

AKTİF ÖĞRENME VE DENEY TASARIMI İLE DESTEKLENEN RÜZGAR TÜNELİ TEST YÖNTEMİ

Melih DÜNDAR*
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
TÜBİTAK SAGE, Ankara

Halil Ersin SÖKEN†
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara

ÖZET

Bu bildiri, rüzgar tüneli çalışmalarında test noktalarını belirlemek için deney tasarımı, makine öğrenimi modellemeleri ve aktif öğrenme yöntemlerini birleştiren bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntem, ilk test noktalarını girdi tabanlı deney tasarımı ile belirler, daha sonra bu test sonuçlarının kullanıldığı bir model oluşturur. Oluşturulan model ile aktif öğrenme yöntemi kullanılarak yeni test noktaları seçilir ve testler döngüsel bir şekilde tamamlanır. Bu sayede, daha az test sayısı ile yüksek doğrulukta bir model elde edilmesi amaçlanmaktadır.

GİRİŞ

Rüzgar tüneli testleri, havacılık ve savunma sanayii gibi yüksek hassasiyet gerektiren alanlarda kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle çevik füzeler ve otonom hava araçları gibi yüksek manevra kabiliyetine sahip sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesinde, bu testler aerodinamik performansın doğru bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olur. Rüzgar tünelleri, gerçek uçuş koşullarını daha küçük ölçekli veya gerçek boyutlu modellerle test ederek, tasarım süreçlerinde önemli veri ve bilgiler edinilmesine yardımcı olur. Ancak, bu testler genellikle zaman ve ekonomik açıdan maliyetlidir.

Literatürde, modern deney tasarım yöntemleri ve modelleme tekniklerinin rüzgar tüneli testlerindeki uygulamaları, aerodinamik modelleme ve simülasyon doğruluğunu artırmak için geniş bir şekilde incelenmiştir. DeLoach, modern deney tasarımı yöntemlerinin NASA Langley Araştırma Merkezi'nde rüzgar tüneli testlerine uygulanmasını ele almış, bu yöntemlerin deney maliyetlerini ve sürelerini önemli ölçüde azalttığını ve yüksek kaliteli araştırma sonuçları elde edilmesini sağlamıştır [DeLoach,1998]. Aynı zamanda, başka bir çalışmada, doğrusal olmayan yapay sinir ağları (YSA) yöntemlerinin geleneksel doğrusal regresyon teknikleri ile birleştirilmesi incelenmiş ve bu birleştirmenin rüzgar tüneli kuvvet ölçüm verilerinin modellenmesinde önemli iyileştirmeler sağladığını vurgulanmıştır [DeLoach, Lo ve Zhao,2000]. 2020 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise, maliyet etkin rüzgar tüneli test kampanyalarının gerçekleştirilmesi amacıyla deney tasarımı ve

*Yüksek Lisans Öğrencisi, Uzman Araştırmacı, E-posta: melih.dundar@tubitak.gov.tr

†Doç. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: esoken@metu.edu.tr

gerçek zamanlı modelleme yöntemlerini birleştirerek, otonom hava araçlarının performansını iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Deney tasarımı teknikleri kullanılarak başlangıç test noktaları belirlenmiş ve test sırasında elde edilen verilerle modeller güncellenmiştir [Topbaş, Yavuztürk ve Savaş,2020]. Aynı zamanda çevik füzelerin aerodinamik modellemesinde deney tasarımı ve istatistiksel modelleme yöntemlerini kullanarak simülasyon doğruluğunu ve performansını artırmayı başardıkları bir çalışma da vardır [Savaş, Topbaş, Ünal, Karaca ve Kutay, 2020]. Ayrıca, aktif öğrenme yöntemleri, model doğruluğunu artırmak için verimli veri seçimi sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Başka bir çalışmada aktif öğrenme teknikleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu tekniklerin makine öğrenimi modellerinin eğitiminde nasıl kullanılabileceği açıklanmıştır. Özellikle, belirsizlik örnekleme yönteminin, modelin en az emin olduğu tahminlere dayalı olarak yeni test noktalarını belirlemeyi sağlağı ve bunun model performansına olan etkileri gösterilmiştir [Settles, 2012]. Bu çalışmalar, deney tasarımı ve modelleme süreçlerinde yenilikçi yaklaşımların benimsenmesinin, aerodinamik performans analizlerinde daha verimli ve kesin sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, aktif öğrenme ve deney tasarımı yöntemlerinin birlikte kullanımı ile rüzgar tüneli test sürecinin en iyilemesi hedeflenmiştir. Aktif öğrenme, makine öğrenimi modellerinin eğitiminde kullanılan bir tekniktir ve modeli eğitmek için en bilgilendirici verileri seçmeyi amaçlar. Belirsizlik örnekleme yöntemi ise, aktif öğrenme kapsamında kullanılan bir yöntem olup, modelin en az emin olduğu tahminlere dayalı olarak yeni test noktalarının belirlenmesini sağlar. Bu yöntemin uygulanması, başlangıçta deney tasarımı ile ilk test noktalarının seçilmesiyle başlar. Bu başlangıç testleri, rüzgar tünelinde gerçekleştirilir ve elde edilen sonuçlar kullanılarak makine öğrenimi modelleri oluşturulur. Daha sonra, bu modellerin tahmin belirsizliklerini kullanarak belirsizlik örnekleme yöntemi ile yeni test noktaları seçilir. Bu döngüsel süreç, her yeni testten elde edilen bilgilerle modelin doğruluğunu sürekli olarak iyileştirmeyi amaçlar.

