

# TEKNOFEST

## HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

### ENGELSİZ YAŞAM TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI

#### PROJE DETAY RAPORU

**PROJE ADI: Kısa Mesafe Koşucuları için Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Protezlerin Geliştirilmesi**

**TAKIM ADI: Filament Technology**

**Başvuru ID: 325376**

**TAKIM SEVİYESİ: Üniversite-Mezun**

## İçindekiler

1. Proje Özeti	3
2. Problem Durumunun Tanımlanması	4
3. Çözüm	4-6
4. Yöntem	6-10
5. Yenilikçi Yönü	11
6. Uygulanabilirlik	11-12
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	12-13
8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi	14
9. Riskler	14-15
10. Kaynaklar	15



## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Projenin amacı kısa mesafe koşucuları için karbon fiber takviyeli kompozit malzemeden maliyeti düşük, yaşa ve bedene uygun protezler üretmektir. Karbon fiber teknolojisi ile binlerce kişinin eksik uzuvlarını en azından kısmen telafi etmesine ve yüksek kaliteli bir yaşam sürmesine yardımcı olur ve bazı kullanıcılar spor yapmakta, hatta rekorlar kırmaktadır. Geliştirilecek ürünün amacı, toplumdaki her bireyin spor yapma isteği karşısındaki engelleri kaldırmaktır. Bu amaç doğrultusunda kişinin vücut endeksine göre kompozit koşucu protezleri geliştirmek temel hedeftir. Projenin amaçlanan çıktısı, engelli bireylerin uzuv yoksunluğu nedeniyle zorlandığı günlük aktivitelerini yerine getirebilmelerinin yanında sosyal yaşama da daha rahatlıkla uyum sağlayabilmeleri ve spor alışkanlığı kazanmalarınıdır. Sosyal sürdürülebilirliği sağlamak için spor; sosyal, kültürel ve eğitsel yapıya yön veren bir ihtiyaç olarak nitelendirilmektedir. Ancak sporda eşitliği sağlamak için, farklı cinsiyet, sosyal sınıf ve fiziksel özelliğe sahip insanların aynı oranda bu faaliyetleri gerçekleştirebilir olması gerekmektedir. Yüksek malzeme teknolojisi ile geliştirilen protez ayaklar ile bu hedefe ulaşmak mümkündür. Fakat, ülkemizde üretilmeyen ve sporcular için çok maliyetli olan bu protezler, özellikle olimpik düzeyde sporcularımız için büyük bir problemdir. Bu doğrultuda hedef, kişiye özel protez ayakların profesyonel ve/veya amatör engelli sporcular tarafından kolay ulaşılabilir hale gelmesidir.

Bir protezde kullanılan herhangi bir malzemenin kolay temizlenebilir olması, bakteri ve mantar enfeksiyonlarına, UV ışınlarına, tuza dayanıklı ve kozmetik olarak kabul edilebilir olması beklenmektedir. Ayrıca yüksek mukavemet, esneklik ve yorulma direnci yüksek malzemeler seçilmesi gerekmektedir. Bu özellikleri karşılayan karbon fiber takviyeli kompozit yapılar aynı zamanda kürlenmesi bittikten itibaren insan derisini tahriş etmeyen ve alerjik olmayan bir yapıya sahiptir. Amaca uygun protez ayakların geliştirilmesi kavramsal tasarım ile başlamıştır. 1989'da Van Phillips tarafından ilkinin icadından bu yana ticarileştirilen ve kullanılan birkaç farklı protez hareketli bıçak tasarımı vardır (ABD patenti için bkz.[1]). Günümüzde yaygın olarak kullanılan tasarım, Ossur tarafından Cheetah Xtreme ve Ottobock tarafından 1E90 Sprinter gibi J-şekilli ayaklar olarak adlandırılır (bkz. Şekil 1). Sprint koşucusu ve “hızlı enerji dönüşü” için tasarlanmıştır. Ossur'un Cheetah Xtend modelinden ilham alan J-bıçağımızın tasarımı ve boyutları milli sporcumuz Nurullah Kart ile belirlenmiştir. 3 boyutlu modellenmesi yapıldıktan sonra kompozit üretimine uygun kalıp tasarımları yapılmıştır. Raporun ilerleyen bölümlerinde J-bıçak ve kalıp tasarımı ayrıntıları verilmiştir. Kavramsal tasarımı çalışmaları ile paralel yürütülen sonlu eleman analizleri ile kompozit ayak yapısal analizi incelenerek optimize edilmiş kompozit ayak tasarımı ortaya çıkacaktır. Bu sayede orta vadede gerçekleştirilmesi planlanan üretim çalışmaları için maliyet girdileri minimize edilecektir.

Kavramsal tasarımı ve sonlu elemanlar analizi yapıldıktan sonra karbon kumaşlar ve önceden empenye edilmiş karbon prepegler vakum torbalama ve otoklav dışı yöntemler kullanılarak kalıbın şeklini alacaktır. Üretimi gerçekleştirilen protez ayaklar mekanik testler (çekme, basma, yorulma vb.) ve saha performans testleri ile projenin sonlandırılması planlanmaktadır. Raporun sonunda belirtilen risk analizi sayesinde olası yaşanacak sıkıntılar ortadan kaldırılmaya çalışılacaktır.



