



1002 - HIZLI DESTEK PROGRAMI 1002-A HIZLI DESTEK MODÜLÜ PROJE BAŞVURU FORMU

Başvuru formunun Arial 9 yazı tipinde, her bir konu başlığı altında verilen açıklamalar göz önünde bulundurularak hazırlanması ve ekler hariç toplam 12 sayfayı geçmemesi gerekmektedir. Dosya depolama/paylaşım sistemlerindeki dosyalara ve/veya web sayfalarına link verilerek proje içeriğinin başvuru formu sınırları dışında ayrı bir alanda paylaşılması halinde, proje bilimsel değerlendirmeye alınmadan iade edilir. Form değişiklikleri izle modunda bırakılmamalı, yorum içermemelidir. Proje önerisine ilişkin tüm bilgilerin formda yer alan ilgili bölüme eklenmesi ve formun nihai halinin tek bir dosya olarak başvuru sistemine yüklenmesi gerekmektedir. Proje önerisi değerlendirme formuna ulaşmak için [tıklayınız](#).

Proje Başlığı: Köpek Balığı Derisinde Bulunan Dişlerin Aerodinamik Açından DeneySEL Olarak İncelenerek Enerji Hasadı Uygulaması Gerçekleştirilmesi.
Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Sinan BAŞARAN
Projenin Yürütüleceği Kurum/Kuruluş: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

1. BİLİMSEL NİTELİK

1.1. Konunun Önemi ve Projenin Bilimsel Niteliği

Proje önerisinde ele alınan konunun kapsamı, sınırları ve önemi ortaya konulur. Proje kapsamında yapılacak çalışmalarla literatürdeki hangi eksikliğin nasıl giderileceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm getirileceği ilgili literatüre atıfla açıklanarak projenin bilimsel niteliği ortaya konulur. Projenin araştırma sorusu ve varsa hipotez(ler)i tanımlanır. Kaynaklar <https://tubitak.gov.tr/tr/duyuru/bibliyografik-verilerin-duzenlenmesi> sayfasındaki açıklamalara uygun olarak **EK-1**'de verilir.

Bu proje kapsamında, köpek balığı derisinde bulunan ve köpek balıklarına çeşitli hidrodinamik ve yaşamsal avantajlar sağlayan küçük dişlere benzeyen yapılar (**denticles**), aerodinamik performansları açısından deneySEL olarak incelenecektir. Burada diş olarak ifade edilen kavram köpek balığı ağzında yer alan dişleri değil derisi üzerinde yer alan dişe benzeyen yapıları (denticles) kastetmektedir. Ayrıca tekil olarak üretimi gerçekleştirilecek farklı tipteki köpek balığı derisinde yer alan diş geometrileri bir piezoelektrik yama yapıştırılmış kiriş üzerine farklı mafsallı yapıları ile (sabit mafsallı ve döner mafsallı) yerleştirilerek enerji hasadı çalışmaları gerçekleştirilecektir.

Köpek balıklarının derisi üzerinde yer alan bu küçük diş benzeri yapılar, deri üzerindeki konumlarına ve yapılarına göre köpek balıklarına farklı avantajlar sağlayabilmektedir (Lauder vd., 2016). Bu avantajlar sürüklenme kuvvetini azaltma, aşınma dayanımı, sertleşmiş yüzey ile savunma sağlama ve yüzeyi temiz tutabilme olarak sıralanmaktadır (Dillon vd., 2017).

Bu çalışma kapsamında, bu avantajlardan sürüklenme (drag) azaltılması üzerinde durulacaktır. Her türlü kara, hava ve deniz taşıtları ile su altı araçlarına etki eden sürüklenme kuvvetini azaltabilecek çeşitli yaklaşımlar, öncelikle yakıt tasarrufu sağladıkları için son yıllarda sıklıkla araştırılmaktadır. Taşıtlar üzerine etki eden sürüklenme kuvvetinin azaltılması çalışmalarının yanı sıra; türbin ve kompresör gibi içerisinde kanat yapısı bulunduran mühendislik sistemlerinin performanslarının artırılması için de sürüklenme azaltılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda sürüklenme kuvveti ölçümü için bir yük hücresi kullanılarak deneySEL bir yapı oluşturularak farklı tipteki köpek balığı derisinde yer alan dişler incelenecektir. Burada diş geometrilerinin yük hücresine bağlantısının sabit mafsallı ve döner mafsallı olarak yapılmasının etkileri karşılaştırılacaktır. Ayrıca döner mafsallı durumdaki oluşan salınım açılarının miktarını tespit etmek adına detayları Şekil 5'te iş akış diyagramında verildiği gibi bir enkoder ile bağlantısı gerçekleştirilen diş geometrisi ile de deneySEL çalışmalar yürütülecektir.

Mühendislik uygulamalarında çeşitli sürüklenme azaltma yaklaşımları olmakla birlikte, pasif akış kontrol yöntemleri sisteme ilave enerji girdisine ihtiyaç duymadıkları için dikkat çekmektedir. Aerodinamik veya hidrodinamik akışlarda, katı cisimlerin yüzeylerine çeşitli pürüzlülükler uygulanması ile sürüklenme kuvvetinin azaltılması, pasif akış kontrol yaklaşımlarından birisidir (Özkan ve Erkan, 2022). Yüzey pürüzlülüğü uygulamaları ile akış kontrolü ve sürüklenme azaltılması literatürde ele alınmış olsa da (Fish ve Lauder, 2006; Rashidi vd., 2016; Ran vd., 2023), hangi tür pürüzlülüğün belirli akış koşulları altında daha efektif sonuçlar sağlayabileceği henüz tam olarak anlaşılamamıştır.

Proje önerisine konu olan köpek balığı derisinde yer alan dişlerin sürüklenme kuvvetini nasıl azalttığını incelemek adına bir çalışma yürütülmesi amaçlanmıştır. **Bu kapsamda köpek balığı derisinde yer alan diş yapılarından esinlenerek tekil bir diş geometrisinin ölçeklenerek bir mühendislik uygulaması gerçekleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmak adına bu proje önerisi sunulmuştur.**

Doğadan esinlenen bu mühendislik uygulamaları sürüklenme kuvvetinin azaltılmasına yardımcı olduğu gibi, gürültü ve titreşim etkilerini de azaltarak, özellikle yüksek hızlı rüzgarlara maruz kalan sistemler için daha güvenli çalışma koşulları sağlayabilmektedir (Çengel ve Cimbala, 2018). Bu etkinin ise bir kiriş üzerine tekil olarak bağlanan bir diş geometrisinin titreşime artırıcı etkisi incelenerek bir potansiyel enerji hasadı uygulaması ayrıca proje kapsamında çalışılacaktır.