Bu çalışmanın temel amacı, rüzgar tüneli test sürecini daha verimli ve maliyet etkin hale getirmektir. Geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşarak, daha az sayıda test ile yüksek doğrulukta aerodinamik modeller elde edilmesi hedeflenmektedir. Böylece, çevik füze ve otonom hava aracı gibi sistemlerin tasarım ve geliştirme süreçlerinde önemli iyileştirmeler sağlanabilecektir.

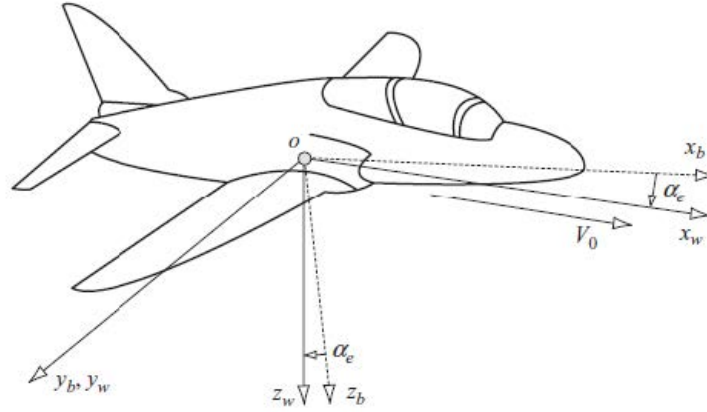
Sonuç olarak, aktif öğrenme, deney tasarımı ve modellemenin entegrasyonu ile rüzgar tüneli testlerinin optimizasyonu, hem zaman hem de maliyet açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Bu çalışma, bu entegrasyonun nasıl gerçekleştirilebileceğini ve elde edilen sonuçları detaylandırarak, gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, rüzgar tüneli testlerini optimize etmek ve model doğruluğunu artırmak için aktif öğrenme ve deney tasarımı yöntemleri birleştirilmiştir. Yöntem, üç ana aşamadan oluşmaktadır: deney tasarımı, modelleme ve aktif öğrenme ile yeni test noktalarının belirlenmesi. Bu aşamalar, rüzgar tüneli test sürecinin daha etkin ve maliyet etkin olmasını sağlamak amacıyla birbirini tamamlayan adımlardır.

Aerodinamik Tanımlar Bu bölümde, aerodinamik katsayılar ve bu katsayıların parametrelerle olan ilişkisi özetlenmektedir. Katı cisimler için boyutsuz aerodinamik kuvvet ve moment katsayıları, boyutsuz büyüklüklerin bir fonksiyonu olarak karakterize edilebilir. Bu çalışmada kullanılan aerodinamik katsayılar ve ilgili parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Aerodinamik Kuvvet ve Moment Katsayıları: Aerodinamik kuvvet ve moment katsayıları, çeşitli uçuş koşullarında hava aracının aerodinamik performansını değerlendirmek için kullanılır. Bu katsayılar, hücum açısı (α), yan kayma açısı (β), kontrol sapma açıları (δ) ve Mach sayısı gibi



Şekil 1: Gövde Eksen Sistemi [Cook, 2007]

parametrelerin bir fonksiyonudur. Genel olarak, aerodinamik kuvvet ve moment katsayıları denklem 1 ile gösterildiği gibi ifade edilebilir:

$$C_i = C_i(\alpha, \beta, \delta, Mach) \quad (1)$$

Burada, C_i aerodinamik katsayıları (x , y , z eksenleri boyunca kuvvet katsayıları ve yuvarlanma, yunuslama ve yalpalama eksenleri boyunca moment katsayıları) temsil eder.