Şekil 1. Piyasada bulunan birkaç farklı bıçak modeli

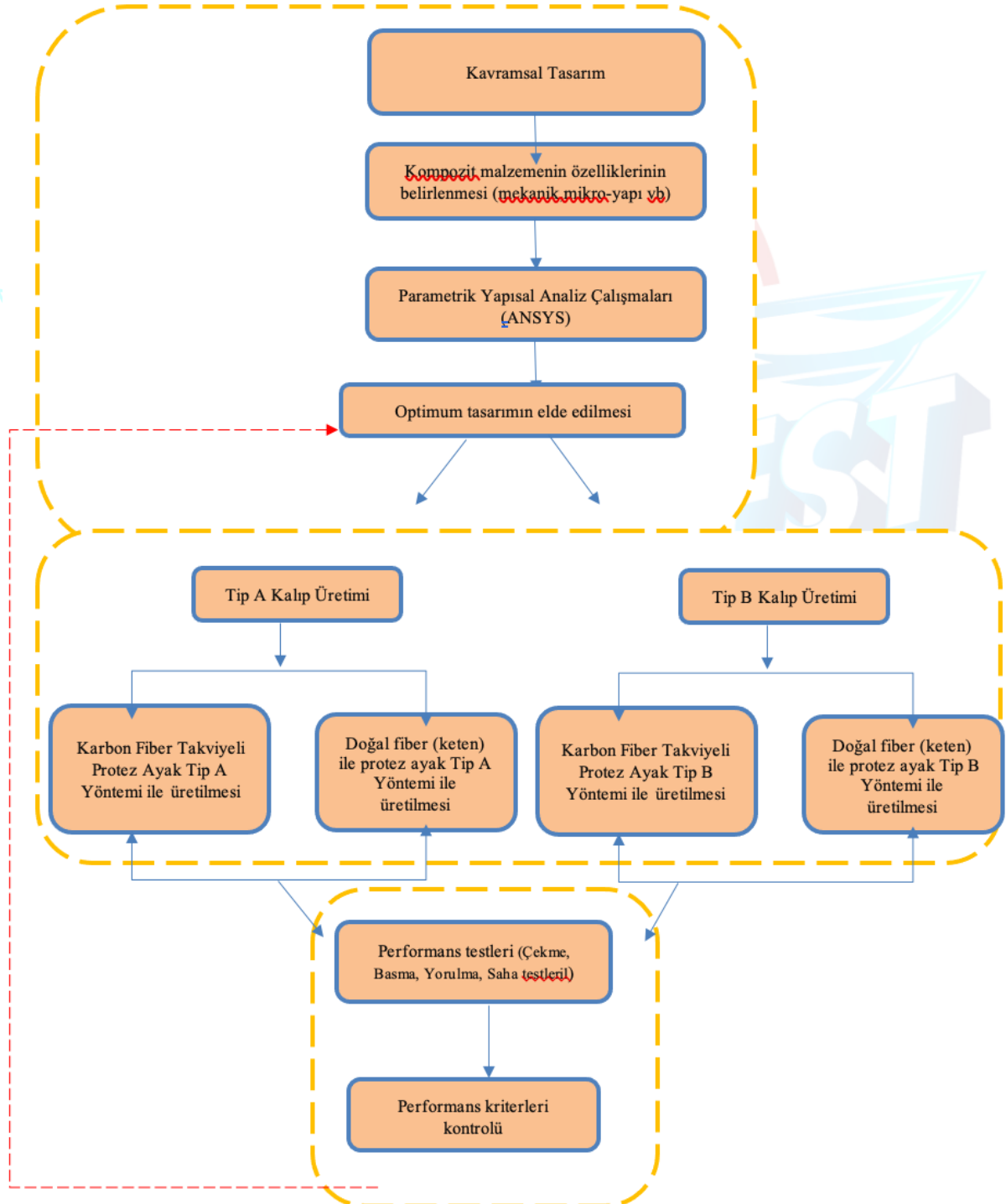
## 2. Problem Durumunun Tanımlanması

Projemizin yapılmasını gerekli kılan problem özel gereksinimi olan bireylerin spor hayatlarında karşılaştıkları engelledir. Modern protezlerin en önemli özelliği kişinin, boy, kilo ve kas yapısına göre özel olarak üretilebilir olmasıdır. Bu nedenle üretilecek protezlerin, çok çeşitli bir skalada kişiye uygun olması gerekmektedir bu da üretim ve hammadde maliyetinin düşük olması zorunluluğunu getirmektedir. Bu yüzden kavramsal tasarım ve optimizasyon çalışmalarının bu doğrultuda planlanması gerekmektedir. Projenin ortaya çıkmasına sebep olan diğer bir problem ise ithal protez ayakların maliyetidir. Türkiye’de atletizm sporcuları için geliştirilmiş herhangi bir protez ayak çalışması bulunmamaktadır. Sunulan proje hedeflenen ana amaç için yapılacak ön çalışmaları içermektedir. Atletizmde yarışmak isteyen önemli sayıda ampute, özel bir amaç için üretildiğinden ve normal aktivite veya yürüyüş için kullanılmadığından, yüksek maliyetleri nedeniyle spor protezlerini karşılayamıyor. Yerli ve milli imkanlarla geliştirilmesi hedeflenen bu protez ayak ile ilk aşamada hedef kitlemiz olan olimpik sporcularımıza destek olunması planlanmaktadır.

