



**TÜBİTAK–2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA
PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU**

2023 Yılı

1. Dönem Başvurusu

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

A. GENEL BİLGİLER

Başvuru Sahibinin Adı Soyadı: Abdülsamet Özer
Araştırma Önerisinin Başlığı: Bir Taşıtın Aerodinamik Direnç Katsayısının Yapay Zekaya Dayalı Üretken Tasarım Sistemi ile İyileştirilmesi
Danışmanın Adı Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Aydın Hacı Dönmez
Araştırmanın Yürütüleceği Kurum/Kuruluş: Haliç Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu araştırma önerisinde hedef, bir taşıtın aerodinamik direnç katsayısının bir yapay zeka tabanlı üretken tasarım sistemi ile optimize edilmesidir. Aerodinamik direnç katsayısı, kara taşıtlarının tasarımında dikkat edilen önemli parametrelerden biridir. Bu parametre taşıtların verimliliğini, performansını, sürüş karakteristiğini ve dinamiğini oldukça etkilemektedir.

Projede, araştırma önerisinin yazımından önce Teknofest Efficiency Challenge Elektrikli Araç Yarışları için SOLIDWORKS yazılımı ile hazırlanan 3 boyutlu kabuk tasarımı var olan tasarım olarak kullanılacaktır. Bu tasarımın yan profili üzerinde değişikliğe gidilerek optimizasyon süreci sürdürülecektir.

Belirlenen iş paketleri doğrultusunda öncelikle var olan tasarım ölçeklendirilip 3 boyutlu yazıcı ile maketi oluşturulacaktır. Elde edilen ölçekli tasarımın ANSYS yazılımı ile sayısal analizi, baskısı alınan maketin ise rüzgâr tüneline deneysel analizi yapılacaktır.

Tüm bu işlemler devam ederken aynı anda yapay zekâ eğitime de diğer bir ekip ile başlanacaktır. Yazılım dili olarak makine öğrenimine (machine learning) elverişli olması sebebiyle PYTHON dili tercih edilmiş olup bu dile uygun kütüphanelerle algoritmalar yazılacaktır. Yapay zekanın eğitiminde **Eğitilmiş Çizim Algoritması, EÇA ve Eğitilmiş Tahmin Algoritması, ETA** olarak adlandırılan 2 ana algoritma üzerine çalışma yapılması hedeflenmektedir. Eğitim sırasında kullanılacak veri setleri araştırma ekibince özel olarak hazırlanacak olup tahmin algoritmasının eğitiminde ise yeni bir veri setinin üretilmesi hedeflenmektedir.

Eğitimi tamamlanan yapay zeka sistemi bir arayüz aracılığı ile kullanıcı dostu hale getirilecektir. Bu arayüz üzerinde gerekli parametreler girilerek sistemin belirlenen kısıtlar çerçevesinde optimum araç yan profili üretmesi beklenmektedir. Elde edilen optimum tasarım SOLIDWORKS yazılımının bir eklentisi olan biçim yöneticisi (configuration manager) aracılığı ile var olan tasarıma parametrik olarak aktarılacaktır. Yapay zekanın doğruluğunun kanıtlanması için optimum tasarım tekrardan rüzgar tüneline uygun olarak ölçeklendirilecek, sayısal analizi ve ardından deneysel analizi gerçekleştirilecektir.

Sayısal analizi sonucunda aerodinamik olarak iyileşme gösterdiği tespit edilen tasarımın 3 boyutlu yazıcı aracılığıyla maketi oluşturulacaktır. Oluşturulan maket ile rüzgar tüneline gerçekleştirilecek akış analizi taşıtın gerçek hayattaki aerodinamik performansını da ortaya koyacaktır. Bu deneysel analiz yöntemi ile yapay zekanın ürettiği tasarımın optimizasyon başarısı deneysel verilerle kanıtlanmış olacaktır.

Sayısal analizi sonucunda aerodinamik bir iyileşmeye sahip olmayan tasarım hatalı kabul edilecek ve yapay zekanın algoritmaları tekrardan gözden geçirilecektir. Hatalı eğitildiği tespit edilen algoritma üzerinde gelişmeye gidilebileceği gibi uygun görülmeyen algoritmalar üzerinde de değişikliğe gidilecektir. Eğitim sürecinin bir diğer önemli noktası olan veri tabanları ise tekrardan normalizasyon sürecinden geçirilip uygun olmadığı görülen veri setlerinde değişikliğe gidilmesi planlanmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilecek veriler sadece optimizasyon süreçlerine yapay zekanın bütünleştirilmesine (entegrasyonuna) katkı sağlamayacak olup aerodinamik karakteristiğe etki eden önemli parametrelerin veya kısıtlarında belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Elde edilen araştırma sonuçlarının en az bir SCI/SCI-Exp. indeksli bilimsel dergide makale olarak yayınlanması da hedeflenmektedir.

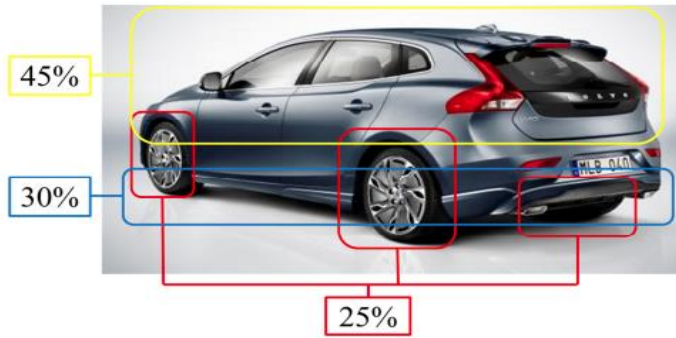
Anahtar Kelimeler: Üretken Tasarım, Makine Öğrenimi, Aerodinamik, Taşıt Tasarımı, Yapay Zeka

1. ÖZGÜN DEĞER

1.1. Konunun Önemi, Araştırma Önerisinin Özgün Değeri ve Araştırma Sorusu/Hipotezi

Aerodinamik, hava akışı içerisinde bulunan katı bir gövde üzerindeki kuvvetleri inceleyen bir bilim dalı olarak adlandırılır. Bir taşıtın aerodinamik direnç katsayısı, ilgili taşıtın verimliliğini, performansını, sürüş karakteristiğini ve hızlanmasını önemli ölçüde etkiler. Direnç katsayısı sayısal ve deneysel yöntemlerle bulunabilir. Her iki yöntemde de taşıtın prototipini gerçek boyutlarında üretmeden hızlı, kolay ve düşük maliyetle aerodinamik karakteristiğini belirlemek oldukça avantajlıdır. Bu yüzden aerodinamik testler rüzgâr tüneline veya sayısal akışkanlar dinamiğine dayanan bilgisayar yazılımı kullanarak gerçekleştirilir. Yapılan birçok araştırma, uygulanan sayısal analizlerin tasarıma uygun olup olmadığının iyice belirlenmesinin gerekliliğini, aynı zamanda deneysel analiz yöntemi ile doğruluğunun kanıtlanması gerektiğini belirtmiştir [1-4]. Bu durum üretim sürecinin en önemli aşamalarından olup zamandan ve maliyetten önemli oranda avantaj sağlamaktadır [5].

Karakteristiği belirlenen taşıtın aerodinamik performansının iyileştirilmesi sürüklenme katsayısının azaltılmasına bağlıdır. En nihayetinde bu katsayıyı azaltmak için taşıtın üzerinde ciddi tasarımsal değişikliklere gidilmesi gerekmektedir. Günümüze kadar, aerodinamik iyileştirmeler esas olarak aracın üst gövde tasarımındaki değişiklikleri kapsamaktadır. Modern bir araç için aerodinamik sürüklenme kuvvetinin %45'ini araç üst gövdesi, %30'unu tekerlekler ve tekerlek yuvaları, %25'ini araç alt bölgesi ve detaylar oluşturmaktadır [6].