Gövde Eksen Sistemi: Aerodinamik katsayılar ve hareket denklemlerini tanımlayan eksen sistemi, gövde eksen sistemi olarak adlandırılır. Bu sistemin ana özellikleri şu şekildedir:

- Eksenin başlangıcı hava aracının ağırlık merkezinde yer alır.
- Pozitif O_x eksenini hava aracının burnu yönünde ileri doğrudur.
- Pozitif O_y eksenini sağa doğrudur.
- Pozitif O_z eksenini aşağıya doğrudur ve sağ el kuralı ile belirlenir.

Şekil 1 ile örnek bir gövde eksen sistemi hava aracı üzerinde belirtilmiştir ve Tablo 1 ile aerodinamik kuvvet ve moment katsayıları özetlenmektedir:

Table 1: Aerodinamik Katsayılar

C_x	Pozitif x eksenini boyunca aksenal kuvvet katsayısı
C_y	Pozitif y eksenini boyunca aksenal kuvvet katsayısı
C_z	Pozitif z eksenini boyunca aksenal kuvvet katsayısı
C_l	Pozitif x eksenini boyunca yuvarlanma moment katsayısı
C_m	Pozitif y eksenini boyunca yunuslama moment katsayısı
C_n	Pozitif z eksenini boyunca yalpalama moment katsayısı

Deney Tasarımı Deney tasarımı, deneylerin sistematik ve yapılandırılmış bir şekilde planlanması, yürütülmesi, analiz edilmesi ve yorumlanması sürecidir. Bu yöntem, giriş değişkenlerinin sonuç değişkeni üzerindeki etkilerini anlamayı ve optimize etmeyi amaçlar, böylece süreç veya sistem

performansını iyileştirmek için en az sayıda deney yapılmasını sağlar. Bu çalışmada, girdi bazlı deney tasarımı teknikleri kullanılarak başlangıç test noktaları ve aday test noktaları belirlenmiştir. Bu teknikler, test matrisinin en fazla bilgi sağlayacak şekilde planlanmasını sağlar.

Deney Tasarımı Yöntemleri: Test noktalarının seçiminde kullanılan deney tasarımı yöntemleri arasında faktöriyel tasarımlar, merkezi bileşik tasarımlar ve Latin Hiperküp Tasarımları bulunmaktadır. Bu yöntemler, test matrisinin geniş bir parametre uzayını kapsayacak şekilde oluşturulmasını sağlar. Örneğin, Mach sayısı, hücum açısı, yan kayma ve kontrol yüzey sapmaları gibi parametreler, test matrisinde çeşitli kombinasyonlarla temsil edilir [Crombecq,2011].

İlk Test Matrisinin Oluşturulması: Bu aşamada, belirlenen deney tasarımı yöntemi kullanılarak ilk test matrisi oluşturulur. Bu matris, rüzgar tüneline gerçekleştirilecek ilk test noktalarını içerir. Bu noktalar, modelin başlangıç eğitim verilerini sağlamak amacıyla seçilir ve bu sayede modelin başlangıç performansı optimize edilir.

Aday Nokta Havuzunun Oluşturulması: Yeni test noktalarının belirlenmesi için bir aday nokta havuzu oluşturulmuştur. Bu havuz, geniş bir parametre uzayını kapsayan ve başlangıç test matrisinde yer almayan noktaları içermektedir. Aday noktalar, tasarım uzayının sık taranması ile elde edilmelidir, böylece parametre kombinasyonlarının daha ayrıntılı bir taraması yapılmalıdır. Bu aday noktalar, modelin belirsizlik değerlerine göre değerlendirilir ve en bilgilendirici olanları seçilir.

Doğrulama Matrisinin Oluşturulması: Doğrulama test noktaları belirlenirken ilk test matrisinin belirlendiği gibi faktöriyel tasarım kullanılmıştır. Bu matrisin oluşturulma amacı modelin performansını takip edip testleri durdurmaktır. Bunun için doğrulama test noktaları tasarım uzayının iç noktalarına dağılacak şekilde seçilmelidir.

