

İHA-3 SINIFI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN PİST SONU YAKALAMA AĞI SİSTEMİ TASARIMI VE YAPISAL ANALİZİ

Hilal Dilek¹ ve Ceyhun Tola²
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara

ÖZET

İnsansız hava araçları özellikle yer gözlem ve askeri operasyonlar olmak üzere birçok riskli görevde kullanılmaktadır. Geleneksel hava araçlarına göre genellikle daha küçük ve hafif olan sabit kanatlı insansız hava araçlarının iniş kalkış sırasında ihtiyaç duyduğu pist uzunlukları da kısadır. Ancak bu durum olumsuz hava koşullarında gerçekleştirilen inişlerde insansız hava aracının pistten çıkarak kırığa uğraması ve etrafa zarar vermesi risklerini de beraberinde getirmektedir. Çalışma kapsamında, 300 kg maksimum iniş ağırlığına sahip insansız hava araçlarını olumsuz hava koşullarının oluşturduğu düşük sürtünme katsayısına sahip pist koşullarında frenleme mesafesinin yetersiz kalması durumunda; 5 m/s hızla karşılayarak 2 saniye içerisinde mümkün olan en az hasar ile durdurabilecek bir yakalama ağı sistemi tasarlanmış ve sistemin yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarlanırken mümkün olduğunca taşınabilir, kolay kurulabilir ve ekonomik olmasının yanı sıra, yapısal açıdan da 300 kg'lık maksimum iniş kütlesine sahip bir insansız hava aracını acil durumda durdurabilecek mukavemette olmasına öncelik verilmiştir. Yapısal analizler, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Abaqus ticari yazılımında gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçların ileriki çalışmalarda kullanılarak tasarımın yapısal dayanım ve taşınabilirlik bakımından iteratif olarak optimize edilmesi hedeflenmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde kullanılan İnsansız Hava Araçları (İHA), yerden kontrol edilebilen ve otomatik kontrol sistemine sahip, içerisinde pilot ya da yolcu barındırmayan, yer gözlem ya da askeri operasyon ve benzeri yüksek riskli görevlerin pilot yaşamı tehlikeye atılmadan gerçekleştirilmesine olanak sağlayan, gelişmiş hava araçlarıdır. İHA sistemleri pilot barındırmadıkları için kokpit içermezler; dolayısıyla, geleneksel hava araçlarına göre genellikle daha küçük boyutlu ve daha düşük kütleye sahiptirler. Ayrıca bu sistemler taşıdıkları yakıt miktarına, gerçekleştirdikleri görev türüne ve bulundukları faydalı yükün kütlesine ve boyutlarına bağlı olarak oldukça uzun süre havada kalabilme yeteneğine sahiptirler. İHA'lar ağırlıkları göz önüne alınarak İHA-0, İHA-1, İHA-2 ve İHA-3 olmak üzere 4 alt kategoriye ayrılmışlardır. Ağırlığı 4 kg'dan daha düşük olan İHA'lar, İHA-0; 4 kg'dan 25 kg'a kadar olan İHA'lar İHA-1; 25 kg'dan 150 kg'a kadar olan İHA'lar İHA-2; 150 kg ve üzeri ağırlığa sahip olan İHA'lar İHA-3 kategorisi olarak isimlendirilir. Ülkemizde askeri amaçla kullanılan ve yaklaşık 1 gün boyunca kesintisiz görev yapabilen İHA'ların birçoğu İHA-3 kategorisindedir (Şekil 1).

Sabit kanatlı İHA'lar geleneksel hava araçlarına göre genellikle daha hafif oldukları için kalkış ve iniş sırasında ihtiyaç duydukları pist mesafesi görece daha kısadır. Ancak olumsuz hava koşullarında pistte biriken su veya kuyruk rüzgârı gibi olumsuzluklar İHA'ların iniş sırasında ihtiyaç duydukları frenleme mesafesini artırarak hava aracının pistten çıkmasına yol açabilir.

¹ Uçak Müh. Böl. Öğrencisi, E-posta: hilaldilek21@gmail.com

² Dr. Öğr. Üyesi, Uzay Müh. Böl., E-posta: ctola@thk.edu.tr



Vestel Karayel



Anka

Şekil 1: Ülkemizde Görev Yapmakta Olan Bazı İnsansız Hava Araçları.