Doğada farklı köpek balığı türleri incelendiğinde, derilerinde bulunan diş benzeri yapıların genel olarak belirli bir geometrik yapıyı takip ettikleri görülmekle birlikte, detaylarında çeşitli farklılıklar sergiledikleri de izlenmektedir. Bu proje çalışmasında, doğadan gözlemlenen bu diş yapılarını tanımlayan geometrik karakteristikler tanımlanacak ve bu karakteristik özelliklerin tamamını kapsayacak bir deney tasarımı planlanacaktır. Yürütülecek olan deneysel incelemeler neticesinde, sürüklenme kuvvetinin azaltılmasında önemli olan geometrik parametreler çözümlenebilecek ve aerodinamik açıdan en faydalı diş geometrisine doğru yaklaşım sürecektir.

Araştırma soruları:

1. Köpek balığı derisindeki diş yapılarını tanımlayan geometrik karakteristikler nelerdir?
2. Farklı diş geometrilerinin akışı yönlendirme üzerindeki etkileri nasıldır?
3. Diş yapılarının yüzeye ankastre ve sabit mesnetler ile bağlanması sürüklenme kuvvetine nasıl etki eder?
4. Sürüklenme kuvvetini en etkili azaltan diş yapıları hangi mühendislik uygulamalarına entegre edilebilir?

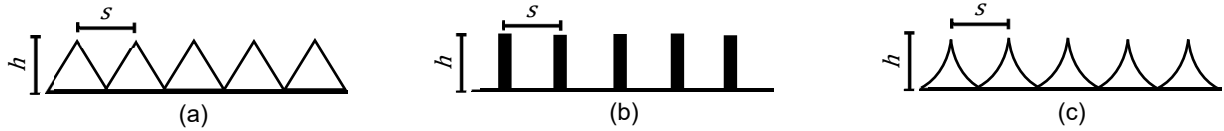
Bu proje konusuyla ilgili literatürde hem deneysel hem de sayısal akışkanlar dinamiği incelemeleri mevcuttur. Tekniğin bilinen durumu, kolay takip edilebilir olması adına, aşağıdaki gibi hidrodinamik ve aerodinamik çalışmalar olarak gruplandırılarak özetlenmiştir.

Tekniğin Bilinen Durumu (Hidrodinamik):

Literatürde geometrinin akış hareketine etkisinin görülebilmesi için üçgen geometri şeklindeki dişlerin yüksekliği ile iki diş arasındaki mesafe oranları incelenmiştir (Hough, 1980; Xu vd., 2018). Dişlerin geometrisinde tanıtılmış olan yükseklik (h) ve mesafe (s) Şekil 1’de gösterilmektedir. Yükseklik ile iki diş arasındaki mesafe oranı 2 olduğu zaman sürüklenmedeki azalma oranı yaklaşık %8 olarak tespit edilmiştir (Bechert vd., 1997). Boyutsuz yükseklik (h^+) ve mesafe (s^+) parametreleri sayesinde eğer (s^+) değeri (h^+) değeri ile eşitlenirse aynı oranda sürüklenme azalışı elde edilebilir (Bushnell ve Moore, 1991). Dişlerin geometrisinde tanıtılmış olan yükseklik (h) ve mesafe (s) denklem 1, 2, 3’te açıklanmaktadır. Optimum diş yüksekliği ile ($h^+ = 15$) rüzgar tüneline yapılan deneylerde sürüklenme kuvvetinin %7 kadar azaldığı görülmüştür (Walsh, 1980). Mesafenin ($s^+ \approx 15$) olduğu durumda ise sürüklenme kuvvetinde en yüksek oranda azalma meydana gelmiştir (Walsh, 1990). Köpek balığı dişlerinin konfigürasyonunun sürüklenmedeki azalma etkisi incelenerek bıçak benzeri dişler ile sürekli bir dizi oluşturulması, kademeli oluşturulan diziden daha iyi performans sağladığı görülmüştür (Bechert vd., 2000). Diş geometrisinin sürüklenme üzerindeki etkilerini incelemek için Şekil 1’de gösterildiği gibi farklı yapılar (V şeklinde, U şeklinde, L şeklinde, yamuk, dairesel, taraklı, bıçak vb.) literatürde sıklıkla incelenmiştir (Bechert ve Bartenwerfer, 1989; Bai vd., 2016; Qiu vd., 2020; Anderson vd., 1997). Bıçak, tırtıklı yüzey ve testere dişine benzeyen yapıların (h/s) oranı sırasıyla 0.5, 0.98 ve 0.7 değerlerinde sabit tutulduğunda, sürüklenmede sırasıyla yaklaşık olarak %9, %6 ve %7 azalma sağlamıştır. Aynı zamanda bıçağa benzeyen yapılarda kalınlık ile mesafe oranı (t/s) 0.02’ye düşürüldüğünde, sürüklenmede yaklaşık %10 oranında azalma sağlanmıştır (Dean ve Bhushan, 2010; Bechert vd., 1997). Yamağa benzeyen yapılarda ise, sürüklenmedeki azalma miktarı yaklaşık olarak %6 oranında gerçekleşmiştir (Bechert vd., 2000). Köpek balığı derisi yüzey pürüzlülüğü modelinin, duvara yakın olan kısımlarda oluşan girdapların şiddetini azaltarak hareketini kısıtladığını ve bununla birlikte türbülans şiddetinde de azalma olduğunu ispatlamışlardır (Sharma ve Dutta, 2022). Bunun neticesinde yüzey sürüklenme direncinde de azalma oluşmaktadır (Choi, 1989). Kedi balığı (Scyliorhinidae - köpek balığı familyasından) derisinden ilham alınarak basit 3 boyutlu diş modelleri tasarlanmıştır (Feld vd., 2019). Literatürdeki çalışmalardan yola çıkılarak özetle şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ters dönen girdap çifti, her dişin ucunda oluşmuş ve diş geometrisi sayesinde akış doğrultusunda yönlendirilmiştir.
- Diş dizisinde bitişikteki 3 boyutlu dişten gelen bir çift girdap birleştiğinde, dönüşümlü girdaplar deseni oluşmaktadır.
- Testereye geometrisine benzeyen her bir dişin arkasında dönüşümlü girdaplar (Von-Karman girdapları) oluşmuştur.

Literatür taramasında incelenen tüm çalışmalarda gerçek biyolojik deri yapıları yerine, biyolojik yapılardan ilham alınarak tasarlanmış, üretimi ve parametrik kontrolü kolay basit 3 boyutlu diş modelleri kullanılmıştır. Diğer taraftan gerçek deri yapılarının sürüklemeyi nasıl azalttığını anlamak adına biyolojik deri yapılarının modellenmesi literatürde eksik kaldığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak bu araştırma kapsamında gerçek deri yapıları 3 boyutlu baskı yöntemi ile imal edilerek, sürüklenme kuvvetindeki azalma etkileri araştırılacaktır.