Modelleme

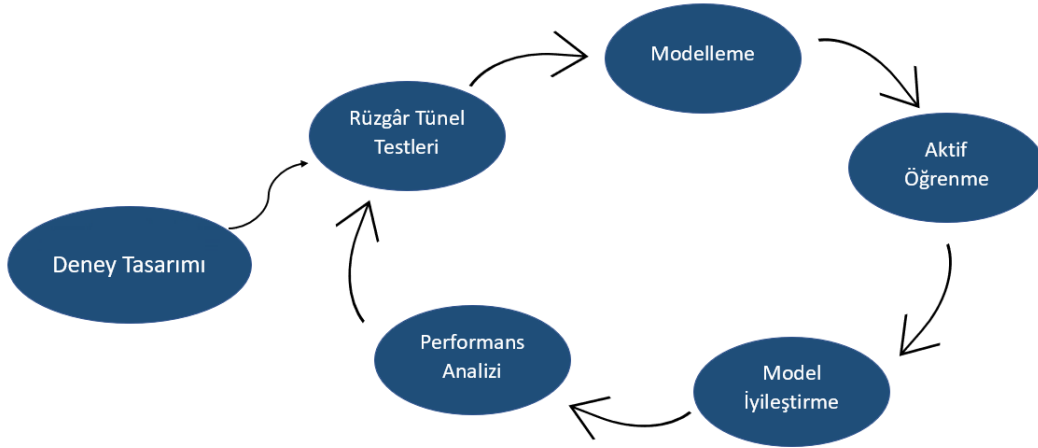
Modelleme, bir sistemin veya sürecin davranışını matematiksel, fiziksel veya bilgisayar tabanlı bir model kullanarak taklit etme çalışmasıdır. Bu yöntem, sistemin farklı koşullar altındaki performansını tahmin etmeyi ve optimize etmeyi amaçlar, böylece gerçek dünya sistemlerine ilişkin öngörülerde bulunma ve karar verme süreçlerini hızlandırmaya çalışır. Bu yöntemde, başlangıç test sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak makine öğrenimi modelleri oluşturulur. Bu modeller, test sonuçlarını kullanarak aerodinamik katsayıların performansının tahmin edilmesini sağlar ve her döngü tamamlandığında tekrar edilerek model performansları takip edilir.

Makine Öğrenimi Modelleri: Makine öğrenimi modelleri, karmaşık ilişkileri öğrenme ve tahmin etme yeteneğine sahip modellerdir. Kullanılacak verinin büyüklüğüne göre lineer regresyon modeli, rastgele orman modeli, karar ağacı modeli ve yapay sinir ağı modelleri gibi yöntemler tercih edilebilir. Bu çalışmada, rüzgar tüneli test verilerinden elde edilen aerodinamik kuvvetler ve momentler gibi çıktıları tahmin etmek için birden fazla modelleme yöntemi kullanılmış olup belirsizlik örnekleme yöntemine girdi olarak kullanılmıştır.

Model Eğitimi ve Optimizasyonu: Model eğitimi sürecinde, başlangıç test sonuçları kullanılarak makine öğrenmesi modelleri eğitilir. Her bir model, aday havuzu için farklı bir tahmin üretir. Eğitilmiş modellerden elde edilen tahminler kullanılarak belirsizlikler elde edilir ve yeni test noktalarını belirlemek için kullanılır. Doğrulama matrisinin tahminleri ile gerçek değerleri kullanılarak model performansları takip edilir.

Aktif Öğrenme

Aktif öğrenme, makine öğrenimi modellerinin eğitim sürecinde en bilgilendirici verileri seçerek öğrenme sürecini hızlandırmayı amaçlayan bir yöntemdir. Bu çalışmada, aktif öğrenme yöntemi



Şekil 2: Yöntem Akış Şeması

olarak belirsizlik örnekleme kullanılmıştır. Belirsizlik örnekleme, modelin en az emin olduğu tahminlere dayalı olarak yeni test noktalarını seçer.

Belirsizlik Örnekleme: Belirsizlik örnekleme, modelin tahmin ettiği belirsizlik seviyelerine göre yeni test noktalarını belirler. Bu çalışmada, farklı makine öğrenmesi modellerinin tahminleri kullanılmıştır. Bu yöntem, her modelin tahmin belirsizliklerini değerlendirerek en yüksek belirsizliğe sahip aday noktalarını belirler. Bu belirsizlikler, yeni test noktalarının seçiminde kullanılır ve bu sayede modelin doğruluğu artırılır [Settles, 2012].

Yeni Test Noktalarının Belirlenmesi: Bu aşamada, belirsizlik örnekleme yöntemi kullanılarak aday nokta havuzundan yeni test noktaları belirlenir. Bu noktalar, modelin tahmin belirsizliklerine dayalı olarak seçilir ve rüzgar tüneline test edilir. Yeni test sonuçları, modelin eğitim verilerine eklenir ve model yeniden eğitilir. Bu döngü, modelin doğruluğunu sürekli olarak artırmayı hedefler.