Şekil 1. Bir binek otomobilin farklı bölgelerinin Aerodinamik dirence etkisi [6].

Belirlenen uygun analiz yöntemleri ile aerodinamik performansı ortaya çıkan araç tasarımları üzerinde sürüklenme/direnç kuvvetini azaltmaya yönelik yapılan birçok çalışma mevcuttur [7-9]. Bayındırlı vd. bir otobüs modelinin aerodinamik sürüklenme katsayısını ortalama 0.657 olarak tespit etmişlerdir. Akış yapısını iyileştirmek ve basınç kaynaklı direnci azaltmak için üçgen kesitli akış kontrol elemanı geliştirmişlerdir. Akış kontrol elemanı 15 mm çapında eşkenar üçgen şeklinde olup model otobüsün ön tamponu üzerine konumlandırmışlardır. Bu pasif akış kontrol yöntemi ile aerodinamik sürüklenme katsayısında ortalama %5.27 iyileşme sağlandığını gözlemlemişlerdir [10]. Belhadj vd. bir prototip araç üzerindeki aerodinamik sürüklenme katsayısını arka difüzör açısını değiştirme yöntemi ile azaltmaya çalışmışlardır. 10° ve 19° derece aralığında yapılan sayısal analizler sonucu arka difüzör açısının 15° derece olmasıyla aracın minimum sürüklenme katsayısına sahip olduğunu belirtmişlerdir [11]. Bayındırlı vd. 1/15 ölçekli bir minibüs modeline etki eden sürüklenme kuvvetini spoiler uygulaması ile iyileştirmişlerdir. Bu spoiler kullanımı ile minibüsün arka bölümünde oluşan negatif basınç alanının azaltılmasını amaçlamışlardır. Sonuç olarak minibüsün aerodinamik direnç katsayısını sırası ile ortalama %4.96 ve %5.27 azaltmışlardır [5]. Özen, bir binek aracın aerodinamik etkinliğini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Araç modeli üzerinde etkili olan en yüksek pozitif kaldırma etkisinin ön camın üst kenarı ile tavanın başlangıç kenarının birleştiği yerde, en yüksek negatif kaldırma etkisinin ise ön camın alt kenarı ile kaputun birleştiği yerde meydana geldiğini tespit etmiştir. Araç modelinin alt tarafına açılan bir difüzör kanalı sayesinde taşıt modelinin sürüklenme katsayısının yaklaşık %2 azaltılabileceğini, kaldırma katsayısının ise negatif seviyeye kadar önemli ölçüde azaltılabileceğini tespit etmiştir [12]. Elrawemi vd. bir aracın ön ve arka cam açılarının sürüklenme kuvveti üzerindeki etkisini Citroen C5 modeli için incelemişlerdir. Aracın aerodinamik davranışını sonlu hacim yöntemine (finite volume method) dayalı olarak farklı ön ve arka cam açıları ile incelemişlerdir. Bulunan optimum tasarım sonucunda ilk araç tasarımına oranla %8.88'lik bir azalma ile sürüklenme katsayısını 0.41'e indirmişlerdir [13].

Literatürde yapılan çalışmalarda tasarımsal süreçler bilgisayar destekli tasarım programları (CAD) aracılığı ile yapılmıştır. Söz konusu tasarımsal süreçlerde çizilen taşıtların üzerinde yapılan değişikliklerin insan eli ile manuel olarak yapılmasının vakit kaybı yaratacağı görülmüştür. Bu soruna ilişkin daha otomatik, daha hızlı ve destekleyici bir sistem aranmıştır. Prototip üretimlerinde tasarımcıya ve/veya mühendise ilham kaynağı olabilmesi ve belirlenen parametre aralıklarında birden çok tasarımı bir bağımsız değişkene odaklanarak üretebilmesinden kaynaklı olarak yapay zekaya dayalı üretken tasarım sistemleri bir çözüm olarak önerilmiştir. Yapay zekâ eğitim tekniklerinin günden güne gelişmesi ile tasarım süreçlerine daha fazla entegre edilen bu sistemler hakkında literatürde birçok araştırma/çalışma mevcuttur [14-21].



Şekil 2. Bir üretken tasarım örneği (Siemens PLM)

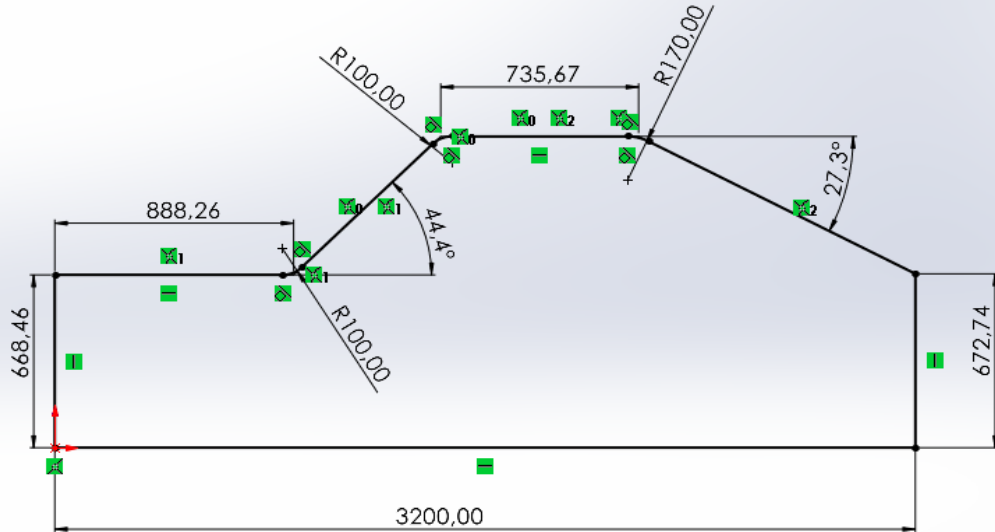
Üretken tasarım (generative design), doğanın evrim üzerine kurulu gelişimini odağına alan, bu anlamda doğayı taklit eden bir tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre tasarım süreci, projenin başındaki tasarımcının bir hedef belirlemesiyle başlar. Örneğin; “4 kollu, uçabilen, son derece hafif bir drone şasisine ihtiyacım var”. Hedefleri ve kısıtlamaları öğrenen yapay zekâ, bu çerçevede yaratılabilecek tüm olası permütasyonları incelemeye başlar. Bunu yaparken de bir veri bulutuna bağlanarak binlerce, hatta milyonlarca tasarım tercihinin inceler, bu tasarımlara ait kurulumları test eder, tasarımlarda nelerin işe yaradığı ve nelerin yaramadığını belirler ve konuyu kavraması beklenir. Yapay zekanın doğru eğitilmesi bağlandığı veri bulutunun amaca uygunluğu ile doğrudan ilişkilidir. En nihayetinde yapay zekâ her bir ürün tasarımı için geometrik sentezler yaparak en iyi, en verimli tasarıma ulaşır. Bu noktada ihtiyaç duyulan tek konu tasarımın gereklilikleri, hedefleri ve kısıtlamalarının dikkatli bir şekilde girilmesidir.

Hali hazırda birçok CAD programında bütünleşmiş (entegre) birer sistem olarak çalışan üretken tasarım sistemleri tasarımsal sürecin başlatılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırma önerisinde belirtilen, tasarımda optimum seviyeyi yakalamak için harcanan sürenin üretken tasarım sistemleri ile çözümünde sorulması gereken soru: **‘Üretken tasarım sistemleri var olan tasarım üzerinde istenilen parametrelerde amaca uygun değişiklik yapabilir mi?’** dir. Diğer bir tanımla bu araştırma önerisinde **üretken tasarım sistemlerinin optimizasyon aşamasındaki tasarım sürecine dahil olup olamayacağı** ana soru başlığıdır.