Şekil 1. Literatürde verilen bazı diş geometrileri (a)Testere, (b)Bıçak, (c)Tırtıklı.

$$h^+ = \frac{h \cdot u_\tau}{v} \quad (1)$$

$$s^+ = \frac{s \cdot u_\tau}{v} \quad (2)$$

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_\omega}{\rho}} \quad (3)$$

Literatürde yer alan deneysel çalışmalar incelendiğinde, köpek balığının gerçek deri modeli üretmek için döküm yöntemi kullanıldığı görülmektedir. Bu yaklaşım ile üretilen modeller ile sürüklenmenin azaldığı gösterilmiştir (Chen vd., 2014a, 2014b; Pan vd., 2013; Liu vd., 2019). Başla bir çalışmada mikrotomografi yöntemi kullanarak 3 boyutlu yazıcıyla kısa yüzgeçli mako köpek balığının (*Isurus oxyrinchus* - köpek balığı familyasından) deri modeli basmıştır (Wen vd., 2014). Bu çalışmanın etkisi sonucu üç boyutlu yazıcılar ile üretilen köpek balığı derisindeki diş geometrileri literatürde yer edinmeye başlamıştır. Üç boyutlu yazıcıda basılan yapıların sürüklenmenin azaltılması açısından avantajlı etkiler sağladığı görülmüştür. Mikrotomografi yöntemi ile daha gerçekçi numuneler elde edilerek sürüklenme azaltma mekanizması daha iyi açıklanabilmektedir. Aynı zamanda bu yöntem ile üretilen diş geometrileri üç boyutlu ve iki boyutlu geometrik dosyalar haline getirilerek hesaplamalı akışkanlar dinamiği için kullanılmaktadır. Yapılan analizler ile akış hareketi ve kuvvet dağılımı gibi daha detaylı incelemeler yapılabilmektedir. Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes modelleri (RANS) ve Direkt Numerik Simulasyon yöntemi (DNS) literatürde sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmaların birinde (Boomsma ve Sotiropoulos, 2016) kısa yüzgeçli mako köpek balığının deri yapısının etkilerini DNS yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada hem sürekli hem de kademeli dizilmiş olan yapıların ve basit 3 boyutlu pürüzlülük modelinin farklarını araştırmışlardır. Sonuç olarak sürekli ve kademeli dizilmiş olan yapılar sürüklenmeyi yükseltirken, basit 3 boyutlu yapıların ise sürüklenmeyi azalttığı görülmüştür.

Tekniğin Bilinen Durumu (Aerodinamik):

V şekle sahip yapıların; yükseklik (h^+) değeri 12 (Walsh, 1982), 13-18 (Reidy ve Anderson, 1988), ve 10-15 (Neumann ve Dinkelacker, 1991) değerleri için sabit tutularak düşük hızlı rüzgar tüneline gerçekleştirilen deneyler ile sürüklenmenin yaklaşık olarak %8 azaldığı gösterilmiştir. Yarım daireye benzeyen köpek balığı derisi modelinin ise en yüksek sürüklenmeyi azaltma oranı %7 (Jiao vd., 2016) ve %8 (Walsh, 1983) olduğu görülmektedir.

Ayrıca literatürde hava araçlarında, köpek balığı derisi yüzey pürüzlülüğü modelinin etkilerini görebilmek için ince ve simetrik kanat profillerin üzerine modeller yerleştirilerek incelemeler yapılmıştır. İnce kanat profillerinde testereye benzeyen yapılar kullanıldığında, $h = s = 51, 76, 114$ için sırasıyla, %3.3 (Coustols ve Schmitt, 1990), %10 (Subaschandar vd., 1999), %6 (Sundaram vd., 1999) oranında sürüklenmede azalma sağlanmıştır. Simetrik kanat profillerinde testereye benzeyen yapılar kullanılırken $h = s = 23, 76, 44$ için sırasıyla, %13.3 (Caram ve Ahmed, 1991), %13 (Sundaram vd., 1996), %7 (Bixler ve Bhushan, 2013) sürüklenmede azalma sağlanmıştır.

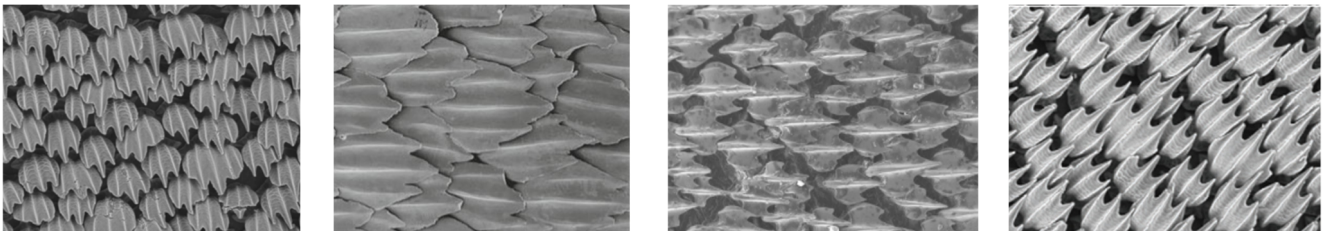
Başka bir çalışmada; köpek balığının derisinde mikrotomografi yöntemi kullanılarak 3 boyutlu yapılar elde edilip bu yapılar 3 boyutlu yazıcı yardımıyla imal edilmiştir (Domel vd., 2018). Elde edilen köpek balığı derisi modeli ve 2 boyutlu tümseklerle NACA 0012 kanat üzerine yerleştirilerek birbiriyle karşılaştırıldığında dişler, 8° - 12° hücum açıları arasında, kaldırma ile sürüklenme (C_L/C_D) oranlarında iyileştirmeler sağlandığı gösterilmiştir. Benzer şekilde diğer bir çalışmada ise 12° hücum açısında, köpek balığı derisi modeli kanadın üzerine akış yönüne tersi olacak şekilde yerleştirildiğinde (C_L/C_D) oranında %3.6 iyileşme sağlandığı görülmüştür (Bhatia vd., 2021).

NACA 4415 kanadı üzerine veterin (kord hattı) orta mesafesine konumlandırılan girdap üretici geometri ile köpek balığı derisine benzeyen yapılar karşılaştırıldığında, köpek balığının derisi modelinin hem kaldırma hem de sürüklenme açısından daha iyi performans sağladığı görülmüştür (Zulkefli vd., 2020). Yakıt tüketimi ve karbon emisyonlarını azaltma motivasyonu NACA 0012 kanat profili üzerine veterin uzunluğunun %16 ve %60 konumlarına 3 boyutlu köpek balığı derisi modeli hem akışın yönünde hem de akışa ters yönde yerleştirilmiştir. Deneyler sonucunda bu konumlandırmanın sürüklenmeyi %11.2 azalttığı, kaldırma ise %11.3 yükselttiği görülmüştür (Bhatia vd., 2022).