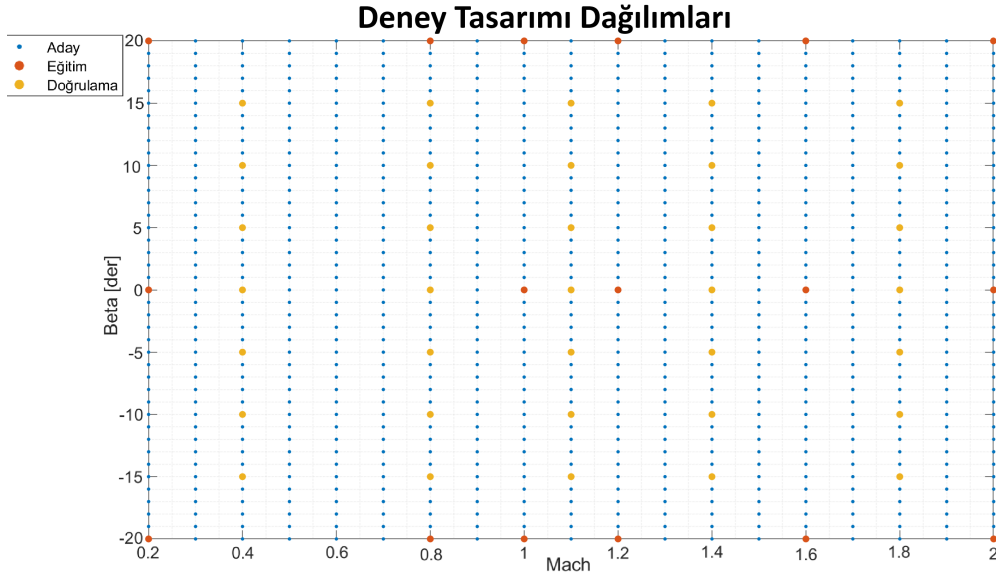
Döngüsel Öğrenme ve Seçim Süreci Yöntemin son aşaması, döngüsel öğrenme ve seçim sürecidir. Bu süreçte, her yeni test sonucundan elde edilen bilgilerle model güncellenir ve belirsizlik örnekleme yöntemiyle yeni test noktaları belirlenir. Bu döngü, modelin sürekli olarak iyileştirilmesini ve test sürecinin en iyilenmesini edilmesini sağlar.

Model Doğrulama ve Test Noktalarının Seçimi: Model doğruluğunu değerlendirmek için, deney tasarımı yöntemleri kullanılarak doğrulama test noktaları seçilir. Bu noktalar, modelin tahmin performansını test etmek amacıyla kullanılır. Doğrulama test sonuçları, modelin genel performansını ve doğruluğunu belirlemek için analiz edilir.

Testler döngüsel bir şekilde tamamlanır ve her döngüde yeni test noktaları seçilir. Bu işlem, modelin performansı istenen seviyeye ulaşana kadar devam eder. Yöntemin uygulanma sıralaması akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Önerilen yöntem, çeşitli rüzgar tüneli çalışmalarında uygulanabilir. Bu yöntemin, klasik deney tasarımı yöntemlerine kıyasla daha az test sayısıyla daha yüksek doğrulukta bir model elde etmesi beklenmektedir. Önerilen yöntem ile düşük ölçekli bir aerodinamik veri tabanı üzerine çalışma