1.2. Amaç ve Hedefler

Üretken tasarım sistemlerini optimizasyon sürecine dahil etmeyi hedefleyen bu araştırma önerisinde temel amaç uygun veri setleri ile eğitilen yapay zekanın bir veya daha fazla parametreye bağlı olarak var olan araç yan profili üzerinde değişiklik yapmasıdır. Yapay zekâ çizim tekniğinin 2 boyutta tasarıma dayanan yan profil üzerinde yapılmasının başlıca sebepleri şunlardır;

- Yapay zekanın 3 boyutlu tasarım yaptırabilmesi için gereken CAD algoritmalarının çok derin uzmanlık gerektirmesi
- Araç yan profili üzerinde ön cam açısı, kaput uzunluğu, arka cam açısı ve difüzör açısı gibi aerodinamik karakteristiğe etki eden birçok parametrenin bulunması
- 3 boyutlu araç tasarımlarının veri setlerinin bulunmasının ve oluşturulmasının zorluğu
- Taşıt satışlarındaki önemli hususlardan biri olan estetik görünümün yan profil ile olan bağlantısı



Şekil 3. Bir araç yan profili üzerindeki parametrelerin gösterimi

Şekil 3. İtibariyle gösterilen parametreler üzerinde ilk tasarım süreçleri ön ve arka cam açısının değişmesine dayalı olacaktır. Yapay zekadan aynı anda bu iki parametre üzerinde değişiklik yapması istenilecek olup verilen kısıtları aşmaması beklenecektir. 'Ön ve arka cam açısının 10° ila 45° arasında değişimi ile oluşabilecek en optimum tasarımları ve bu tasarımların tahmini sürüklenme katsayısını belirt' şeklinde verilecek bir tasarım emrini başarıyla yerine getiren yapay zeka algoritması araştırmanın genel bakış açısına göre başarılı sayılacaktır. Son paragrafta belirtildiği üzere aynı anda ikiden çok parametre üzerinde değişiklik yapabilecek algoritmaya sahip olması da ana hedeflerden biridir.

2 boyutlu iyileştirilmiş yan profilleri ortaya çıkarabilen yazılımın doğruluğunun kanıtlanması son derece önemli olup yapılacak sayısal ve deneysel analizlerin önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır. Belirtilen doğrulama süreci yapay zekanın tasarımı üzerinde tahminde bulunduğu sürüklenme katsayısının kıyaslanması ile olacaktır. Bilgisayar ortamında yapılacak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizi, herhangi bir maliyet üretmeden tahmini yapılan tasarımın belirtilen katsayıya ne kadar yakın olduğunu gösterecektir. Rüzgâr tüneline yapılan deneyler ise her iki sürecin kontrolünü sağlayacak ve elde edilen tasarımların gerçek hayattaki performansını ortaya koyacaktır. Alınan sonuçlar yapay zekaya geri bildirim (feedback) olarak yansıtılacak. Hata oranının az olduğu ve azalmaya devam ettiği süreç içerisinde uygulanan makine öğrenimi algoritması ve veri tabanları geliştirilerek kullanılmaya devam edilecektir. Hata oranının yüksek olduğu ve yükselme eğiliminde olduğu süreç içerisinde ise uygulanan algoritma ve veri tabanları yeniden gözden geçirilecektir. Yanlış olduğu düşünülen algoritma ve veri tabanlarında değişikliğe gidilecektir.

Araştırma sonucunda üretilen sistemin hedeflenen kazanımları ise şunlardır;

- 2 boyutlu tasarımları aerodinamik açıdan anlayabilmesi/inceledebilmesi
- Belirlenen iki parametre ve uygun değer aralıklarında araç yan profili oluşturabilmesi
- Daha fazla parametre üzerinde değişiklikler yapabilmeye uygun algoritmaya sahip olması (gelecek çalışmalar için bir hayli önem arz etmektedir)
- Oluşturduğu yan profillerin ilk tasarımı oranla daha iyi sürüklenme katsayısına sahip olması

2. YÖNTEM

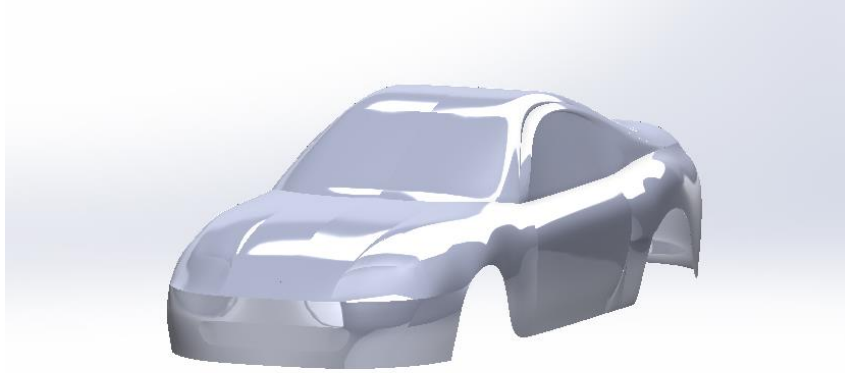
İş-zaman çizelgesinde belirtildiği üzere yöntemi ve araştırma teknikleri açıklanması gereken 4 iş paketi bulunmaktadır. Bunlar başlıca şunlardır;

1. Var olan tasarımın ölçeklendirilmesi, 3 boyutlu yazıcı ile maketinin oluşturulması, sayısal ve deneysel analizleri.
2. Yapay zekanın uygun veri setleri ile eğitilip araç yan profili çizebilecek hale getirilmesi.
3. Eğitilmiş yapay zekaya gerekli parametrelerin ve kısıtların girilip optimum araç yan profilin elde edilmesi
4. Elde edilen optimum yan profilin 3 boyutlu tasarıma uygulanması, sayısal ve deneysel analizleri

Belirtilen ilk 2 iş paketinin aynı anda 2 farklı ekip ile uygulanması beklenmektedir. Bu çalışma planı vakit kaybının önüne geçilmesi için belirlenmiştir. İş zaman çizelgesinde belirtilen tarihler tahmini süreler olup değişiklik gösterebilir. 4 iş paketi içerisinde en çok zamanın yapay zekanın eğitilmesi konusunda harcanacağı tahmin edilmektedir. Araştırma önerisinin ana konusunun da yapay zekâ tabanlı üretken tasarım sistemi olması bu hususun ayrıntılı bir şekilde açıklanmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla yöntem kısmında ağırlıklı olarak 2. İş paketinin açıklanmasına önem verilmiştir.

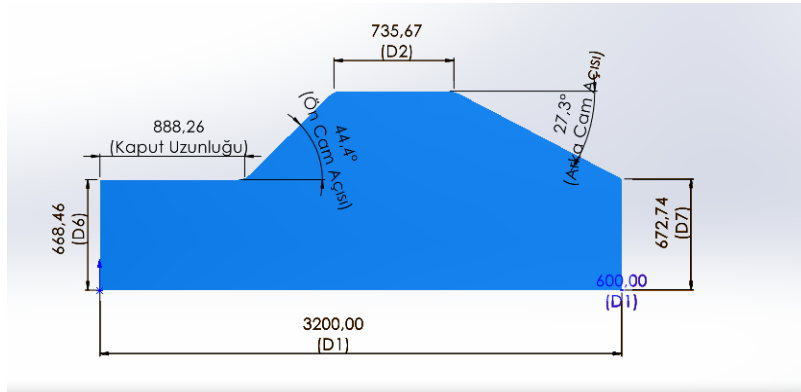
1. Var olan tasarımın ölçeklendirilmesi, 3 boyutlu yazıcı ile maketinin oluşturulması, sayısal ve deneysel analizleri

Teknofest Efficiency Challenge Elektrikli Araçlar Yarışması için SOLIDWORKS programında hazırlanan 3 boyutlu kabuk modeli (Şekil 4'te gösterilmiştir) bu çalışmada kullanılacaktır. Yarışmanın ana konusu olan verimliliğe direkt etki eden kabuk tasarımı herhangi bir optimizasyon çalışması olmadan çizilmiştir. Dolayısıyla yapılacak optimizasyon çalışması sonucunda aracın verimliliğinin de artması beklenmektedir.