Projenin Özgün Değeri:

Bu çalışma ile üretilecek farklı tipteki köpek balığı derisinde yer alan diş geometrileri arasında en yüksek sürüklenme azaltım oranı sağlayan geometri tespit edilecektir. Aerodinamik veya hidrodinamik çalışma koşullarında önemli fayda sağlayan köpek balığı derisinde bulunan yapılar, akışın rejimine ve özelliklerine göre iyi bir şekilde optimize edilmelidir. Ayrıca uygun imalat yöntemleri kullanılarak karmaşık detaylara sahip köpek balığı derisi üzerinde yer alan diş modellerinin yüksek hassasiyetle üretebilmesi projenin odak noktaları arasında yer alacaktır.

Her ne kadar literatürde doğadan ilham alınarak köpek balığı derisi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da, bu deride yer alan tekil diş geometrileri yeterince incelenmemiş ve uygulamaya dönüştürülmemiştir. Bu çalışma, Şekil 2'de gösterilen örnek köpek balığı derisi üzerinde yer alan diş geometrileri arasından, sürüklenmenin en düşük olacağı tekil yapıyı belirlemeyi amaçlamaktadır. Elde edilecek nihai tekil diş geometrisinin, sürüklenmenin azaltılması açısından kritik öneme sahip olması öngörülmektedir.



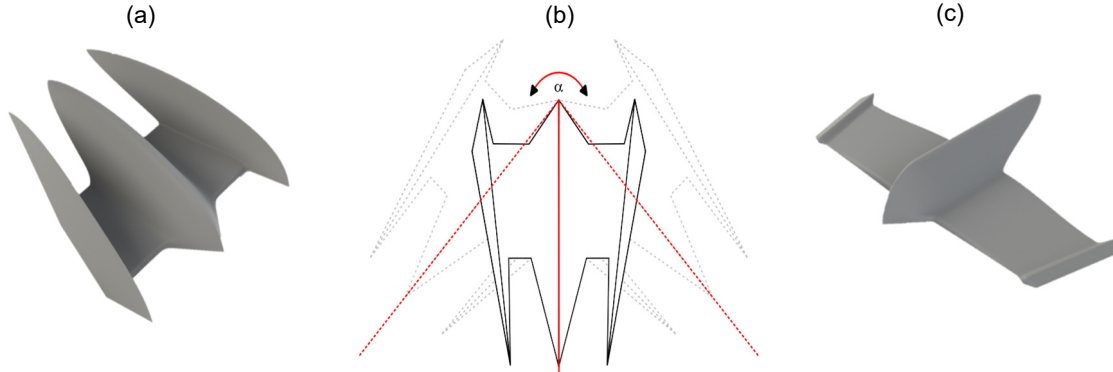
Şekil 2. Farklı köpekbalığı türlerine ve vücut bölgelerine ait dişlerin SEM görüntüleri (Wen vd., 2014; Boomsma ve Sotiropoulos, 2016; Lang vd., 2012; Feld vd., 2019).

Son olarak tekil şekilde ele alınan bu diş yapıları için bir uygulama örneği üretilmesi projenin literatürden farkı olarak kurgulanmaktadır. Bu kapsamda farklı yapıdaki dişler piezoelektrik yama içeren bir kiriş üzerine bağlanarak enerji hasadı çalışması gerçekleştirilecektir.

Piezoelektrik yamalar mekanik titreşimleri elektrik enerjisine dönüştüren yapılar olup küçük ölçekli elektrik üretimi açısından önemlidir. Sistem kaynaklı titreşimlerin yanı sıra, akış kaynaklı titreşimlerden de faydalanmayı sağlayan piezoelektrik yapılar son yıllarda araştırmacıların giderek ilgisini çekmiştir. Sun vd. (2019) kirişe bağlı dairesel ve kare cisimlerden kaynaklı titreşimleri kullanarak enerji hasadı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada maksimum verimi elde etmek için cismin şeklini optimize etmişlerdir. Optimize edilmiş şekil sayesinde farklı hava hızlarına bağlı olarak %75'e varan güç artışı gözlemlenmiştir. Wang ve Ark (2019), titreşimli bir kirişe sabitlenmiş dairesel bir silindire "Y" şeklinde bir parça eklemişlerdir. Bu sayede sistemden üretilen toplam voltaj, modifiye edilmemiş dairesel silindire kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Bolat (2020), hava nozulu kullanarak ucuna kanat eklemiş kirişte oluşan titreşim etkilerini incelemiştir. Kirişin yüzeyine yapıştırılmış piezoelektrik yama ile elektrik enerjisinin elde edilmiştir. Çalışmada hava hızının, üretilen voltajı büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Hava hızlarının 4-16 m/s arasında incelendiği koşullarda, voltaj üretimi hıza bağlı olarak 47 V'a kadar ulaşmıştır.

Sonuç olarak literatürde yapılan tüm çalışmalarda sadece sabit köpek balığı derisi yüzey pürüzlülüğü modelleri incelenmiştir. Yapılacak çalışmada tekil olarak incelenen farklı tipteki diş geometrileri hem sabit bir şekilde mesnetlenmiş olması durumu için hem de bir nokta etrafında dönecek şekilde bir döner mafsallı ile bağlantısı yapılmış şekilde proje kapsamında incelenecektir. Üretilen modeller hareketli yapı ve sabit yapı oluşturacak şekilde Şekil 3'de gösterildiği gibi ele alınacaktır. Şekil 3'de (a) ve (c) ile farklı tipteki diş geometrileri görülmektedir. Şekil 3 (b)'de ise hareketli mafsallı olması durumunda yapacağı açısal yer değiştirme (α) gösterilmektedir.

Yapılacak olan deney sonuçlarına göre uygun olan optimum yapıya ulaşılabilmektedir. Ayrıca bu yapılar enerji hasadı uygulaması için farklı bir yapı oluşturacak ve enerji hasadı çalışmaları arasında doğadan esinlenilmiş bir konsept olarak bu çalışmada özgün bir şekilde ele alınacaktır.



Şekil 3. Farklı modeller (a, c) ve hareketli yapı mekanizması (b).

1.2. Amaç ve Hedefler

Projenin amacı ve hedefleri açık, ölçülebilir, gerçekçi ve proje süresince ulaşılabilir nitelikte olacak şekilde açıklanır.

