oranının azalmasına olanak sağlayacaktır.
18	Teknolojik Toplumsal	Self Healing malzemelerin geliştirilmesi ile bakım ihtiyacı ve maliyeti azalırken bu alandaki istihdam da düşmüş olacaktır. Böylece insan kaynağına duyulan ihtiyacın alanları yer değiştirerek, yeni alanlarda eğitim platformları gelişecektir.

Kompozit Malzemeler Olumsuz Gelecek Senaryoları

#	Boyutlar	Değerlendirme
1	Teknolojik Çevresel	Düşük görünürlük sağlayan hafif kompozit malzemelerin özelliklerinin değişmesi (mukavemetin artması ve yoğunluğun azalması) sonucu hava araçlarında ağırlığın azalması, yakıt tasarrufu sağlanması ile hava araçlarının kullanım ömrünün uzaması mümkün olacak ve performansları artacaktır. Ancak bu tür gelişmeler ile olası tüm olumsuz çevresel koşullar ilgili hava aracını görece daha fazla etkileyecektir.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
2	Ekonomik Teknolojik Toplumsal	Termoplastik teknolojilerinde yerinde polimerleşmenin yaygınlaşması ile ekonomik üretim için gerekli malzemelere ulaşma yaygınlaşacaktır. Böylece birim üretim başı işçilik ihtiyacı düşecektir.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
3	Teknolojik	Fonksiyonel malzeme karışımlarının yapay zekâ vasıtasıyla formüle edilmesiyle daha karmaşık yapılardaki kompozit malzemeler optimal seviyelerde rahatça üretilebilecek ve self healing malzeme teknolojilerinde de ilerleme görülecektir. Otomasyon ve yapay zekanın bu sektör ile bağlantısı sonucunda insan gücüne duyulan ihtiyaç azalacak ve böylece işsizlik artacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
4	Teknolojik Toplumsal Ekonomik	Fonksiyonel malzeme karışımlarının yapay zekâ vasıtasıyla formüle edilmesiyle daha karmaşık yapılardaki kompozit malzemeler optimal seviyelerde rahatça üretilebilecektir. Bunun dışında 3D printer ile üretilen malzemeler artık çok daha dayanıklı ve üstün performans gösterebilen ürünlere dönüşebilecek tir. Böylece esnek üretimde ve bireysel ekonomide pozitif gelişmeler yaşanırken kompozit parça üretimi oldukça hızlı yapılabilecektir. Bu gelişmelerin çevresel kirliliğe etkisi büyük ve negatif yönlü olacaktır.
		Tehdit Derecesi: Yüksek
		Olasılık: Yüksek
5	Teknolojik Toplumsal	Gömülü sensor teknolojisi entegre olan kompozit ve malzeme özellikleri ve durumunu aktarabilen sistemlerin yaygınlaşması (Yapılarda Tam Sağlık Yönetimi) ile onarım için gerekli önlemlerin alınması kolaylaşacak ve böylece muayene tasarım alanlarında insan gücü ihtiyacı azalacaktır.
6	Ekonomik Teknolojik	Kompozit malzemelerin yakıt olarak kullanılması, multifonksiyonel malzemelerin geliştirilmesi ve maliyet etkin, düşük maliyetli kompozit üretimi gibi teknolojik gelişmeler kompozit malzemelerdeki Ar-Ge ve fizibilite çalışmalarını artıracak bu da araştırma geliştirme faaliyetlerinde maliyet artışına neden olacaktır.



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI

**SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI**



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

KOMPOZİT ODAK TEKNOLOJİ AĞI OTAĞ

SONUÇ RAPORU

2024

Tasnif Dışı