Olumsuz hava koşullarında ortaya çıkan pist şartlarının hava aracının kırılma uğramasına ve ayrıca varsa pist sonunda bulunan yapılara hasar vermesini engellemek amacıyla hava aracı yakalama sistemleri kullanılmaktadır. Pist uzunluğunun iniş koşullarında yetersiz kaldığı durumlar için yakalama sistemlerinin tasarlanması gerektiği fikri ilk olarak hava araçlarının gemilere inebilmesine olanak sağlamak amacıyla ortaya atılmıştır. Bir mühendis ve aynı zamanda bir pilot olan Hugh Robinson tarafından tasarlanan yakalama kablo sistemi Eugene Ely isimli pilotun 18 Ocak 1911 tarihinde USS Pennsylvania (ACR-4) gemisinin güvertesine inmesini sağlamıştır [Mirela, Alexandru ve Bogdan, 2019]. Günümüzde uçak gemilerine iniş yapan hava araçlarının pistten çıkarak denize düşmelerini veya park durumundaki uçaklara çarpmasını engellemek amacıyla farklı emniyet sistemleri kullanılmakta olup bunlardan en iyi bilinenler: Yakalama Kablosu ve Yakalama Ağı'dır (Şekil 2).



Yakalama Kablosu

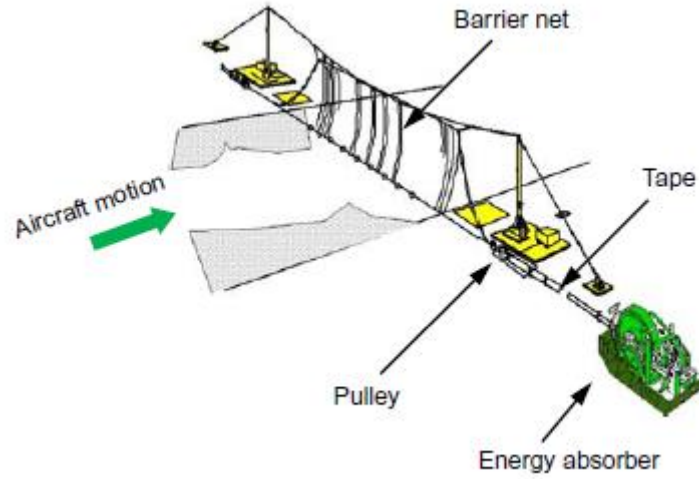


Yakalama Ağı

Şekil 2: Uçak Gemilerinde Kullanılan Hava Aracı Yakalama Sistemleri.

Hava aracının kablo ile yakalanması işlemi, uçak gemisi güvertesine iniş yapan pilotun güverte üzerine konumlandırılmış bir dizi kablodan herhangi birini hava aracının gövde arkasında bulunan kanca yardımıyla yakalaması ve bu sayede hava aracının durdurulması sonucunda tamamlanır. Yakalama ağı ise pilotun kancayı yakalayamaması durumunda hava aracının denize düşmesine ya da diğer araçlara çarpmasına engel olma amacıyla kurulan bir ağ sistemidir.

Literatürde hava aracı yakalama sistemlerinin geliştirilmesi üzerine farklı araştırmalar yürütülmüştür. Thomlinson tarafından yürütülen öncü çalışmada, kablo tarafından yakalanan kancayı kontrol etmek için gerekli olan sönümleme kuvveti, yakalama sürecinde kablounun hareketi ve davranışı, kancanın yeterince katı (rijit) olduğu varsayımı altında, kinematik denklemlerin çözümüyle analitik olarak incelenmiştir [Thomlinson, 1957]. Mikhaluk ve beraberindekiler, uçak gemisi gövdesine 200 – 240 km/saat hızla inen savaş uçaklarını yakalayıp hidrolik pistonlar yardımıyla frenleyecek bir yakalama kablo sisteminin matematiksel ve sayısal (sonlu elemanlar yöntemi) modellerini hazırlayarak çözmüşler, bu sayede mevcut tasarımın optimize edilmesini sağlamışlardır [Mikhaluk, Voinov ve Borokov, 2008]. Yan ve ekibi, hava aracı yakalama ağı sistemini doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişler ve analiz sonuçlarını test sonuçları ile doğrulamışlardır [Yan, Deng ve Hui, 2012]. Şekil 3'te Yan ve beraberindekiler tarafından tasarlanmış olan bir yakalama ağı sistemi görülmektedir.



Şekil 3: Örnek Bir Hava Aracı Yakalama Ağı Sistemi [Yan, Deng ve Hui, 2012].