Şekil 3: Başlangıç Deney Tasarımları

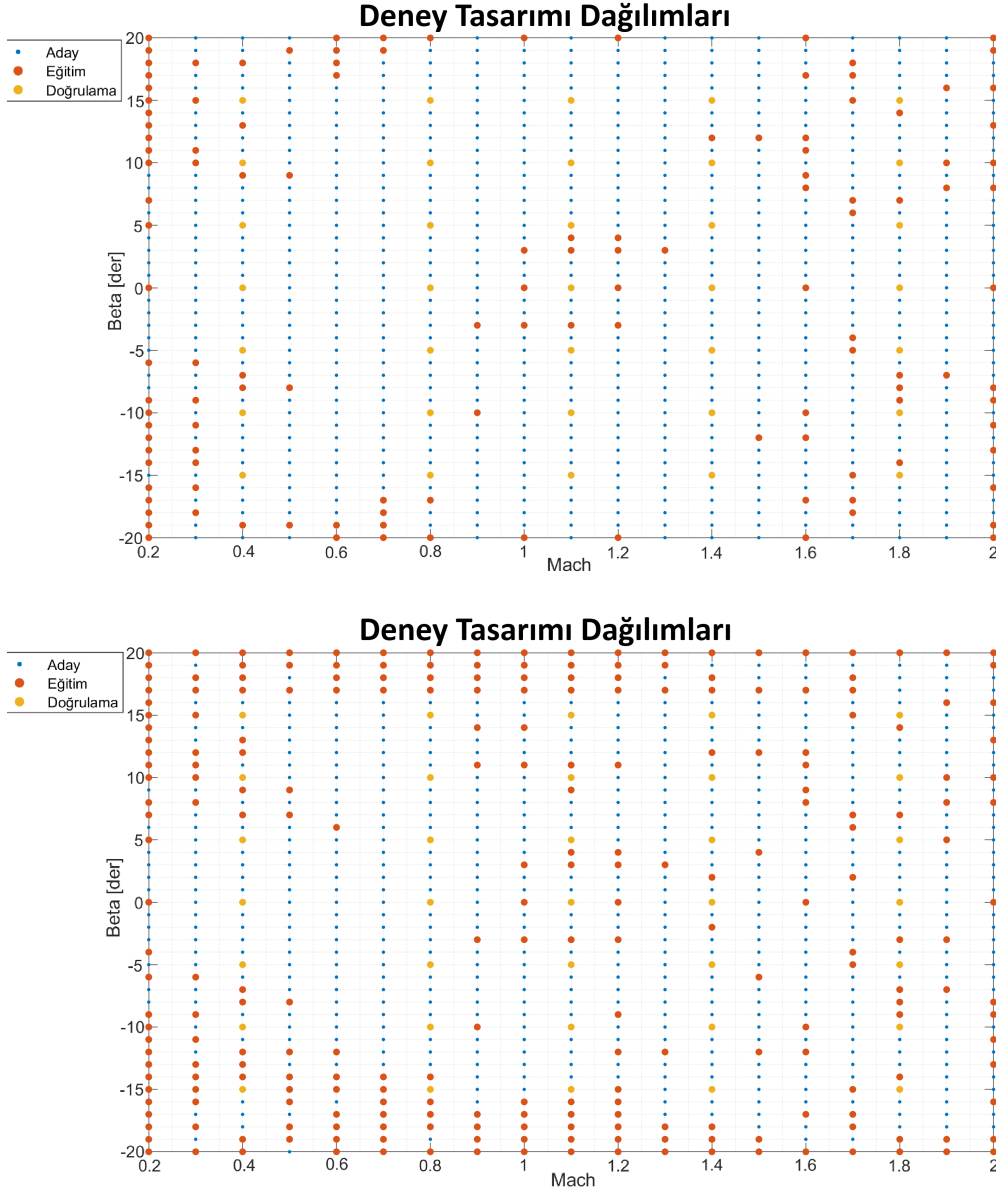
yapılmıştır. Bu düşük ölçekli veri tabanını elde etmek için yarı empirik analiz aracı olan DATCOM aracı kullanılmış ve farklı Mach, hücum açıları ve yana kayma açıları için katsayılar elde edilmiştir. Kontrol yüzeyleri olan aileron, elevatör ve rudder sabit kabul edilmiştir. Rüzgar tüneli taramalarının hücum açısı taraması şeklinde olacağı varsayıp tarama boyunca sabit mach ve yana kayma açıları kullanılmıştır.

Deney Tasarımı

Bu çalışmada gerçekleştirilen 3 farklı matris için girdi bazlı deney tasarımı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu matrisler ilk test matrisi, doğrulama matrisi ve aday havuzu matrisidir. Bu çalışmada düşük ölçekli bir veri tabanı kullanıldığı için faktöriyel tasarımlar kullanılmıştır. İlk test matrisi seçilirken tasarım uzayının sınırlarından ve merkezinden noktalar seçilmeye çalışılmıştır. doğrulama noktaları için ise uzay içerisinde genel olarak bilgi alınabilecek ve iç noktalarda kalacak noktalar seçecek şekilde belirlenmiştir. Aday havuz noktaları ise tasarım uzayı içerisine eşit bir şekilde dağıtılıp tasarım uzayının tamamı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Deney tasarımı sonuçlarına Şekil 3 ile ulaşılabilir.

Döngüsel Modelleme ve Aktif Öğrenme Sonuçları Bu çalışmanın ana amacı, en az sayıda rüzgar tüneli testi ile yunuslama momenti (C_m) katsayısından yeterli tahmin performansı elde etmektir. Bunu elde etmek için, her döngü için doğrulama test matris sonuçları, gerçek zamanlı model tahminleri ile karşılaştırılır ve determinasyon katsayısı (R^2) ve ortalama kare hatası (MSE) açısından istatistiksel performansları izlenir. Modelleme çalışmaları için, makine öğrenimi modellerini oluşturmak amacıyla MATLAB® (sürüm 2022b) kullanılmıştır. Belirsizlik örnekleme yöntemi, aday havuz noktalarının belirsizliklerini tahmin etmek için modellere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, farklı yapılandırmalara sahip modeller kullanılmıştır.