## 3. Çözüm

Geliştirilecek ürün ile ülkemizdeki her bireyin spor yapma isteği karşısındaki engelleri yerli ve milli kaynaklar aracılığıyla kaldırmaktır. Bu amaç doğrultusunda kişinin vücut endeksine göre koşucu protezleri geliştirmek temel hedeftir. Bu sayede projenin amaçlanan çıktısı, engelli bireylerin uzuv yoksunluğu nedeniyle zorlandığı günlük aktivitelerini yerine getirebilmelerinin yanında sosyal yaşama da daha rahatlıkla uyum sağlayabilmeleri ve spor alışkanlığı kazanmaları hedeflenmektedir. Karbon fiberden üretilmiş yüksek performanslı protez koşu ayakları, metal muadillerine göre büyük avantajlar göstermektedir. Daha hafif olması ve daha fazla gerinim enerjisi muhafaza edebilmesi dahil, J-şekil tasarımı ile sunulan mevcut karbon fiber hareket bıçakları, sporcu için en iyi performansı sağlar. Bu projede, bıçak olarak bilinen protez yarış ayakları, sonlu elemanlar analizi tekniği kullanılarak analiz edilmektedir. Sonlu elemanlar analiz yazılımı ANSYS kullanılarak mevcut ürünlerin mekanik modelleri oluşturularak ve mekanik simülasyonlara daha iyi performans gösteren kompozit malzemeler dahil edilerek bu kanatların performans iyileştirmeleri aranmaktadır.

Bu sayede kullanıcı tarafından oluşturulan tekrarlanan gerilimlere ve gerinimlere dayanabilen sonlu eleman analizi tekniğini kullanarak iyi bir protez yarış ayakları tasarımı oluşturulacaktır. Belirtilen tasarım ihtiyaçları doğrultusunda en uygun çözüm karbon fiber/epoksi takviyeli polimerik kompozitler olarak belirlenmiştir. Stres alanlarına göre farklı çözümler sunulmuştur. J eğrisinin tepe noktası gibi yüksek stresli alanlar daha fazla karbon fiber katmanıyla desteklenirken, daha fazla esnekliğe ihtiyaç duyan alanlar daha az karbon fiberle donatılacaktır. J tepe noktası etrafındaki yüksek stresli alanlar birçok yönde oluştuğu için dokuma kumaşlar kullanılacaktır. Kuvvet doğrultusunda eğilme gerilimine karşı maksimum direnç sağlamak amacıyla yere temas eden bölgeyle etkileşimde olan alanlar tek yönlü karbon fiber kumaş ile takviye edilecektir.



Şekil 2. Çözüm yolu akış şeması.

Tip A: Elle Yatırma ve Vakum Torbalama Tekniği ile üretim. Ahşap model üzerine uygulanacak polyester katman ile kalıplama yapılır.

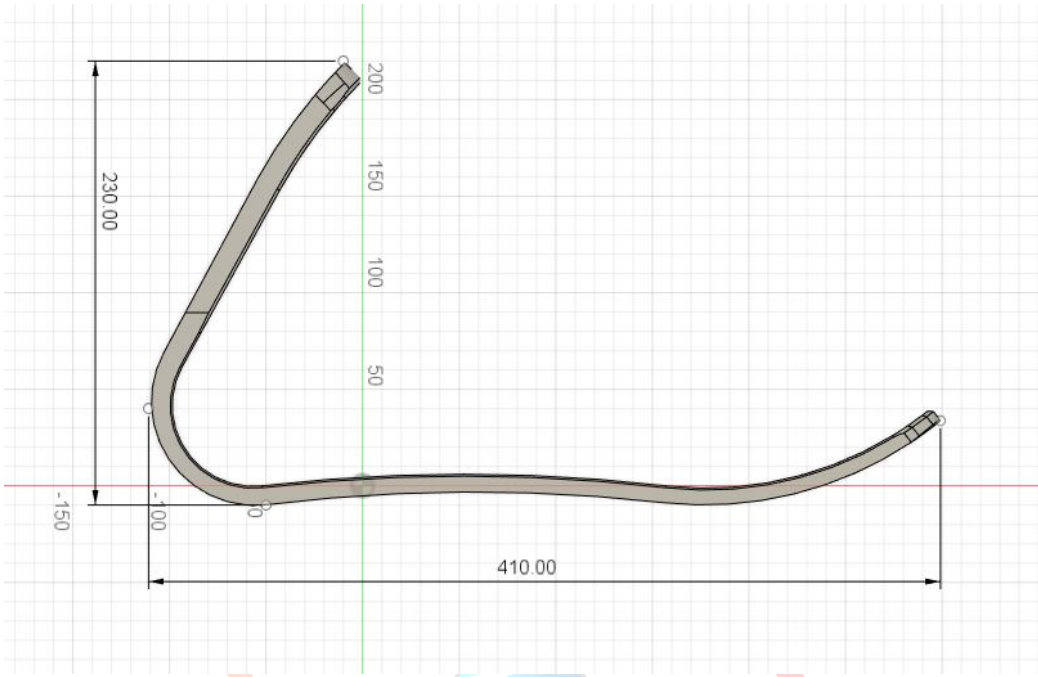
Tip B: Otoklav dışı yöntem ile üretim. Prepreg teknolojisine uygun kumaş seçenekleri uygulanacaktır. Yüksek sıcaklığa uygun (alüminyum, çelik vb.) kalıplama yapılmalıdır.

Ar-Ge çalışmalarını daha düşük maliyetle gerçekleştirmek için kalıp ve üretim yöntemi seçimine göre iki farklı senaryo oluşturulmuştur (bkz. Şekil 2). Piyasada bulunan modeller prepreg kumaşları kullanılarak otoklav yöntemi ile üretilmektedir. Otoklav işleme, kompozit endüstrisinde yaygın olarak kullanılan sağlam ve yüksek performanslı yapıların üretimi için bir ölçüt olmaya devam etmektedir. Üstün performans özelliklerinin yanı sıra yüksek satın alma, işletme ve kalıplama maliyetlerini içerir [2]. Fiyat performansının giderek daha önemli hale geldiği bir sektörde, büyük parçalar üretmek için kullanılan otoklavlar, nispeten esnek olmayan bir üretim ortamı dayatıyor. Parça tasarımları mevcut basınçlı kap ölçülerine göre tasarlanmalıdır. Ayrıca nitrojen ortamında gerçekleştirilen üretimin hem sağlık açısından tehlikeleri hem de işletme zorlukları bulunmaktadır. Kompozitler için beklenen pazar büyümesi ve otoklav işleminin dezavantajları, alternatif yöntemlerin geliştirilmesini gerektirdi. Otoklav Dışı (OoA) üretim teknikleri ve malzemeleri, otoklav kalitesinde parçalar üretmek için geliştirilmiştir. Sunulan projenin hedeflenen kalitedeki prototipine ulaşması için otoklav dışı üretim yönteminin kullanılması amaçlanmaktadır.