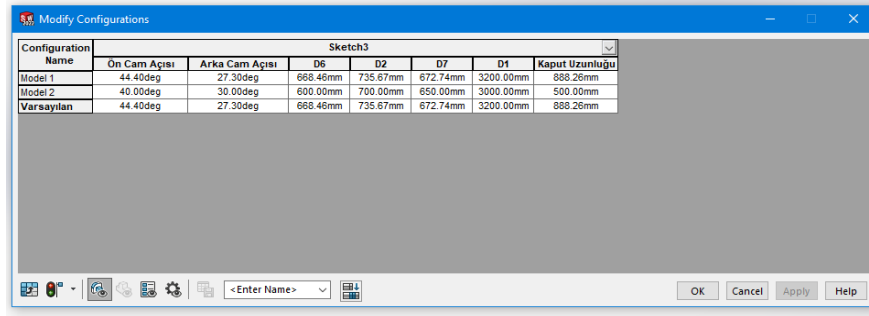


Şekil 4. Var olan 3 boyutlu kabuk tasarımının izometrik görünüşü

Belirtilen tasarımın ölçeklendirilmesi SOLIDWORKS programında bulunan **biçim yöneticisi (configuration manager)** eklentisi ile yapılacaktır. Yan profil üzerinde belirlenen parametreler, **biçim düzenleyicisi (modify configurations)** sekmesinde kararlaştırılacak orana göre ölçeklendirilecektir. Bu oran ise kullanılacak rüzgâr tünelinin boyutlarına göre belirlenecektir.



Şekil 5. Parametrelerin yan profil üzerindeki gösterimi



Configuration Name	Ön Cam Açısı	Arka Cam Açısı	D6	D2	D7	D1	Kaput Uzunluğu
Model 1	44.40deg	27.30deg	668.46mm	735.67mm	672.74mm	3200.00mm	888.26mm
Model 2	40.00deg	30.00deg	600.00mm	700.00mm	650.00mm	3000.00mm	500.00mm
Varsayılan	44.40deg	27.30deg	668.46mm	735.67mm	672.74mm	3200.00mm	888.26mm

Şekil 6. Biçim düzenleyicisi sekmesinde parametrelerin gösterimi

Ölçeklendirilen model uygun dosya formatında SOLIDWORKS üzerinden işlenilip (render alınıp), işlenilen dosya 3 boyutlu yazıcıya sd kart aracılığıyla aktarılacaktır. Basılan 3 boyutlu model üzerinde rüzgâr tüneline hazır hale getirmek için zımparalama, macunlama ve boyama gibi işlemler uygulanacaktır.

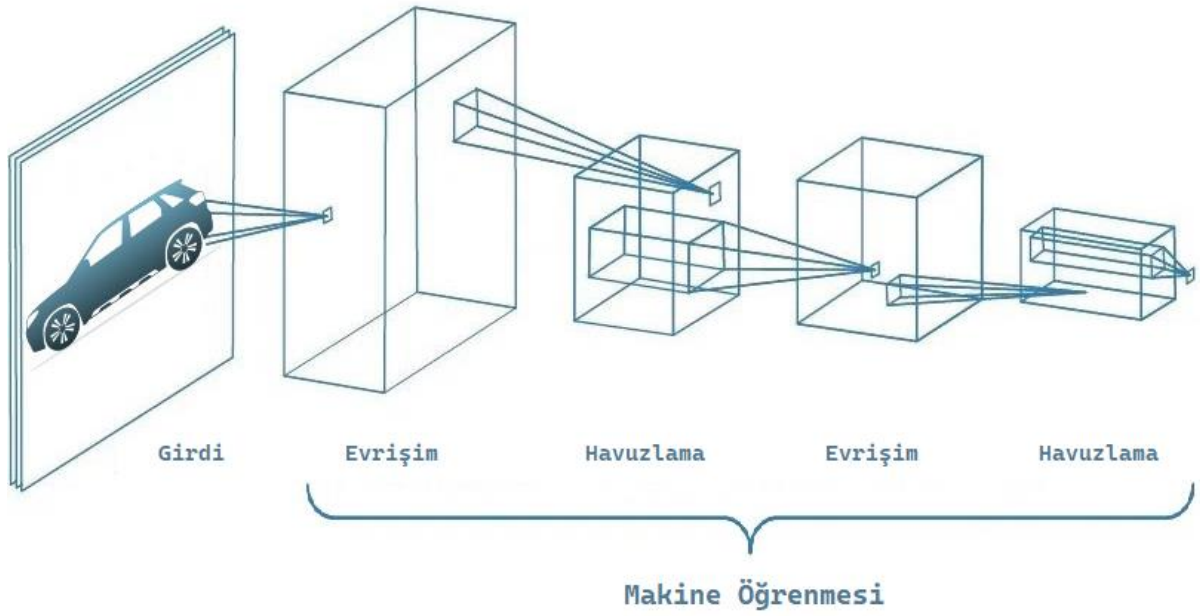
Sayısal analiz için ANSYS FLUENT yazılımı kullanılacaktır. Belirlenen ölçeğe uygun mesh modeli, sınır şartları ve türbülans modeli atanarak en doğru sayısal analizin bulunması hedeflenmektedir. Deneysel analiz kısmında ise rüzgâr tüneli aracılığı ile akış deneyi yapılacak olup bulunan değerler sayısal veriler ile karşılaştırılacaktır. Yapılan karşılaştırma sonucunda sayısal analizin gerçeğe ne kadar yakın olduğu belirlenecek ve tasarımın gerçek hayattaki aerodinamik performansı bulunacaktır.

2. Yapay zekanın uygun veri setleri ile eğitilip araç yan profili çizebilecek hale getirilmesi.

Kullanılacak yapay zekâ modelinin 2 ana algoritma üzerinde çalışması beklenmektedir. Bunlar sırası ile 'Eğitilmiş Tahmin Algoritması, ETA' ve 'Eğitilmiş Çizim Algoritması, EÇA' olarak adlandırılır. Bu algoritmaların oluşumunda PYTHON ana yazılım dili olacaktır.

PYTHON'un yanı sıra veri işleme kısmında **Numpy** ve **Pandas** kütüphaneleri kullanılacak olup bu kütüphaneler aracılığıyla yapay zeka modeli için veri setleri hazır hale getirilecektir. Derin öğrenme modellerinin bir alt dalı olan Evrişimli **Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks - CNN)** görsel bilginin analiz edilmesinde kullanıldığından oluşturulan modelin daha doğru daha optimize tasarımlar çıkarmasında destekleyici olacaktır.