Amaç:

Bu projenin amacı, köpek balığının derisinde bulunan diş benzeri yapıların aerodinamik etkilerinin deneysel olarak incelenmesidir. Proje, doğadan esinlenerek tasarlanmış bu yapıların, hava araçları ve otomobiller gibi çeşitli uygulamalarda yakıt verimliliği ve performans iyileştirmeleri sağlayabilme potansiyelini araştırmayı amaçlamaktadır.

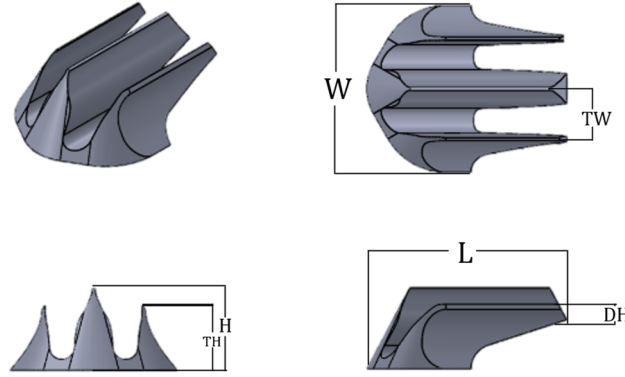
Hedefler:

- Akış hareketine etki eden köpek balığı derisi yüzey pürüzlülüğü modelinin geometri parametrelerini belirlemek.
- Sürüklenme kuvvetini azaltmak için köpek balığı dişlerinin sabit mi yoksa salınım yaparak mı daha etkili olduğunu tespit etmek.
- Farklı uygulamalara (yüksek hızlı, düşük hızlı) en uygun diş yapılarını ve tasarımlarını belirlemek.
- Ele alınan farklı tipteki diş geometrileri için özgün bir enerji hasadı mekanizması kurmak.

2. YÖNTEM

Projede uygulanacak yöntem ve araştırma tekniklerinin, amaç ve hedeflere ulaşmaya ne düzeyde elverişli olduğu ilgili literatüre atıf yapılarak ortaya konulur. Yöntem bölümünün; araştırma tasarımı, bağımlı ve bağımsız değişkenler, istatistiksel yöntemler vb. unsurları içermesi gerekir.

Proje ön çalışması olarak ilk aşamada köpek balığının derisinin üzerinde bulunan dişler, bilgisayar destekli tasarım programı yardımıyla en benzer hali ile çizilmiştir. Ardından o geometrinin şeklini değiştiren parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler (L: uzunluk, W: kalınlık, H: yükseklik, TW: orta ve kenar kanatlar arası mesafe, TH: kenar kanatların yüksekliği ve DH: kanatların TH değerine kadar olan boşluğu (DH/TH değerleri 0, 0.5, 1 ve her değer karşılığı sırasıyla boş, yarı dolu, dolu)). Tüm parametreler Şekil 4'te ve Tablo 1'de açıklanmaktadır.



Şekil 4. Dişin geometrisini oluşturan parametreler.

Tablo 1. Geometrinin şeklini değiştiren parametreler ve deney şartların değerleri.

Parametreler	Değer (1)	Değer (2)	Değer (3)	Değer (4)	Değer (5)	Değer (6)	Değerlerin sayısı
L (cm)	2	4	6	8	10	12	6
W/L	0.74	0.87	1	-	-	-	3
W/H	2	2.5	3	-	-	-	3
W/TW	1.5	2	3	-	-	-	3
TH/H	0.1	0.5	1	-	-	-	3
DH/TH	0	0.5	1	-	-	-	3
ν (m/s)	0.2	4.7	9.2	-	-	-	3

Deneyisel tasarım (Design of Experiment (DOE)):

Parametre sayısının fazla ve diş geometrisinin kompleks yapıda olması deney sayısını artırmaktadır. Bunun için projede deneyisel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Deneyisel tasarım birden fazla giriş, faktör ile çıktı ya da tepki arasındaki ilişkiyi inceleyen sistematik bir yöntemdir. Bu durumda giriş ya da faktörler köpek balığı derisi diş geometrisi modelinin parametreleri ile akışkan hızı seçilmiştir. Deneyin hedef çıktısı (tepki, response) ise Strouhal sayısı (St), periyodun maksimum değeri (amplitude - A) ve sürüklenme katsayısı (C_D) seçilmiştir. Deneyisel tasarım için Taguchi'nin ortogonal tablolarından bir seçim yapılmıştır. Dizilerin sütunlarının dengeli ve ortogonal olması, her bir faktör kombinasyonunun eşit sayıda gerçekleşmesini sağlayarak faktörlerin yanıt üzerindeki etkilerinin bağımsız olarak tahmin edilmesine olanak tanır. Deneyisel tasarım sayesinde hangi faktör veya faktörlerin etkisinin fazla olacağını ve birbiriyle nasıl etkileşimde bulunacağı tespit edilecektir. Ayrıca tepkinin sonuçları, faktörlerin bir fonksiyonu olarak modellenmesine ve tepkinin optimize edilmesine yardımcı olacaktır. Deneyisel tasarımda öncelikle dişlerin hangi parametreleri ile deney yapılması gerektiği belirlenmiştir. Önerilen projede Taguchi L18 (6^1), (3^6) tablosunu uygun olduğunu düşünülmüştür. Burada L18 tasarımda 18 adet deney yapılması gerektiğini anlamı gelmektedir. (6^1) ve (3^6) ise 1 adet faktör 6 seviye yani 6 tane farklı değer alınabilir ve 6 adet faktör 3 seviye yani her faktör için 3 tane farklı değer alınabileceğini anlamı gelmektedir. Deney tasarımının özeti Tablo 2'de görülebilir. Bu tabloda (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) değerleri, parametrelerin hangi değeri kullanılması gerektiğini anlamı gelmektedir.

Tablo 2. Seçilen deneysel tasarım metodu Taguchi L18 (6^1), (3^6).