#### 4. Yöntem

Sunulan projenin yöntemi Şekil 2' de özetlenmiştir. Her bir kesik çizgili küme, bir iş paketini göstermektedir. Kavramsal tasarımı ile başlayan proje, tasarım girdi ve kısıtlamalarının belirlendikten sonra 3-boyutlu çizimi yapılarak analizlere hazır hale getirilmiştir (bkz Şekil 3 ve 4). Protezin sonlu elemanlar analizi ANSYS programının 2022/R1 öğrenci sürümünde gerçekleştirilmiştir. Protez tasarımının geometrisi bölgesel kalınlık farkları ve yapılan analizde gerçeğe daha yakın değerler elde etmek amacıyla dört farklı bölgeye ayrılmıştır (Şekil 5.a). Protez için iki farklı materyal kullanılmıştır. Montaj bölgesinde, ANSYS kütüphanesinde bulunan Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet materyali kullanılmıştır. Diğer üç bölgede ise kütüphaneden Epoxy Carbon UD (230 GPA) Wet materyali kullanılmıştır. Analizin mesh yapısında element boyutu 5 mm olarak ayarlanmıştır (Şekil 5.b). Sınır koşulları tanımlamasında protez, montaj deliklerinden sabitlenmiştir. Kuvvet, 80 kg ağırlığındaki bir insan baz alınarak hesaplanmış ve kuvvet bölgesinin alt tabanından uygulanmıştır (Şekil 5.c). Protezin kullanımında karşılaşılabilecek olan iki durum için analiz gerçekleştirilmiştir. Birinci durum ayakta sabit durur haldir. Yerden 778,44 N'luk bir kuvvet yere aksi yönde uygulanmıştır. İkinci durum ise koşar haldir. Koşar durum kuvvet verileri ise yere 65°'lik bir açı ile bireyin ağırlığının üç katı kuvvet esas alınmıştır [3]. Analiz çıktısı olarak; toplam deformasyon (Şekil 5.d), maksimum asal gerilme (Şekil 5.e), maksimum asal şekil değiştirme (Şekil 5.f), eşdeğer gerilme (Şekil 5.g), eşdeğer elastik şekil değiştirme (Şekil 5.h) ve gerinim enerjisi (Şekil 5.i) verileri elde edilmiştir.

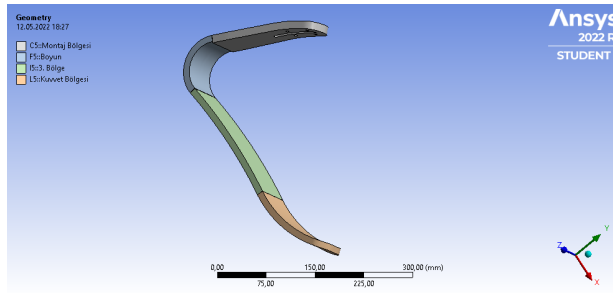




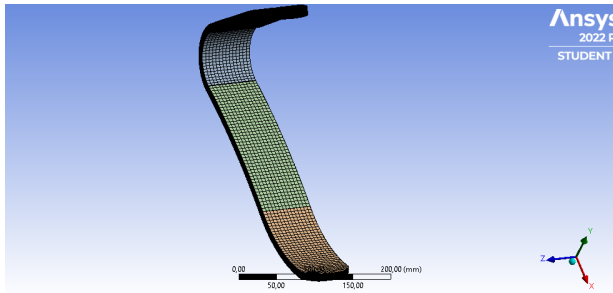
*Şekil 3. Kompozit Protez Ayak Ölçüleri*



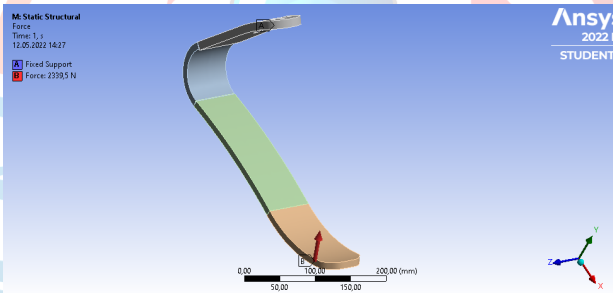
*Şekil 4. Hedeflenen Kompozit Protez Ayak Görselleştirme Çalışmaları*



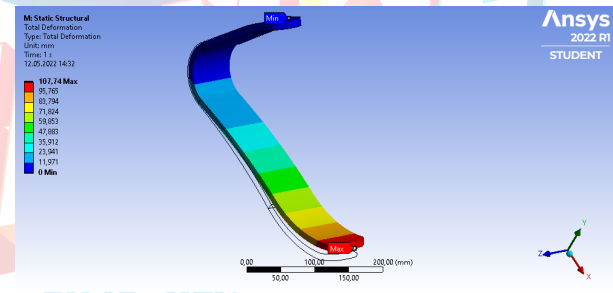
Şekil 5.a Protez geometrisi.