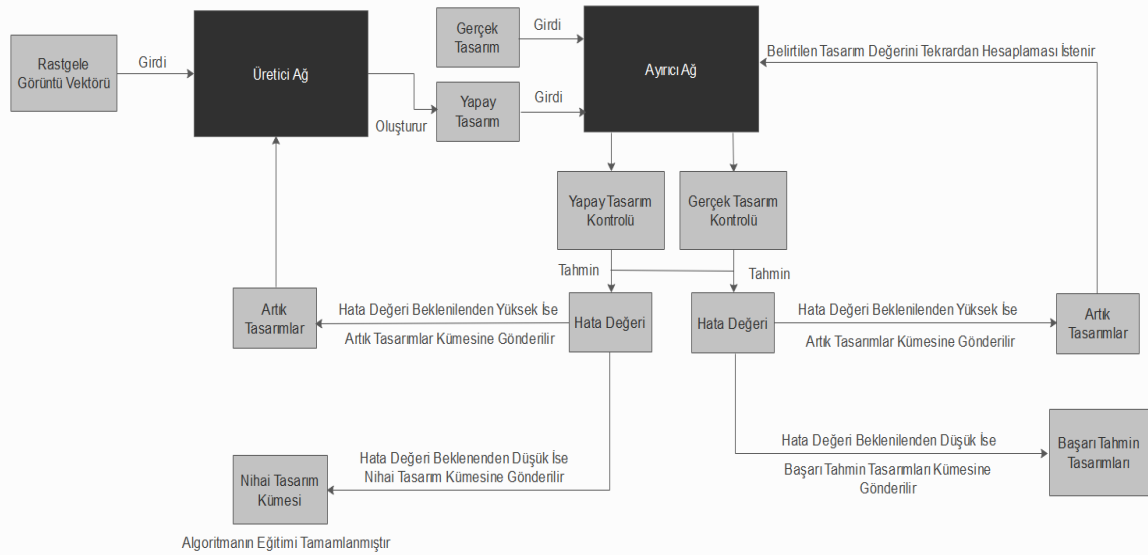
CNN, canlıların doğal görsel algı mekanizmalarından ilham almış bir derin öğrenme mimarisidir [22]. Genellikle görsel tanıma, görsel sınıflandırma, nesne algılama, yüz tanıma vb. alanlarda kullanılmaktadır. Algılanması için girilen araç yan profil girdileri, 0 ile 1 arasında bir değer alacaklardır. Bu değer araç yan profillerinin gerçek ve oluşturulan girdiler ile arasındaki farkı temsil edecektir. Bu değer yorumu GAN algoritmasına paralel bir yöntemle yapılacaktır. Bir değere ulaşmak için girdiler, birden fazla katmandan geçeceklerdir. Bunlar, evrişim, havuzlama ve tam bağlı katmanlardır. Tam bağlı katman, sınıflandırma özelinde bir katman olduğundan dolayı ve Evrişimli sinir ağları'nın projemize katkısı yalnızca öğrenmeye dayalı bir destek olacağından bu katmanın kullanılması beklenilmemektedir. Evrişim katmanı, araç profil girdilerini analiz edildiği ilk katman olacaktır. Bu katmanda görseldeki piksellerin ilişkisi, küçük kareler kullanılarak görselin özelliklerinin öğrenilmesiyle korunacaktır. Havuzlama katmanında ise araç yan profil girdileri eğer fazla büyükse parametre sayısı azaltılacaktır. Alt örnekleme olarak da bilinen uzaysal havuzlama, araç profil girdilerini boyutlara ayırırken önemli bilgileri koruyacaktır.



Şekil 7. CNN modelinin örnek çalışma şeması

Yapay zeka modelinin oluşumunda ise **Tensorflow** ve **Keras** kütüphaneleri belirtilen tahmin ve çizim algoritmalarını oluşturmada kullanılacaktır. Projenin temelini oluşturan eğitilmiş çizim algoritması, **Çekişmeli Üretici Ağlar (Generative Adversarial Networks - GAN)** adı verilen bir yapay sinir ağı modeli ile oluşturulacaktır.

GAN, temeli oyun teorisine dayanan çeşitli varyasyonlara sahip bir üretken modeldir [23]. Modele üretilmesi istenen veriden yeterli sayıda verilirse aynı veri tipinde yeni örnekler oluşturabilmektedir. Bu üretim süreci birbirleriyle sürekli çekişme halinde bulunan **Üretici (Generator)** ve **Ayırt Edici (Discriminator)** adındaki 2 farklı yapay sinir ağı ile yapılmaktadır. Üretici ağı, gerçeğe benzeyen yeni tasarımlar üretirken Ayırt edici ağı da yapay ve gerçek tasarımları birbirinden ayırt etmeye çalışır. Bu iki sinir ağı birbiriyle çekiştikçe Ayırt Edici ağı yapay ve gerçek olan tasarımları daha iyi ayırt etmeye başlar. Üretici ağı ise ayırt edici ağı yenebilmek için daha gerçekçi tasarımlar oluşturmaya başlar. Bu düzen genel hatlarıyla kalpazan ve polis ikilisine benzetilmektedir. Zaman ilerledikçe (yapay zekâ geliştikçe) polis kalpazanları yenebilmek için sahte paraları yakalamakta yeni yöntemler üretir. Kalpazan ise polisi yenebilmek için daha gerçekçi sahte paralar üretmeye başlar.



Şekil 7. GAN modelinin belirlenen örnek çalışma şeması

Modelin matematiksel çalışma şekli ise oldukça basittir. Ayırt edici ağ kendisine gelen tasarımların gerçek olma olasılığını 0 ve 1 aralığında değerler vererek hesaplar. Gerçek bir tasarımın değeri 1 iken yapay olan bir tasarımın değeri ise 0 olmalıdır. Ayırt edici ağ kendisine gelen tasarıma verdiği olasılık değerleri ile olması gereken değer arasındaki kayıp değeri (hata değeri) kullanılarak eğitilir. Örneğin ayırt edici ağ gerçek bir tasarıma 0.7 değerini vermişse kayıp değeri $1 - 0.7 = 0.3$ olarak bulunur. Eğer yapay bir tasarıma 0.7 değerini vermişse kayıp değeri $0.7 - 0 = 0.7$ olarak bulunur. Ayırt edici ağın değerleri eğitim sırasında her iterasyonda/döngüde kayıp değerleri 0 olacak şekilde güncellenir. Üretici ağ ise tam tersi olarak kendi ürettiği yapay tasarımların gerçeğe yakın olarak değerlendirilmesini yani 1 değerine sahip olmasını ister. Eğer kendi ürettiği tasarımı Ayırt edici ağ 0.6 olarak değerlendirmişse, Üretici ağ $1 - 0.6 = 0.4$ hata yapmıştır. Üretici ağ da her döngüde bu hatayı 0'a indirmeyi ister. Bu şekilde eğitim süreci ilerledikçe ayırt edici ağ, gerçek ve yapay tasarımları ayırt etme işinde daha başarılı olur. Üretici ağ ise daha gerçekçi yapay tasarımlar üretir. Eğitim süreci bittiğinde ise sistem gerçeğe çok yakın tasarımlar üretecek bir Eğitilmiş Çizim Algoritması haline bürünmüş olacaktır.



2014

2015

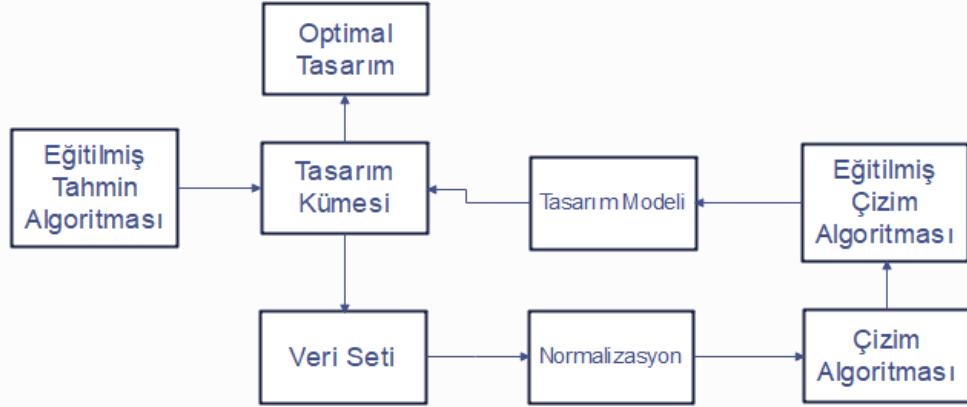
2016

2017

Şekil 8. GAN modeli ile üretilen yapay yüz resimlerinin gelişimi [23].