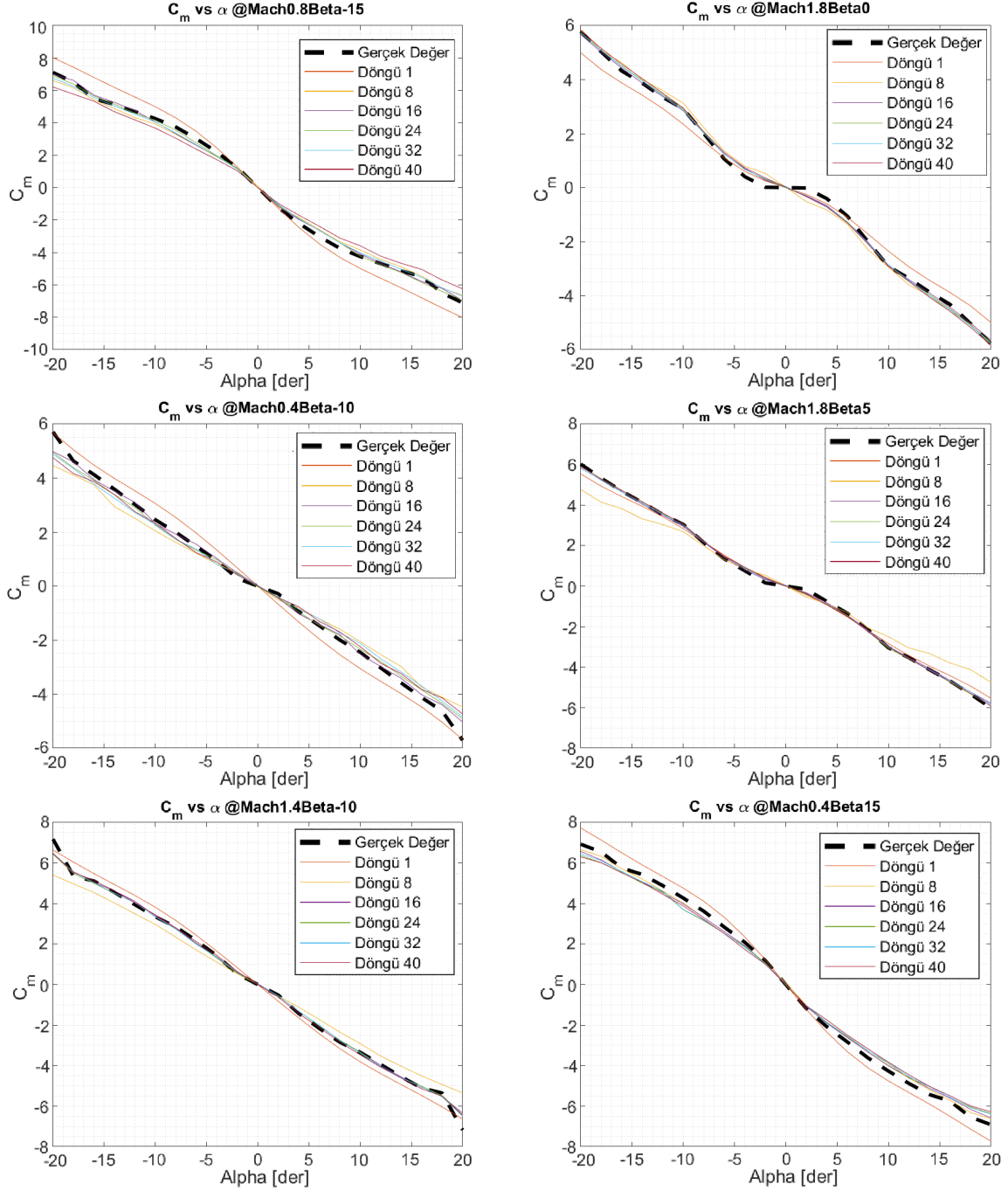
İlk modellerin oluşturulmasının ardından, aday havuzdaki tüm test noktaları tahmin edilir ve bu test noktalarının belirsizlik değerleri hesaplanır. Daha sonra elde edilen sonuçlar, tahmin performansını artırmak için aday havuzundan en bilgilendirici noktaları seçmek için değerlendirilir. Döngüsel süreç, istenen tahmin performansına veya belirlenen en fazla test sayısına ulaşılan kadar her yinelemeden sonra devam eder ve incelenen çalışmada 40. yineleme tamamlandığında model performansı istenilen seviyeye ulaştığı için sonlandırılır. Aktif öğrenme tarafından yapılan test



Şekil 4: 20. ve 40. Döngüden sonra gerçekleşen Test Noktaları

seçimlerini gözlemek amacıyla, modeller, döngü sonlarında eğitim, aday havuz ve doğrulama test noktaları görüntülenir ve yeni test noktaları takip edilir. 20. ve 40. yinelemelerden sonra test noktalarının sonuçları Şekil 4 ile verilmiştir.