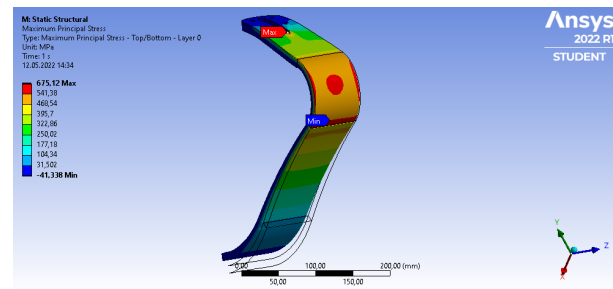
Şekil 5.b Mesh yapısı.



Şekil 5.c Sınır koşulları.

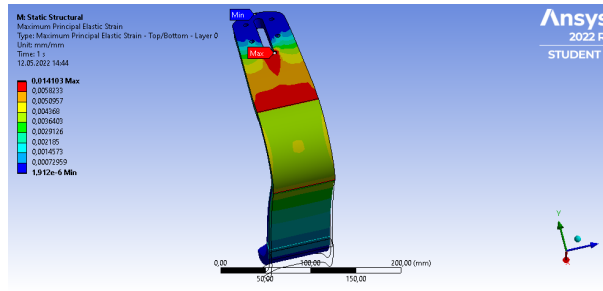


Şekil 5.d Toplam deformasyon (koşar durum).

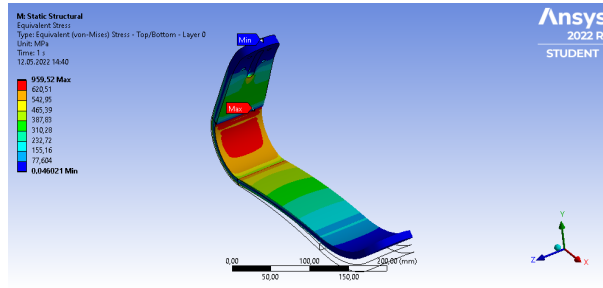


Şekil 5.e Maksimum asal gerilme (koşar durum).

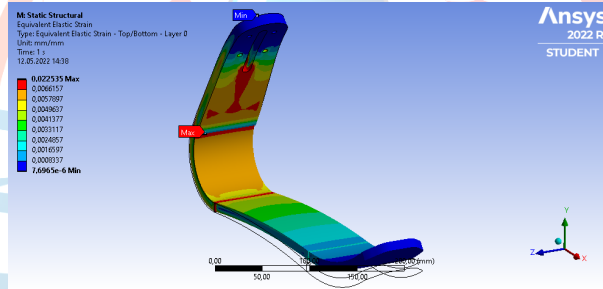




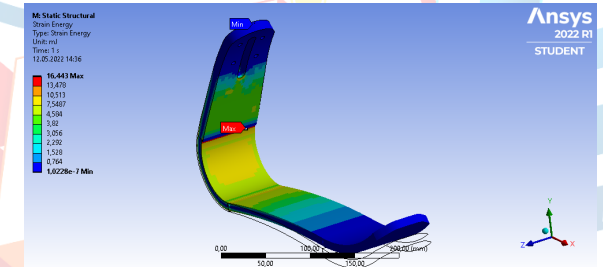
Şekil 5.f Maksimum asal şekil değiştirme (koşar durum).



Şekil 5.g Eşdeğer gerilme (koşar durum).



Şekil 5.h Eşdeğer elastik şekil değiştirme (koşar durum).



Şekil 5.1 Gerinim enerjisi (koşar durum).

Hedeflenen ürünün AR-Ge çalışmalarının maliyet etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için Tıp A üretim yöntemi ile ilk prototip denemesi uygulanmıştır. Kavramsal tasarımı tamamlanmış modelin ahşap kalıplama ile laminasyon yapılarak modelin erkek kalıbı üretilmiştir (bkz. Şekil 7 (Sol)). Elle yatırma ile reçine sistemi karbon fiber kumaşlara aktarılmış ve kalıp üzerine yerleştirilmiştir. Yüksek stres alanı oluşturan J eğrisinin tepesinde 32 kat 220 gr/m<sup>2</sup> dokuma karbon fiber kumaş kullanılmıştır. Kuvvet doğrultusunda eğilme gerilimine karşı maksimum direnç sağlamak amacıyla yere temas eden bölgede ise 20 kat 400 gr/m<sup>2</sup> tek yönlü karbon kumaş kullanılmıştır. Vakum torbalama ile kalıp üzerine uygulanacak basınç vasıtasıyla prototip nihai halini almıştır (bkz. Şekil 6 (Sol)). İlk prototip denemesi sonucunda projenin devamı için önemli çıktılar elde edilmiştir. Yükseklik parametresi sınırlarda olan ürün erkek kalıplama için uygun olmadığı görülmüştür. Basıncın istenilen yüzeye parça yüksekliğinden dolayı tam olarak aktarılamamasına yol açan erkek

kalıplama yerine dişi kalıplamanın gerekliliği görülmüştür. Çözüm yolunda gerekli modifikasyonlar yapılarak dişi kalıp çalışmaları yürütülmüş ve ardından Tip A için uygun kalıp üretilmiştir (bkz. Şekil 7 (Sağ)). İkinci önemli çıktı olarak parça içinde homojen olmayan reçine dağılımı gözlemlenmiştir. Elle yatırma yönteminin en belirgin dezavantajlarından olan bu çıktı, prepreg teknolojisi kullanılarak çözülecektir. Elde edilen son çıktı, farklı kumaş yönelimlerinin birleşim noktasında oluşan geçiş bölgesinin protez ayağın mekanik özelliklerini minimuma indirmesidir. Üretim sırasında geçiş bölgesinden oluşan düzensizlik veya takviye eksikliği yapının en zayıf noktasının oluşturarak malzemenin hızlı bir şekilde kırılmasına sebep olacaktır (bkz. Şekil 6 (Sağ)).