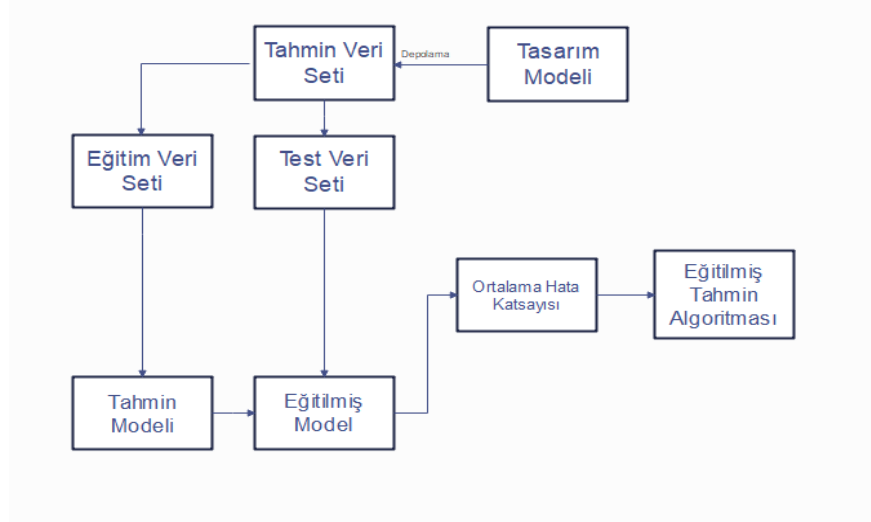
Bu konu üzerinde üstüne en çok yoğunlaşılması gereken kısım yapay zekaya kural belirleme ve/veya parametrik kısıtlamalar getirmektir. Üretilen tasarımın var olan tasarıma uygulanması kullanıcı tarafından program arayüzünde açıkça görülecek ölçülere sahip olmasına bağlıdır (uzunluk, derece vb.). Çalışmada kullanılması planlanan ilk GAN varyasyonu **Koşullu Çekişmeli Üretici Ağlar (Conditional Generative Adversarial Networks - CGAN)** olarak bilinen yöntem olacaktır. CGAN'ın projede kullanılmasının ana nedenlerinden biri, üretilen görüntülerin belirli bir özellik veya sınıfa ait olmasını sağlamaktır. Örneğin, bir CGAN modeli, belirli bir nesne sınıfına ait görüntüler üretebilir ve araç yan profil girdisine göre görüntülerin parametrelerini kontrol edebilir. Literatürde parametrelere bağlı olarak tasarımlar oluşturan benzer CGAN modelleri aracılığıyla yapılan çalışmalar mevcuttur [24-26]. Oluşturulacak yapay zekâ modelinin uygun GAN varyasyonu ve kısıtlamaları tanımlayacak uygun matematiksel modelle oluşturulması araştırma sürecinde deneme/yanılma yöntemi ile belirlenecektir. İstenilen çizim tekniğini yapabilen algoritma ve matematiksel model araştırma sonucunda belirtilecek ve yapılabilecek iyileştirmelerden bahsedilecektir.

Uygun GAN modeli ve matematiksel modele sahip olan Eğitilmiş Çizim Algoritması için gerçek hayattaki araçların yan profil tasarımlarını içeren bir veri tabanı hazırlanması ile genel çizim süreci başlayacaktır. Şekil 9.'da belirtildiği üzere yan profil tasarımları bir tasarım kümesinde saklanır. Yapay zekanın eğitilmesinde kullanılacak olanlar veri setine aktarıldıktan sonra verinin işleme süreci başlar. Bu süreç normalizasyon olarak adlandırılıp yöntemin başında bahsedilen CNN benzeri algoritma tiplerini içerir. İşlenen veri yapay zekanın çizim algoritmasına aktarılıp GAN algoritmasının kendi döngüsü içerisinde kullanılacaktır. Eğitimin tamamlanması sonucu EÇA'dan çıkan optimum tasarım modelleri tasarım kümesine dahil edilecektir. Bu tasarımların ne kadar iyileştirilmiş olduğu ise ETA tarafından tahmin edilecek sürüklenme katsayısı ile belirlenecektir. Sürüklenme katsayısı, var olan tasarıma kıyasla düşük olanlar optimal tasarım kümesine dahil olup sayısal analiz ve ardından deneysel analiz süreçleri için bekletilecektir.



Şekil 9. Tasarım Algoritmasının eğitime sürecinin şematik gösterimi

Üretilen tasarımın aerodinamik performansını anlayacak ve bunun sonucunda tahmini sürüklenme katsayısını belirleyecek Eğitilmiş Tahmin Algoritmasının süreci, araştırma ekibi tarafından üretilen rastgele yan profil tasarımlarını ve sürüklenme katsayısını içeren tahmin veri setinin oluşması ile başlayacaktır. Bu veri setinin oluşumunda 1. İş paketinde belirtildiği üzere bulunan uygun sayısal analiz yöntemi kullanılacaktır. Araştırma ekibi tarafından oluşturulacak bu veri setinin gelecek çalışmalara ve literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. ETA'nın eğitiminde kullanılacak algoritmalar **scikit-learn** kütüphanesi tarafından sağlanacaktır. Scikit-learn, kullanıcıların verilerini analiz etmek, desenlerini tanımak, tahminleri yapmak, modelleme yapmak ve birçok diğer makine öğrenimi görevlerini gerçekleştirmek için bir dizi araç ve algoritma sunar. Kütüphane, sınıflandırma, regresyon, kümeleme model seçimi, değerlendirme ve daha birçok makine öğrenimi görevi için kullanılabilir. Bu görevleri arasından doğrusal regresyon (linear regression) kullanılarak tasarımda bulunan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki modellenecektir.

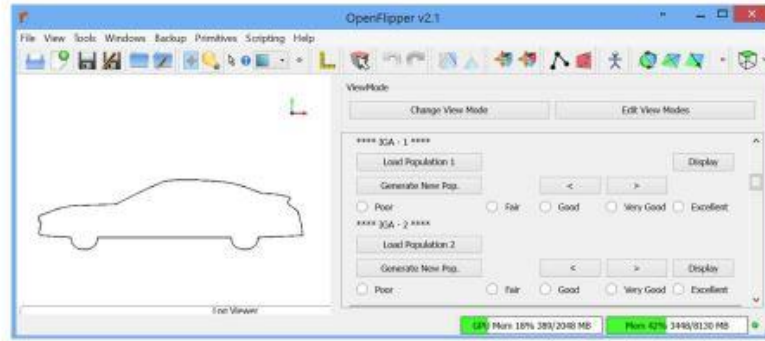


Şekil 10. Tahmin algoritmasının eğitime sürecinin şematik gösterimi

Şekil 10.'da gösterildiği üzere oluşturulan tahmin veri seti, makine öğrenmesi algoritmalarında kullanılmaya elverişli hale getirilmesi için eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrılacaktır. Eğitim grubu veri setinin %80'ini kapsayacakken test grubu ise veri setinin %20'lik kısmından oluşacaktır. Eğitim veri seti aracılığıyla eğitilen tahmin modeli test veri seti ile kontrol edilecek, ortalama hata katsayısı istenen seviye ulaşan eğitilmiş model Eğitilmiş Tahmin Algoritması halini alacaktır.

3. Eğitilmiş yapay zekaya gerekli parametrelerin ve kısıtların girilip optimum yan profilin elde edilmesi

İstenilen parametrelerde iyileştirilmiş tasarım yapabilen ETA ve EÇA algoritmalarının kullanıcı tarafından bilgisayar üzerinde kullanımı bir arayüz ile gerçekleştirilecektir. Bu kullanıcı arayüzünün PYTHON' da sıkça kullanılan PyQt veya Tkinter kütüphaneleri ile yazılması planlanmaktadır. Benzer bir çalışmada Gunpinar vd, Visual Studio 2008'de Openflipper'ın API işlevlerini kullanarak Şekil 11.'de gösterildiği halde tasarlamışlardır [15].



Şekil 11. Örnek kullanıcı arayüzü tasarımı [15].

Benzer bir yaklaşım ile tasarlanacak arayüzde kullanıcının girdiği veriler (kısıtlamalar) doğrultusunda oluşan şeklin, ön ve arka cam açısı gibi 2 parametrenin değişimine bağlı olarak aerodinamik açıdan optimize edilmesi beklenmektedir. Optimize edilen tasarım, arayüzde değerleri ile gösterilecektir.