Deney No	L (cm)	W/L	W/H	W/TW	TH/H	DH/TH	v (m/s)	Sürüklenme katsayısı (C_D)	Periyodun en yüksek değeri (amplitude) (A)	Strouhal sayısı (St)
1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
2	1	2	2	2	2	2	2	-	-	-
3	1	3	3	3	3	3	3	-	-	-
4	2	1	1	2	2	3	3	-	-	-
5	2	2	2	3	3	1	1	-	-	-
6	2	3	3	1	1	2	2	-	-	-
7	3	1	2	1	3	2	3	-	-	-
8	3	2	3	2	1	3	1	-	-	-
9	3	3	1	3	2	1	2	-	-	-
10	4	1	3	3	2	2	1	-	-	-
11	4	2	1	1	3	3	2	-	-	-
12	4	3	2	2	1	1	3	-	-	-
13	5	1	2	3	1	3	2	-	-	-
14	5	2	3	1	2	1	3	-	-	-
15	5	3	1	2	3	2	1	-	-	-
16	6	1	3	2	3	1	2	-	-	-
17	6	2	1	3	1	2	3	-	-	-
18	6	3	2	1	2	3	1	-	-	-

Birinci Aşama Deneyler İçin Numunelerin Hazırlanması ve İmalat

Literatürde de belirtildiği üzere, son yıllarda köpek balığı derisinin yüzey pürüzlülüğünü oluşturan diş geometrilerini modellemek amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden biri 3 boyutlu baskı teknolojisidir. Bu proje kapsamında, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Isı-Akışkanlar ve Sistem Dinamiği-Kontrol laboratuvarlarında bulunan iki adet FDM ve bir adet SLA tipi 3 boyutlu yazıcı kullanılarak gerekli imalatlar gerçekleştirilecektir.

Birinci Aşama Deneysel Çalışma

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde Isı ve Akışkanlar laboratuvarında bulunan rüzgar tüneli kullanılacaktır. Bu tünelin test bölümü (300 x 300 mm) alana sahip olup yaklaşık 10 m/s rüzgar hızına ulaşabilmektedir. Bu aşamada her imal edilen diş için 5 tane farklı deney (bkz. Şekil 5'te gösterilen akış şeması) farklı hızlarda olacak şekilde sonuç elde edilecektir. Bu farklı 5 adet deney konfigürasyonu aşağıda açıklanmaktadır:

1. Sabit dişin sürüklenme kuvvetini ölçümü

Bu çalışma kapsamında, akışa maruz bırakılan diş geometrisi üzerine etki eden sürüklenme kuvveti ölçülerek buna bağlı olarak sürüklenme katsayısı (C_D) hesaplanacaktır. Söz konusu kuvvet, yüksek hassasiyetli yük hücreleri ile ölçülecek ve elde edilen veriler doğrultusunda akış karakteristiği değerlendirilecektir.

2. Döner bir mafsallı aracılığıyla sabitlenmiş ve akış etkisiyle salınım hareketi yapabilen diş modeli üzerinde oluşan sürüklenme kuvveti ölçümü

Sabit dişle benzer şekilde kuvvet ölçüm sistemi ile hem sürüklenme kuvveti hem de oluşan girdaplar hakkında bilgi elde edilecektir. Burada farklı olarak, diş yapısına serbestlik derecesi artırılarak salınım yapmasına imkân tanınacaktır. Ayrıca laboratuvar imkanlarımız arasında yer alan slow motion (ağır çekim) kamera yardımı ile elde edilen deneysel sonuçlar hakkında genel bir değerlendirme yapılacaktır.

3. Döner bir mafsallı aracılığıyla sabitlenmiş ve akış etkisiyle salınım hareketi yapabilen diş modeli için dönme açısı ölçümü

Salınım yapan dişin girdap etkilerinden dolayı yaptığı açı enkoder yardımıyla ölçülecektir. Bu bilgi sürüklenme azalması ile dişin yapacağı açı arasındaki ilişki hakkında bilgi verecektir.

4. Ankastre bağlanmış esnek giriş- sabit diş durumu (Enerji hasadı uygulaması -1)

Bu senaryoda, sabit konumda bulunan dişin arkasında Von Kármán girdaplarının oluşturduğu periyodik kuvvet farkları, ankastre şekilde bağlanmış esnek girişe aktarılacaktır. Bu kuvvet etkisiyle giriş salınım hareketi yapmaya başlayacaktır. Girişin uç noktasında meydana gelen yer değiştirme, yüksek hassasiyetli bir lazer sensörü ile ölçülecektir. Ayrıca, giriş üzerine yerleştirilen piezoelektrik yama sayesinde girişin mekanik titreşim enerjisi elektrik



enerjisine dönüştürülecektir. Bu düzenek yardımıyla dışın titreşim frekansı ve bu frekansta elde edilen maksimum genlik (salınım genliği) tespit edilecektir.

5. Ankastre bağlanmış esnek kiriş - Döner bir mafsallı aracılığıyla sabitlenmiş hareketli dış durumu (Enerji hasadı uygulaması -2)

Bu deney düzeneğinde, dış ankastre bağlı esnek kirişe döner mafsallı aracılığıyla bağlanarak sisteme ikinci bir serbestlik derecesi kazandırılacaktır. Böylece hem dışın hem de kirişin salınım yapabildiği iki serbestlik dereceli bir sistem oluşturulacaktır. Bir önceki düzeneğe benzer şekilde, Von Kármán girdaplarının oluşturduğu periyodik kuvvet etkisiyle sistem titreşime girecektir. Titreşim davranışı, lazer yer değiştirme sensörü ve piezoelektrik yama kullanılarak izlenecektir. Serbestlik derecesindeki artışın, sistemin doğal frekansında ve maksimum salınım genliğinde değişikliklere yol açması beklenmektedir. Ayrıca Enerji hasadı çalışmalarında (Deney 4 ve 5) matematiksel modellerin çıkarılması proje kapsamında gerçekleştirilecektir.

Tüm deneylerin sonuçlarına göre deneysel tasarım yardımıyla hangi parametrelerin (faktörlerin) sürüklenme kuvvetine (C_D), frekansa (strouhal sayısı (St)) ve salınıma (A) etki edeceği belirlenecektir. Deney sürecinin şematiği Şekil 5'te açıklanmaktadır.

İkinci Aşama Deneysel Çalışma

Çıktıların ya da tepkilerin değişmesine etki eden faktörler ve her faktörün ağırlık katsayısı bir önceki aşamada belirtilmiş olacaktır. Bu durumda yüksek ağırlık katsayısına sahip olan faktörler tepkilere daha fazla etki ettiği anlamına gelmektedir. Çok düşük ağırlık katsayısına sahip olan faktörler ihmal edilerek faktörlerin sayısı azaltılacaktır. Yüksek ağırlık katsayısına sahip olan faktörlerin, her faktör için değer sayısını artırarak tekrar deneysel tasarım yapılacaktır. Hangi dışların parametreleri ile deney yapılması gerektiği bu aşamada tekrar belirlenecektir.