Ortalama makine öğrenmesi modellerinin doğrulama test noktaları için tahmin performansları, Aktif Öğrenme algoritmasının ara döngüleri için Tablo 2 ile gösterilmiştir. Rüzgar tüneli testleri devam ettikçe, istatistiksel değer (R^2) sonunda 1'e, MSE değeri ise sonunda 0'a yakınsar. Ek olarak, belirli bir döngü sayısından sonra iyileşme sona erer. Bu noktada, her döngü için istatistiksel olarak en iyi performans gösteren modelin tahminleri, doğrulama test noktaları için gerçekleştirilen rüzgar tüneli çalışmalarıyla karşılaştırılır. Tahmin performansındaki iyileştirmeleri takip edebilmek için Tablo 2 ile verilen döngü tahminleri gözlemlenmiştir. Rasgele seçilen doğrulama taramalarının hücum açısı yönündeki sonuçları Şekil 5 ile görülebilir. Sonuçlarda da görüldüğü üzere her ilerleyen döngü ile birlikte modellerin doğrulama taramalarındaki tahminleri gerçek test sonucuna yakınsamaktadır.



Şekil 5: Rastgele Seçilmiş Doğrulama Test Noktaları için Sonuçlar

Table 2: Ortalama Model Tahmin Performansları

Döngü Sayısı	R^2	MSE
1	0.9022	0.3241
8	0.9613	0.2055
16	0.9826	0.1213
24	0.9913	0.0563
32	0.9942	0.0321
40	0.9979	0.0264

Sonuç olarak, eğer gerçek bir rüzgar tüneli test süreci olsaydı, modellerin istatistiksel olarak yeterli tahmin performanslarına sahip olması ve modellerin tahminlerinin doğrulama rüzgar tüneli testleriyle karşılaştırılmasının tatmin edici sonuçlar vermesi nedeniyle rüzgar tüneli testleri 40. yinelemeden sonra durdurulabilirdi.

SONUÇ

Bu bildiri, hava araçları için rüzgar tüneli testlerini iyileştirmeyi amaçlayan yeni bir yöntemi sunmaktadır. Bu yöntemin amacı, aerodinamik katsayılar için modellerin tahmin performansını korurken gerekli test sayısını en aza indirmektir. Yaklaşım, deney Tasarımı, makine öğrenmesi modelleri ve belirsizlik örnekleme yöntemiyle aktif öğrenmenin entegrasyonunu içermektedir.

Çalışmanın bulguları, kullanılan yöntemlerin istenilen performansı sağladığını göstermektedir. Deney tasarımı, test noktalarının etkin bir şekilde belirlenmesini sağlamış, Modeller, aerodinamik performansın tahmin edilmesinde yüksek doğruluk göstermiş ve aktif öğrenme, yeni test noktalarının stratejik olarak seçilmesine olanak tanımıştır. Bu entegre yaklaşım, rüzgar tüneli test sürecinin daha verimli ve maliyet etkin hale getirilmesini sağlamıştır.

Rüzgar tüneli deneylerinin azaltılmasına ilişkin sağlam sonuçlar elde etmek için daha fazla araştırma ve doğrulama gerekmesine rağmen, bu çalışmanın bulguları büyük bir potansiyel göstermektedir. Entegre yaklaşım, test sürecini daha verimli hale getirebilir, hava aracı sistemlerinin geliştirilmesini hızlandırabilir ve uçuş rejiminin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak tanıyabilir. DOE, gerçek zamanlı modelleme ve aktif öğrenmenin avantajları kullanılarak, aerodinamik karakterizasyon daha etkili bir şekilde gerçekleştirileceğine yönelik güçlü bir potansiyel taşımaktadır.

Kaynaklar

- Cook, M. V.,2007 *Flight Dynamics Principles: A Linear Systems Approach to Aircraft Stability and Control*, Elsevier Aerospace Engineering Series, USA,
- Crombecq, K.,2011 *Surrogate modeling of computer experiments with sequential experimental design*, Elsevier Aerospace Engineering Series, USA,
- DeLoach, R., 1998. *Applications of modern experiment design to wind tunnel testing at nasa langley research center*, 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit
- DeLoach, R., Lo, C. F. ve Zhao. J. L., 2000. *Application of neural networks to wind tunnel data response surface methods*, AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference
- Savas, O., Topbas, E., Unal, K., Karaca, H. D., ve Kutay, A. T., 2018. *Experimental design and statistical modeling methodology for wind tunnel aerodynamics of an agile missile to improve the simulation accuracy and performance*, AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference.
- Settles, B., 2012. *Active Learning*, Morgan & Claypool Publishers.
- Topbaş, E., Yavuztürk, V. N., ve Savaş, O., 2020. *An Approach to Cost-Effective Wind Tunnel Test Campaign Using Experimental Design and Real-Time Modeling for a Single Use Autonomous Air Vehicle*, AIAA Scitech 2020 Forum