4. Elde edilen optimum yan profilin 3 boyutlu tasarıma uygulanması, sayısal ve deneysel analizleri

Tamamlanan optimizasyon sürecinin ardından arayüzde gösterilen tasarımın değerleri SOLIDWORKS'te bulunan biçim yöneticisi eklentisine bağlı biçim düzenleyici sekmesinde (Şekil 6.) girilecektir. Bu yöntem ile oluşturulan yan profil var olan 3 boyutlu tasarıma entegre edilecektir.

Oluşturulan yeni tasarımın yapay zekanın belirttiği üzere optimum tasarım olarak sayılması için 1. İş paketinde belirlenen sayısal analiz yöntemi ile incelenmesi gerekmektedir. Yapılan sayısal analiz sonucu tasarımın aerodinamik performansında beklenildiği gibi bir iyileştirme olması durumu, yeni tasarımın ilk aşamada doğru çalıştığını gösterecektir. Rüzgâr tüneli ile yapılacak deneysel analiz sonucu ile 3 boyutlu tasarımın gerçek hayattaki aerodinamik performansı, sayısal analizdeki performansı ile yakın değerler gösterirse araç yan profilinin optimizasyon sürecinin başarıyla tamamlandığı kabul edilecektir. Projenin sonunda elde edilen sonuçlar, sadece aerodinamik iyileştirmeye yönelik olmayıp tasarımda büyük rol oynayan parametrelerin etki oranlarının da araştırılmasına katkı sağlayacaktır.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

3 PROJE YÖNETİMİ

3.1 İş- Zaman Çizelgesi

İŞ-ZAMAN ÇİZELGESİ (*)

İP No	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Zaman Aralığı (...-... Ay)	Başarı Ölçütü ve Projenin Başarısına Katkısı
1	Var olan tasarımın ölçeklendirilmesi, 3 boyutlu yazıcı ile maket oluşturulması, sayısal ve deneysel analizleri.	İ, A, AH	3-4 Ay	Araç yapısına uygun sayısal analizin belirlenmesi ve deneysel analiz ile kıyaslanması aerodinamik karakteristiğinin bulunmasında oldukça önemlidir. Projeye katkısı %15 olarak belirlenmiştir
2	Yapay zekanın uygun veri setleri ile eğitilip araç yan profili çizebilecek hale getirilmesi.	M, C	4-5 Ay	Yapay zekanın istenilen şekilde eğitilmesi ve çizim yeteneğini kazanması projenin ana hedefidir. Projeye katkısı %55 olarak belirlenmiştir.
3	Eğitilmiş yapay zekaya gerekli parametrelerin girilip iyileştirilmiş yan profilin elde edilmesi	M, C	3-4 Ay	Belirtilen arayüzün tasarlanması ve istenilen verileri girmeye/gösterme elverişli olmasının projeye katkısı %10'tır
4	Elde edilen yan profilin 3 boyutlu tasarıma uygulanması, sayısal ve deneysel analizleri	İ, A, AH	3-4 Ay	Yapılan sayısal ve deneysel analizler yapay zekanın doğruluğunu kanıtlayacaktır. Bu doğrultuda projeye katkısı %20 olarak belirlenmiştir.
İ: İrem Azer, A: Abdülsamet Özer, AH: Dr. Öğr. Üyesi Aydın Hacı Dönmez, M: Muhammed İbrahim Kartal, C: Cem Çakmak				

3.2 Risk Yönetimi

RİSK YÖNETİMİ TABLOSU*

İP No	En Önemli Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
1	Makine öğrenmesi algoritmalarının doğru eğitilememesi	Yeni algoritma modelleri ve normalize edilmiş veri setlerinin denenmesi

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

3.3. Araştırma Olanakları

ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (*)

Kuruluşta Bulunan Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat, vb.)	Projede Kullanım Amacı
Makine Laboratuvarı	3 boyutlu yazıcıdan çıkan modelin ölçüleri kontrol edilerek deneysel analize hazır hale getirilmesinde kullanılacaktır.
Rüzgar Tüneli	Hazırlanan modelin deneysel analizini gerçekleştirmede kullanılacaktır.
ANSYS FLUENT yazılımı	3 boyutlu modelin sayısal analizini gerçekleştirmede kullanılacaktır.
SOLIDWORKS yazılımı	Yapay zekadan elde edilen tasarımların 3 boyutlu modellemesinde kullanılacaktır.

4. YAYGIN ETKİ

ARAŞTIRMA ÖNERİSİNDEN BEKLENEN YAYGIN ETKİ TABLOSU

Yaygın Etki Türleri	Önerilen Araştırmadan Beklenen Çıktı, Sonuç ve Etkiler
Bilimsel/Akademik (Makale, Bildiri, Kitap Bölümü, Kitap)	Araştırma sonuçları en az bir SCI/SCI-Exp. indeksli bilimsel dergide makale olarak yayınlanacaktır.
Ekonomik/Ticari/Sosyal (Ürün, Prototip, Patent, Faydalı Model, Üretim İzni, Çeşit Tescili, Spin-off/Start-up Şirket, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı/Belgeleme Üretimi, Telif Konu Olan Eser, Medyada Yer Alma, Fuar, Proje Pazarı, Çalıştay, Eğitim vb. Bilimsel Etkinlik, Proje Sonuçlarını Kullanacak Kurum/Kuruluş, vb. diğer yaygın etkiler)	Taşıt tasarımının optimizasyonunun sağlanmasında yapay zeka entegreli bir sistemin geliştirilmesi tasarım ve üretim süreçleri açısından zaman ve maliyet hesaplarında yeni bir etki yaratması beklenmektedir. Zira yapılacak çalışmada yapay zekanın belirtilen aerodinamik tasarım iyileştirme sürecini çok daha kısa bir zamanda (insan gücüne oranla) halledebilmesi hedeflenmektedir.
Araştırmacı Yetiştirilmesi ve Yeni Proje(ler) Oluşturma (Yüksek Lisans/Doktora Tezi, Ulusal/Uluslararası Yeni Proje)	Çalışma sonucunda ülkemize yapay zeka, tasarım ve analiz alanlarında araştırmacılar kazandırılacaktır. Bu araştırmacılar hem insan kaynağı olarak hem de gelecek dönemlerdeki projeleriyle ülkemizin ar-ge sürecine katkı sağlayacaktır.

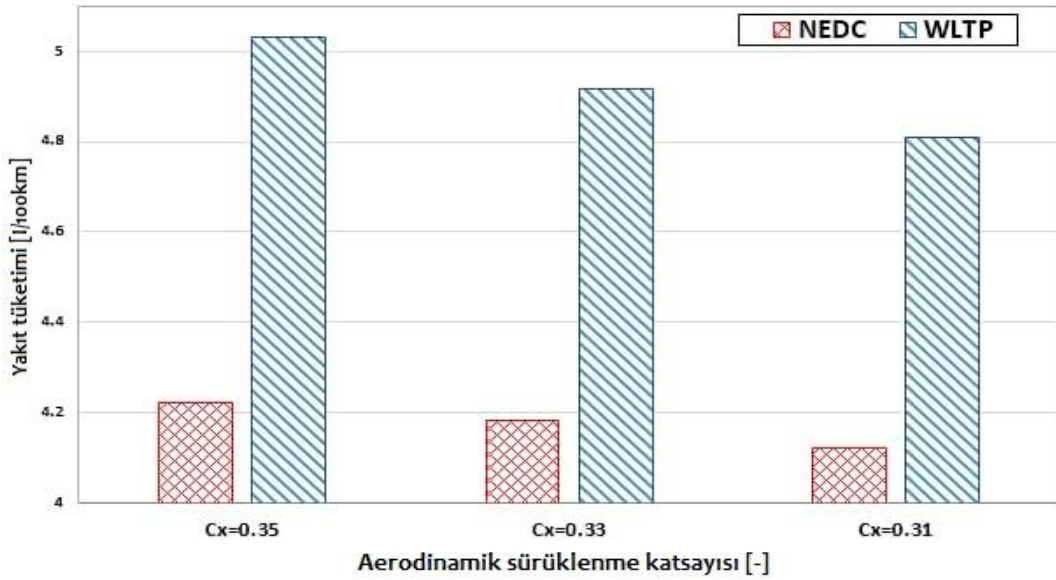
2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