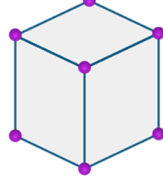
Numune imalatı ve ikinci aşama deneylerinin yürütülmesi

İkinci aşamada, deneysel tasarım süreci kapsamında belirlenen dış geometrileri öncelikle imal edilecektir. Ardından, birinci aşamadaki gibi tanımlanan 1., 2., 3., 4. ve 5. deney sistemleri bu yeni geometriler için tekrarlanacaktır. Deneyler, sistemin çıktıları üzerinde etkili olabilecek tüm önemli parametrelerin sınır değerlerini kapsayacak şekilde planlanacaktır. Bu kapsamlı ancak optimize edilmiş yaklaşım sayesinde, gerekli deney sayısı sınırlı tutulacak; böylece hem zaman hem de maliyet açısından verimli bir süreç elde edilmesi beklenmektedir. Son olarak sonuçlar değerlendirilerek sürüklenme kuvveti azaltan geometrilere göre optimum dış geometrisi önerilecektir. Önerilen geometrinin performansını doğrulamak için tekrar deneyler yapılacaktır.

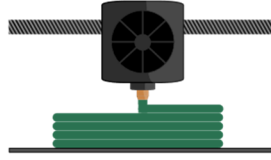
Geometrinin parametreleri
belirlenmesi ve fonksiyonu
tanımlanması

$$St, A, C_D = f(L, W, H, TW, TH, DH, v)$$

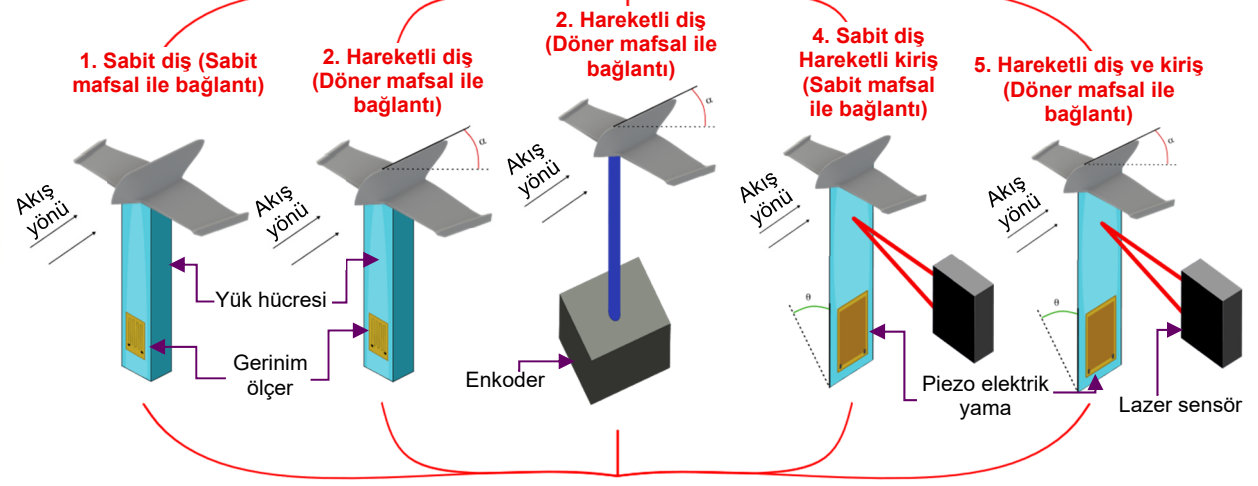
Deneyel tasarım yöntemin
uygulanması



3 boyutlu yazıcı yardımıyla
numuneleri imal edilmesi



Deneylerin yürütülmesi



Veri analizi

Tepkilerin ağırlık katsayıları
birbirine yakın mı

Hayır

Evet

Faktör sayısını düşürülerek
işlemler tekrarlanır

Nihai model

Şekil 5. Önerilen projenin akış şeması.

3. PROJE YÖNETİMİ

3.1. İş-Zaman Çizelgesi

Projenin iş paketlerinin (İP) kimler tarafından ve hangi zaman aralıklarında gerçekleştirileceği "İş-Zaman Çizelgesi(*)"nde sunulur. Literatür taraması, gelişme ve sonuç raporu hazırlama aşamaları, proje sonuçlarının paylaşımı, makale yazımı ve malzeme alımı iş paketi olarak sunulmamalıdır.

İP No	İş Paketinin Adı	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği (**)	Aylar											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Dişlerin parametrelerinin belirlenmesi	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR	X											
2	İlk deneysel tasarımın uygulanması ve numunelerin imalatı	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR		X	X									
3	İlk deneylerin yapılması	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Araştırmacı: Onur ERKAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR				X	X							
4	İkinci deneysel tasarımın uygulanması ve numunelerin imalatı	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR						X	X					
5	İkinci deneylerin yapılması	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Araştırmacı: Onur ERKAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR								X	X			
6	Deneysel tasarımların yorumlanması	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Araştırmacı: Onur ERKAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR										X	X	
7	Proje çıktılarının hazırlanması	Yürütücü: Sinan BAŞARAN Bursiyer: Muhammet ÖZDEMİR												X

(*) Çizelgedeki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir. Proje süresi en fazla 12 ay olabilir.

(**) İP'de görev alacak kişilerin isimleri ve görevleri (yürütücü, araştırmacı, danışman, bursiyer ve yardımcı personel) yazılır. Bu aşamada bursiyer(ler)in isimlerinin belirtilmesi zorunlu değildir. Proje ekibinde araştırmacı ve danışman olarak görev alacak kişiler çevrim içi başvuru sırasında başvuru ekranındaki "Proje Personeli" adından Proje Başvuru Sistemine (PBS) eklenmeli, yardımcı personel ve bursiyer olacak kişiler için ise başvuru formunun "Ek-2 Bütçe ve Gerekçesi" dokümanında bilgi verilmelidir.

3.2. Başarı Ölçütleri

Başarı ölçütü olarak her bir iş paketinin hangi kriter(ler)i sağladığında başarılı sayılacağı açıklanır. Başarı ölçütü, ölçülebilir ve izlenebilir nitelikte olacak şekilde nicel veya nitel ölçütlerle (sayı, yüzde, ifade vb.) belirtilir.