Şekil 6. (Sol) Üretilen ilk prototip. (Sağ) Geçiş bölgesinde gerçekleşen düzensiz parça kalınlığı



Şekil 7. (Sol) Protez Ayak Erkek Kalıp. (Sağ) Protez Ayak Dişi Kalıp.

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Proje boyunca, kapsamlı olarak ve sistematik Ar-Ge yaklaşımı ile ticari bir ürüne dönüşebilecek nitelikte fiber takviyeli polimerik kompozit esaslı protez ayak prototipleri geliştirilecektir. Özgün yaklaşımlar ve katkılar ile, ülkemizde bu konuda çok az sayıda yapılmış çalışmalara ilave olarak, kompozit protez ayak ürünlerinin üretime ve ekonomiye kazandırılması için temeller oluşturulacaktır. Kompozit tasarım değişkenlerinin (fiber açı oryantasyonu ve cidar kalınlığı (lamine sayısı) vb.) protez performansına etkilerinin belirlenebilmesi için parametrik sonlu elemanlar modelinin oluşturulması, atletizm koşullarına uygun özgün kompozit tank tasarımlarının ortaya konulması, ikinci bir üretim yaklaşımı olarak karbon-keten prepreglerin özgün yöntemler ile geliştirilebilmesi, belirtilen yeni malzemelerin kullanımı sonucu elde edilecek malzeme ve protez bıçakların performans değerlerinin test edilebilmesi projenin en önemli özgün unsurlarını oluşturmaktadır. Tasarlanan kompozitler için üretim tekniklerinin geliştirilmesi, yorulma dayanımı, dayanıklılık ve mekanik davranışlarının karakterize edilmesi, bu davranışlarının modellenmesi ve optimizasyonu özgün sonuçlar olarak literatüre katkı sağlayacaktır. Literatürde incelenen benzer çalışmalar sonucunda statik ve dinamik sonlu elemanlar analizinin ve parametrelerinin protez performansına olumlu etkileri görülmüştür [4,5]. Bu sürecin her aşamasında proje ekibi hedeflere ulaşmak için, mevcut literatür bilgisi ve uygulama yaklaşımlarına ek olarak kendi geliştirecekleri yaklaşımların katkısıyla, üretime yönelik özgün bir süreç tarifi yapabileceklerdir. Oluşturulan parametrik sonlu eleman modellerinin, üretilen prototiplerin test sonuçları ile kıyaslanması modelleme açısından üretimin verimine önemli bir katkı koyacaktır. Daha sonra elde edilecek veriler doğrultusunda, protezlerin doğal lifler takviye edilerek de tasarlanması özgün tarafını oluşturmaktadır. Bu hibrit kompozit protezlerin (doğal (keten vb.) ve karbon fiber) piyasadaki karbon fiber esaslı protezlerle benzer dayanımlara sahip olması ve toplam maliyetin %10-15 oranında düşürülmesi öngörülmektedir. Doğal liflerin kullanımının bir başka avantajı da karbon ayak izini %20 oranında azaltarak üretimin yapılmasını olanaklı kılmasıdır. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki uluslararası spor protezleri pazarında doğal liflerin kullanıldığı ürünler bulunmamaktadır. Projenin ana hatlarını malzeme seçimi, kalıp seçimi ve üretim yöntemi seçimi oluşturmaktadır. Malzeme seçimi olarak düşünülen karbon fiber ve keten lifleri DOWAKSA ve B-PREG gibi firmalarla görüşülerek yerli olarak tedarik edilebilmektedir. B-PREG firması ile görüşmelerin sonucunda takımımıza keten malzeme sponsoru olmuşlardır. Reçine sistemi yerli üretici HEXAGON firması ile görüşülerek temin edilecektir. Aynı şekilde kalıplama için düşünülen alüminyum yerli kaynaklardan elde edilecektir. Üretim süreçleri için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği ile görüşülerek kompozit laboratuvarlarının kullanımı konusunda anlaşılacaktır.

## 6. Uygulanabilirlik

Proje fikrinin temel amacı, halihazırda ticari bir ürün olarak kullanılan protezlerin yerli üretimini sağlamak ve erişilebilirliği arttırmaktır. Kuruluşun geliştirmekte olduğu ürünün ulusal pazarda üreticisi bulunmamaktadır. Uluslararası pazarın ise birkaç firma tarafından hâkim durumda olduğu görülmektedir. Bu koşullar altında spor yapabilmek için protez kullanan bireyler yüksek fiyat ödeyerek yurtdışından temin etmek zorunda kalmaktadır. Bu anlamda yerli ve maliyeti etkin sporcu protezlerinin ticari bir ürün olarak üretilmesi bir gereklilik olarak görülmektedir. Bunun yanında sporcu protezlerine uluslararası pazarda da ihtiyaç görülmektedir. Maliyeti etkin ürünler global firmalara bir alternatif olarak pazarda yerini alacağı öngörülmektedir. Protez üretiminin en büyük

zorluğu farklı spor dallarına göre farklı özelliklerde ürün çıkarma gerekliliğidir. Bunun yanında protezin özellikleri; kilo, boy vb. fiziksel özellikler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Kalıp ve üretim maliyetlerini arttıracak bu özelliklerden dolayı ürünler otoklav dışı yöntemi kullanılarak kaliteyi düşürmeden üretilmesi planlanmaktadır. Risklere dair diğer açıklamalar son başlıkta incelenmiştir.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Projenin en az maliyetle uygulanabilmesi için gereken bütçe kalemleri ve güncel fiyat listesi aşağıda belirtilmiştir. Tip A ve Tip B üretimleri için ayrı maliyet analizleri çıkarılmıştır. Tip A üretim tekniği Ar-Ge çalışmaları sırasında yeterli olacağı düşünülmektedir. Fakat ticari prototip özelliğine sahip olabilmesi için gerekli olan minimum bütçe Tip B sistemi içinde verilmiştir. Verilen bütçeler 4 adet prototip denemesi için verilmiştir.