5. BÜTÇE TALEP ÇİZELGESİ

Bütçe Türü	Talep Edilen Bütçe Miktarı (TL)	Talep Gerekçesi
Sarf Malzeme	6000	3 boyutlu yazıcıda basılacak modelin üretilmesi için kullanılacak filamentlerin alımı ve modelin analize hazır hale getirilmesi için gereken zımparalama, macunlama gibi uygulamalarda kullanılacak
Makina/Teçhizat (Demirbaş)		
Hizmet Alımı		
Ulaşım		
TOPLAM		

6. BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR

Günümüzde tartışılan en temel sorunlardan biri olan enerji verimliliği, hala gelişimi devam eden fosil yakıtlı araçlar için önemli olduğu kadar son zamanlarda popüleritesi artan elektrikli araçlar içinde oldukça önemli bir konudur. Bu araştırma önerisinde yapılacak çalışmada olduğu gibi araç tasarımında yapılacak her aerodinamik iyileştirme yakıt tüketimini de doğrudan etkileyecektir. Akgül, [27] yaptığı çalışmada üç boyutta tasarlanmış olan 1/1 ölçekte bir SUV modeli için tavan açısı, ön cam açısı, akış durma noktası ve yer aralığı gibi kritik boyutların ve taşıt arkasındaki hava akışını kontrol etmek için tavan bitimine eklenen arka spoiler ve vorteks jeneratörlerinin hava direnç katsayısı ve dolaylı olarak yakıt tüketimine etkisini nümerik yöntemle incelemiştir. Analizler sonucunda taşıt modelinin yakıt tüketiminde Ansys analizlerine göre %12,2 ile %16,3 düşüş meydana geleceğini öngörmüştür. Dolayısıyla bu gibi çalışmaların yaygınlaşması fosil yakıt tüketiminin azaltılmasında büyük önem arz etmektedir. Bu durum Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. Aerodinamik sürüklenme katsayısının yakıt tüketimine olan etkisi [28].
(Mavi sütunlar uluslararası alanda yapılan çalışmaların sonucunu gösterir.)
(Kırmızı sütunlar avrupada yapılan çalışmaların sonucunu gösterir.)

7. EKLER

EK-1: KAYNAKLAR

- [1] GENCER, F., YAMAÇ, Y., AŞÇI, M. İ., & GÜNDEŞLİ, R. (2020). ELEKTRİKLİ BİR ARACIN AERODİNAMİK PERFORMANSININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 48-59.
- [2] Demircioğlu, T. K. (2007). *Bir araç modelinin aerodinamik analizi ve sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonu* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3] Kasap, H. (2022). *Binek Araç Üzerindeki Aerodinamik Analizlerin Sayısal Olarak İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).
- [4] Altınışık, A. (2013). *Binek Araç Üzerindeki Aerodinamik Analizlerin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).
- [5] BAYINDIRLI, C., & ÇELİK, M. (2019). Bir taşıta etki eden aerodinamik direnç kuvvetinin bagaj üstü spoiler ile iyileştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 470-479.
- [6] Vdovin, A. (2013). *Investigation of aerodynamic resistance of rotating wheels on passenger cars*. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).
- [7] Nath, D. S., Pujari, P. C., Jain, A., & Rastogi, V. (2021). Drag reduction by application of aerodynamic devices in a race car. *Advances in Aerodynamics*, 3(1), 1-20.
- [8] Kalaycı, C. (2021). *SUV model bir motorlu taşıtın aerodinamik performansının sayısal incelenmesi ve optimizasyonu* (Master's thesis, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- [9] Akgül, V. and Özkan, M. (2015). "Bir Taşıt Modeli için Hava Direnç Katsayısına Etki Eden Boyutların ve Akış Kontrol Uygulamalarının Nümerik Yöntemle İncelenmesi.", 3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Valencia, Spain.
- [10] Bayındırlı, C., Çelik, M., & Demiralp, M. (2018). Bir otobüs modeli etrafındaki akış yapısının CFD yöntemi ile incelenmesi ve sürükleme kuvvetinin pasif akış kontrol yöntemi ile iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 785-795.
- [11] Belhadj, K., Helali, A., Ben Guedria, N., & Bouraoui, C. (2022). Optimization of Diffuser Angle to Reduce the Drag of a Light Car. In *Advances in Mechanical Engineering and Mechanics II: Selected Papers from the 5th Tunisian Congress on Mechanics, CoTuMe 2021, March 22–24, 2021* (pp. 425-432). Springer International Publishing.
- [12] ÖZEN, İ. (2015). Bir binek aracın aerodinamik etkinliğinin modellenmesi/Modelling of a passenger vehicle's aerodynamics efficiency.
- [13] Elrawemi, M., & ABURAWAY, İ. I. (2019). The effect of front and rear windscreen angles on the aerodynamic drag force of a simplified car model. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 6(3), 83-88.
- [14] Gunpinar, E., Coskun, U. C., Ozsipahi, M., & Gunpinar, S. (2019). A generative design and drag coefficient prediction system for sedan car side silhouettes based on computational fluid dynamics. *Computer-Aided Design*, 111, 65-79.
- [15] Gunpinar, E., Ovr, S. E., & Gunpinar, S. (2019). A user-centered side silhouette generation system for sedan cars based on shape templates. *Optimization and Engineering*, 20, 683-723.
- [16] Balaji, P. A., & Sugumaran, V. (2023). Comparative study of machine learning and deep learning techniques for fault diagnosis in suspension system. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(4), 215.
- [17] Kallioras, N. A., & Lagaros, N. D. (2020). DzAIN: Deep learning based generative design. *Procedia Manufacturing*, 44, 591-598.
- [18] GAVAČOVÁ, J., & VEREŠ, M. (2013). Generative design methods in process of car body components development. *machine design*, 5(3).

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

- [19] Zhang, F., Heng, Y., Liu, Q., Tao, R., Yang, W., Zhu, D., & Xiao, R. (2023). Optimization Design of a Semi-Open Centrifugal Impeller using GA-Fuzzy Logic Combination Strategy. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 16(7), 1427-1441.
- [20] Burnap, A., Hauser, J. R., & Timoshenko, A. (2023). Product aesthetic design: A machine learning augmentation. *Marketing Science*.
- [21] Eren, A. G. O., & Sezer, H. K. (2019). Üretken Tasarım Ve Topoloji Optimizasyonu Yaklaşımlarıyla Ürün Tasarımı. *Uluslararası Bilim, Teknoloji Ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu*.
- [22] Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., ... & Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern recognition*, 77, 354-377.
- [23] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., ... & Bengio, Y. (2020). Generative adversarial networks. *Communications of the ACM*, 63(11), 139-144.
- [24] Ghannad, P., & Lee, Y. C. (2022). Automated modular housing design using a module configuration algorithm and a coupled generative adversarial network (CoGAN). *Automation in Construction*, 139, 104234
- [25] Bu, X., Wu, Q., Zhou, B., & Li, C. (2023). Hybrid short-term load forecasting using CGAN with CNN and semi-supervised regression. *Applied Energy*, 338, 120920.
- [26] Zheng, P., Wang, J., Zhang, J., Yang, C., & Jin, Y. (2019). An adaptive CGAN/IRF-based rescheduling strategy for aircraft parts remanufacturing system under dynamic environment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, 230-238.
- [27] Akgül, V. (2013). *Hava direnç katsayısının yakıt tüketimi üzerine etkisinin nümerik yöntemle incelenmesi* (Doctoral dissertation).
- [28] Amati, N., Tonoli, A., Castellazzi, L., & Ruzimov, S. (2018). Design of electromechanical height adjustable suspension. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232(9), 1253-1269.