İP No	Başarı Ölçütleri	Proje Başarısındaki Katkısı (%) (*)
1	Literatürde de görüleceği üzere köpek balığı derisi üzerinde bulunan diş geometrileri (denticles) çok farklı yapılarda olmaktadır (bkz. Şekil 2). Bu geometrileri tanımlamak için yedi adet parametre belirlenmiştir (6 tane diş geometrilerine bağlı 1 tane rüzgarın hızı olmaktadır.)	%10
2	Taguchi tabloları yardımıyla yapılacak deneylerin sayısı belirlenecektir. Gereken geometri parametrelerine bağlı olarak imal edilecektir. Proje kapsamında 18 ayrı diş geometrisi için model parametreleri oluşturulacaktır.	%15
3	Şekil 5'te belirlenen 5 adet deney rüzgar tüneli yardımıyla yapılacaktır. Strouhal sayısı, periyodun en yüksek değeri (amplitude) ve sürüklenme katsayısı da hesaplanacaktır.	%20
4	Sonuçların ağırlık katsayılarına göre yeni taguchi tablosu oluşturularak yeni diş modelleri imal edilecektir.	%15
5	Şekil 5'te belirlenen 5 adet deney rüzgar tüneli yardımıyla tekrar yapılacaktır. Strouhal sayısı, periyodun en yüksek değeri (amplitude) ve sürüklenme katsayısı da tekrar hesaplanacaktır.	%20
6	Sonuçlar değerlendirilerek sürüklenme kuvvetini azaltan modele göre en uygun diş geometrisi önerilecektir. Uygulama alanlarına göre optimum diş yapısı sunulacaktır.	%15



TÜBİTAK

7	Yapılan tüm çalışmalar son olarak toplu hale getirilerek yorumlanacaktır.	%5
---	---	----

(*) Bu bölüme 0-100 arası sayısal değerler verilir ve sütun toplamının 100 olması gerekir.

3.3. Risk Yönetimi

Projenin başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında projenin başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (B Planı) iş paketleriyle ilişkilendirilerek aşağıdaki tabloda sunulur. B Plan(lar)ının uygulanması projenin temel hedeflerinden sapmaya yol açmamalıdır. B Plan(lar)ına geçilmesi durumunda yöntem değişikliğine gidiliyor ise bu durum detaylandırılmalıdır. Her bir iş paketi için risk öngörülmesi zorunlu değildir.

İP No	En Önemli Riskler	Alınacak Tedbirler (B Planı)
1	Çok sayıda dış geometrisi olması üretim esnasında gerçek modelden uzaklaşmaya sebep olabilir.	Farklı tipteki köpek balıklarının derilerinde yer alan dış geometrileri araştırılarak alternatif modeller elde edilecektir.
2	FDM tipi olan 3 boyutlu yazıcıyı kaliteli çıktı vermemesi. Gerekli hassasiyette köpek balığı derisindeki dış yapılarının üretilmemesi	SLA tipi 3 boyutlu yazıcının kullanılarak daha hassas üretim yöntemleri tercih edilecektir.
2	Deneysel tasarım sonucu ile uygulanan deneylerin uyum sağlamaması	Faktör sayısı artırılarak daha fazla deney yapılması
3	Yaygın bir şekilde ticari olarak satılan yük hücrelerinin hassas veya uygun sonuç vermemesi	Özel yük hücresi gerinim ölçer ile tasarımı gerçekleştirilecektir
3	Oluşan kuvvetlerin düşük olması ve girişin titreşim hareketini oluşturamaması	Daha ince (salınıma uygun) giriş seçilecektir
3	Deneyleri yaparken gürültü oluşması ve sonuçları etkilemesi	Özel düşük geçirim filtresi tasarlanacaktır
4	Sonuçların ağırlık katsayıları birbirine yakın olması (olma ihtimali çok düşük)	Deney sayısı artırılacak ve tekrar yapılacaktır. Hala yakın ise deneyler durdurulacak ve son aşamaya geçilecektir
6	Türbülans veya anlaşılmayan bir akış rejimi sebebinden kaynaklı optimum tasarımın elde edilememesi.	Deneysel sonuçların gözden geçirilerek gerekli deney tekrarlarının yapılması.

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

4. ÇIKTI, ETKİ VE KAZANIMLAR

Proje başarıyla gerçekleştirildiği takdirde projeden elde edilmesi öngörülen;

- Çıktılar (bilimsel, ekonomik, sosyal, araştırmacı yetiştirilmesi ve yeni projeler oluşturulması vb.),
- Etkiler (bilimsel, teknolojik, sosyo-ekonomik, kültürel, çevresel vb.),
- Kazanımlar

ile bunlardan kimlerin, nasıl yararlanacağı kısa ve net olarak aşağıdaki tabloda açıklanır.

	Öngörülen Çıktı, Etki ve Kazanımlar	Öngörülen Zaman Aralığı (*)
Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Makale, Kitap, Bildiri, Prototip, Patent, Tez, Yeni Proje vb.)	Proje Önerisi aynı zamanda Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine devam eden Muhammet Özdemir'in (bursiyer) yüksek lisans tezi olacaktır. Bu kapsamda doğadan ilham alınarak hazırlanmış bir yüksek lisans tezi projenin birinci çıktısı olacaktır. Proje önerisinde görüldüğü üzere yapılacak deneyler hem akışkanlar mekaniği kapsamında hem de doğadan esinlenmiş bir geometrinin uygulamaya yönelik enerji hasadı sisteminde kullanılmasını kapsamaktadır. Dolayısı ile projenin başarı ile	6-18 ay



TÜBİTAK

	yürütülmesi esnasında elde edilen sonuçlar farklı disiplinlerde yer alan farklı dergilere gönderilecektir. Elde edilen sonuçlardan en az iki adet SCI kapsamında endekslenen prestijli dergilere yayın gönderilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca projenin tamamlanmasını beklemeden elde edilen sonuçların bir kısmı Uluslararası Konferanslarda sunulacak bildiriler hazırlanması ve kısa süre içerisinde Yüksek Lisans Öğrencisinin mezuniyeti için yayın şartının sağlanması amaçlanmaktadır.	
Etki ve Kazanımlar (Öngörülen Uygulama Alanları, Uygulayıcı Kurum/Kuruluşlar, Yeni İş Birliklerinin Kurulması, Politika Yapımına Katkı, Önemli Bir Soruna Getirilecek Çözüm, Kariyer Gelişimi vb.)	Proje aynı zamanda genç bursiyer Muhammet Özdemir'in proje deneyimine sahip olmasını ve eğitimine Doktora ile devam ederek potansiyel bilim insanının yetiştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Köpek balığı derisinde yer alan diş geometrileri literatürde görüleceği üzere ucu açık farklı alanlara entegre edilebilecek bir yapıdadır. Dolayısı ile proje çıktısının yeni başka projeler başlatması muhtemel olacağı değerlendirilmektedir. Örnek olarak proje çıktısı sonucunda oluşturulan nihai diş tasarımının bir insansız hava aracı gövdesi olarak değerlendirilmesi.	Proje sonrası

(*) Çıktı, etki ve kazanımların elde edilmesinin öngörüldüğü zaman aralığı 0-6 ay, 6-12 ay, proje sonrası vb. şeklinde belirtilir.

BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR

Sadece proje önerisinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek bilgi veya veri (grafik, tablo vb.) eklenebilir.

--

BAŞVURU FORMU EKLERİ

EK-1: KAYNAKLAR

EK-2: BÜTÇE VE GEREKÇESİ