No	Malzeme Adı	Kullanım Amacı	Miktar ve Birimi	Birim Fiyatı	Toplam Fiyatı
1	220 gr/m2 Woven Karbon Kumaş	Protez Ayak üretimi	5 m2	600 TL/m2	3000 TL
2	220 gr/m2 UD Karbon Kumaş	Protez Ayak üretimi	5 m2	600 TL/m2	3000 TL
3	Ahşap Kalıp İşleme	Kalıp üretimi	1 adet	2000 TL/adet	2000 TL
4	Vakum Torbalama Malzemeleri	Protez Ayak üretimi	2 adet	1200 TL/adet	2400 TL
5	Laminasyon Epoksisi	Protez Ayak üretimi	5 kg	750/kg	3750 TL
6	Tip A Üretim			Toplam	14150 TL

Şekil 8. Tip A Üretim Sistemi için gerekli olan tahmini bütçe

No	Malzeme Adı	Kullanım Amacı	Miktar ve Birimi	Birim Fiyatı	Toplam Fiyatı
1	220 gr/m2 Woven Karbon Prepreg	Protez Ayak üretimi	5 m2	1000 TL/m2	5000 TL
2	220 gr/m2 UD Karbon Prepreg	Protez Ayak üretimi	5 m2	1000 TL/m2	5000 TL
3	Alüminyum Kalıp İşleme	Kalıp üretimi	1 adet	10000 TL/adet	10 000 TL
4	Vakum Torbalama Malzemeleri	Protez Ayak üretimi	2 adet	1200 TL/adet	2400 TL
5	Tip B Üretim			Toplam	22 400 TL

Şekil 9. Tip B Üretim Sistemi için gerekli olan tahmini bütçe

Üretim, test ve satın almaları gösteren iş paketleri ve zaman planlaması aşağıda belirtildiği gibidir. Proje çalışmalarına Mart 2022 içerisinde başlanmıştır. Hedef doğrultusunda çalışmalar ağustos ayına kadar devam edecektir. Bütçe harcamaları ile ilgili bilgiler iş paketleri kutuları içerisinde belirtilmiştir.

<b>İş Fikri Adı</b>	KISA MESAFE KOŞUCULARI İÇİN KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT PROTEZLERİN GELİŞTİRİLMESİ
<b>İş Paketi No/Adı</b>	İP 1: Optimize edilmiş kompozit protez ayak tasarımı
<b>Başlama-Bitiş Tarihi ve Süresi (ay)</b>	03.2022-05.2022 (2 ay)
<b>İş paketi faaliyetlerini listeleyniz:</b>	
Kavramsal tasarım, malzeme karakterizasyonu, 3-boyutlu modelleme, optimum tasarımın elde edilmesi. Bu süreç boyunca satın işlemi gerekmemektedir.	

<b>İş Fikri Adı</b>	KISA MESAFE KOŞUCULARI İÇİN KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT PROTEZLERİN GELİŞTİRİLMESİ
---------------------	--



<b>İş Paketi No/Adı</b>	İP 2: Kompozit protez ayak prototipi üretimi
<b>Başlama-Bitiş Tarihi ve Süresi (ay)</b>	05.2022-07.2022 (2 ay)
<b>İş paketi faaliyetlerini listeleyiniz:</b> Kalıp tasarımı ve üretimi, Otoklav dışı yöntemi ile prototip protez ayak üretimi. Bu süreç boyunca bütün satın alma işlemleri yapılacaktır. Sonrasında yaşanacak olası problemleri minimuma indirmek için ön-prototip çalışmaları yukarıda özetlenmiştir. Bu çalışmaların bütçesi takımın öz kaynakları tarafından yapılmıştır.	

<b>İş Fikri Adı</b>	KISA MESAFE KOŞUCULARI İÇİN KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT PROTEZLERİN GELİŞTİRİLMESİ
<b>İş Paketi No/Adı</b>	İP 3: Mekanik ve performans testleri
<b>Başlama-Bitiş Tarihi ve Süresi (ay)</b>	06.2022-08.2022 (1,5 ay)
<b>İş paketi faaliyetlerini listeleyiniz:</b> Çekme, Basma, Yorulma ve Saha testleri. Mekanik testler için İYTE Makine Mühendisliği Bölümü destek vereceğinden dolayı herhangi bir bütçe talebinde bulunulmamıştır. Saha testleri milli sporcumuz Nurullah Kart ile gerçekleştirilecektir.	

Proje takvimi aşağıda belirtildiği gibi iş paketlerini ve tahmini sürelerini içermektedir. Rakamlar haftaları göstermekte olup, mart ayı ortası bir rakamı ile başlamaktadır.

İP No	İş Paketi (İP) Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Optimize edilmiş kompozit protez ayak tasarımı																			
1.1.	Kavramsal tasarım																			
1.2.	Malzeme karakterizasyonu																			
1.3.	Optimizasyon ve analiz																			
1.4.	Benzetim, modelleme																			
1.5.	Optimum tasarımın elde edilmesi																			
2	Kompozit protez ayak prototipi üretilmesi																			
2.1.	Kalıp tasarımları																			
2.2.	Kalıpların üretimleri																			
2.3.	Satın alma işlemleri																			
2.4.	Otoklav Dışı yöntemi ile prototip protez ayak üretimi																			
3.	Mekanik ve performans testleri																			

### 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Yaşama destek olmak ve insanlığa fayda sağlamak amacıyla tasarladığımız karbon fiber takviyeli kompozit protez ayağın hedef kitlesi başta milli sporcularımız olmak üzere spor aşkı bulunan ve engel tanımayan tüm profesyonel ve/veya amatör sporcular içindir.

## 9. Riskler

No	En Önemli Risk(ler)	Olasılık	Etkisi ve B Planı
1	Teknik gereklere ulaşamaması Halihazırda proje ekibi, kompozit tasarım ile üretimi konusunda ve proje kapsamında tanımlanmış iş paketlerinde öngörülen faaliyetlere hakimdirler ve bu faaliyetleri başarı ile gerçekleştirebilecek kapasiteye sahiptirler. Elde edilen bilgi birikimi ve tecrübe doğrultusunda teknik gereklere ulaşma konusunda önemli bir zorluk öngörülmemektedir. Planlanan iş paketleri doğrultusunda gerçekleştirilecek faaliyetlerin, sahip olunan bilgi ve tecrübe ile istenilen teknik gereklere ulaşmak için yeterli olduğu değerlendirilmektedir.	Az	Ancak, yine de teknik gereklere ulaşılmasında herhangi bir risk oluşmaması amacıyla proje kapsamında birçok kavramsal tasarım aynı anda irdelenecektir. Projenin ilerleyen safhalarında bu alternatifler teknik risk durumu incelenerek uygun aralıklarla elemeyen geçirilecek ve optimum hedefe ulaşmak amaçlanacaktır.
2	Endüstriyel problemler yaşanması Proje kapsamında kullanılacak makine ve ekipmanlar temin edilmesi ve kurulum ile ilgili riskler.	Az	Makinaların temini konusunda İYTE Makine Mühendisliği Bölümü kapasitesinden yararlanılacaktır. Bölüm bu konularda destekleyici olacaktır. Kurulum ve işletim konusunda yaşanan zorluklar ise bölümde 9 sene boyunca ilgili makineler ile çalışan proje kaptanımız Yusuf Can Uz tarafından aşılanacaktır.
3	Malzeme temininde ve kompozit prosesinde sorunlar yaşanması	Orta	Projede kullanılacak malzemeler yurtiçi kaynaklıdır. Hem elyafların hem de reçinelerin alternatifleri mevcuttur. Kompozit üretim prosesinde, örneğin; homojen reçine kalınlığının sağlanamaması veya kompozit yapıda gözenek oranının yüksek olması durumunda kalıbın modifiye edilebilmesi (bu doğrultuda dışı kalıplamaya geçmiştir), boşluk oranının azaltılması için üretim yönteminin değiştirilmesi (bu doğrultuda Tip B yöntemi uygun görülmüştür), karbon fiberlerin yüzeylerinin reçine tarafından daha iyi ıslatılabileceği daha uygun yüzey uyumlu sistemlerin seçilebilmesi, fiber/matris ara yüzey mukavemetinin yeterli seviyede elde edilebilmesi için epoksi sistemi ile kimyasal bağlanma yapabilecek yüzey özelliklerine sahip fiberlerin seçilmesi ve kullanılması B planıdır. Elle yatırma yönteminin uygulanmasında, kompozit protez ayak yüzeylerinde reçine birikimleri veya yapısal düzensizlikler ve



			<p>heterojen malzeme dağılımı söz konusu olabilir. Bu durum aynı zamanda protez ayağa kumaşların düzensiz serilmesi ve ıslanmamış alanların oluşmasına da sebep olabilir. Bunun en aza indirgenebilmesi için, prepreglerin kullanımı nihai ürün için önemlidir. Yukarıda bahsedildiği gibi malzeme, makina-teçhizat, üretim, tasarım alternatifleri konularında çeşitlilik mevcuttur ve riskler ikincil planların devreye alınması ile yok edilebilir seviyededir.</p>
4	ANSYS analiz programının kullanımında problem yaşanması	Orta	<p>Klasik laminasyon teorisi kullanılarak gerilme analizi yapılacaktır. ANSYS analiz konusunda sorumlu olan takım üyemiz, aynı zamanda kompozit alanında yüksek lisans tezi yürüttüğü için konuya hâkim durumdadır. Ayrıca analiz çalışmalarında tecrübe sahibi BİAS şirketi ile iletişime geçilmiştir. Yaşanacak bir problem sırasında gerekli desteği sağlayacaklarını belirtmişlerdir. Böylece olası etki minimuma düşürülmüştür.</p>

## 10. Kaynaklar

- [1] V. L. Phillips, "Prosthetic foot," Aug. 06, 1991.
- [2] Uz, Yusuf Can. "Development and characterization of innovative fiber reinforced prepregs and their composites containing functional fillers." (2021).
- [3] Rahman, Mosfequr, et al. "Finite element analysis of prosthetic running blades using different composite materials to optimize performance." ASME International Mechanical Engineering
- [4] Abood, Saleel Hussein, and Majid Habeeb Faidh-Allah. "Analysis of prosthetic running blade of limb using different composite materials." Journal of Engineering 25.12 (2019): 15-25.
- [5] Beck, Owen N., Paolo Taboga, and Alena M. Grabowski. "Characterizing the mechanical properties of running-specific prostheses." PloS one 11.12 (2016): e0168298.