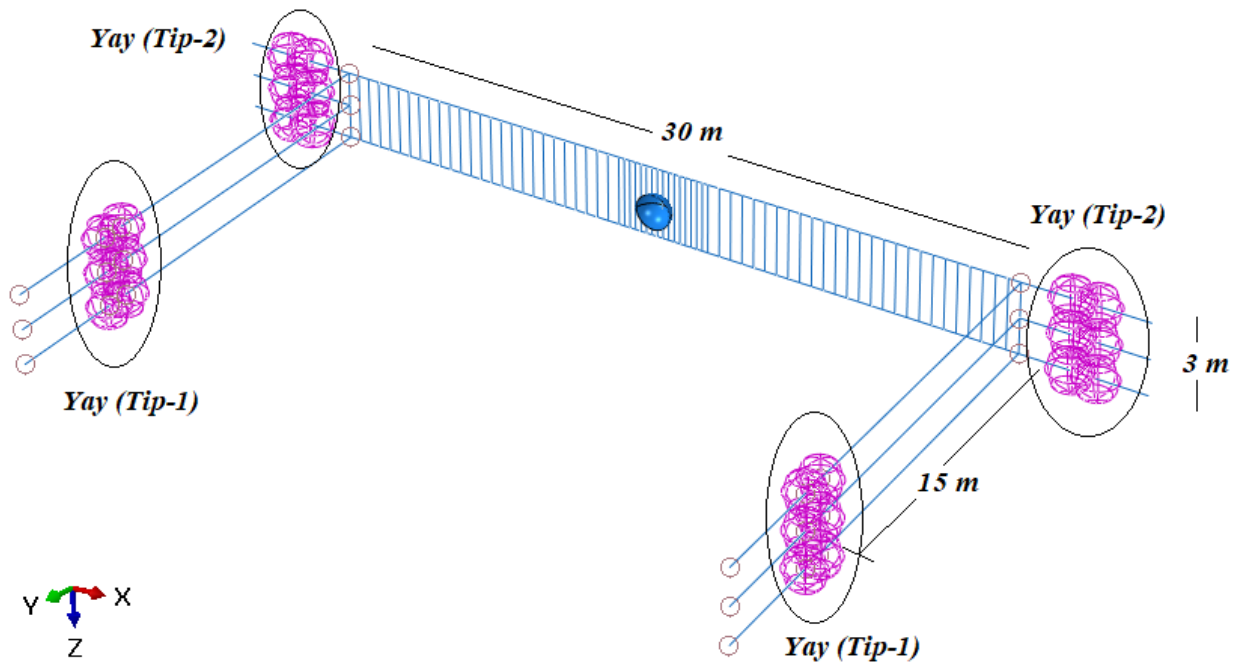
Shen ve beraberindekiler, hava aracı yakalama kablosu üzerinde gerilme değerlerini elde etmek amacıyla sistemi değişken adımlı çoklu cisim dinamiği problemi olarak çözümlemişlerdir [Shen, Zhao, Ren ve Liu, 2013]. Xu ve ekibi, yakalama sistemlerinde kullanılan yakalama kablolarının kanca ile temas durumunu 3 boyutlu ve 6 serbestlik dereceli elemanlar kullanarak modellemiş; bu sayede yüksek hızda yakalama senaryosu için yüksek doğrulukta sonuçlar elde eden bir yöntem geliştirmişlerdir [Xu, Dong, Zhang ve diğerleri, 2014]. Yang ve beraberindekiler hazırlamış oldukları gözden geçirme çalışması kapsamında, son yıllarda Amerikan Federal Havacılık Dairesi'nin (FAA) ticari yolcu jetlerini olumsuz hava koşullarında pistten çıkma durumuna karşı engelleyecek sistemlerin geliştirilmesi ve montajına öncelik verdiğini belirtmiş ve bu kapsamda pist sonlarına bazı havaalanlarında EMAS (Engineered Material Arresting System) adı verilen yavaşlatma ve durdurma sistemlerinin kurulduğunu belirtmişlerdir [Yang, Zhang, Sun ve diğerleri, 2018].

Yakalama sistemleri üzerine uzun yıllardır yürütülen birçok çalışmadan da görüleceği üzere bu tür sistemler iniş mesafesinin yetersiz olduğu ya da olumsuz hava koşullarının güvenli inişi tehdit ettiği durumlarda kritik öneme sahiptir. Ülkemizde son yıllarda büyük gelişme gösteren İHA sistemlerinin olumsuz hava koşullarında pistten çıkmalarına engel olarak onları kırımdan kurtaracak ve pist sonundaki olası yapı/araçların zarar görmesini engelleyecek gelişmiş sistemler bulunmamaktadır. İHA'ların ticari yolcu uçakları ve savaş jetlerine göre çok daha hafif oldukları ve daha düşük hızlarda iniş yaptıkları göz önüne alındığında hidrolik sönmüleme sistemi ve benzeri maliyetli, ağır ve karmaşık sistemlerin bu amaçla kullanılmasına gerek olmayacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında, 300 kg maksimum iniş ağırlığına sahip İHA'ları olumsuz hava koşullarının oluşturduğu düşük sürtünme katsayısına sahip pist koşullarında frenleme mesafesinin yetersiz kalması durumunda 5 m/s hızla hava aracını karşılayarak 2 saniye içerisinde mümkün olan en az hasar ile durdurabilecek bir yakalama ağı sisteminin tasarlanarak yapısal açıdan analiz edilmesi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yakalama ağının mümkün olduğunca hafif, taşınabilir, kolay kurulabilir ve ekonomik olmasının yanı sıra, yapısal açıdan da 300 kg'lık maksimum iniş kütlesine sahip bir İHA'yı acil durumda durdurabilecek mukavemette olmasına öncelik verilmiştir.

SONLU ELEMANLAR MODELİ

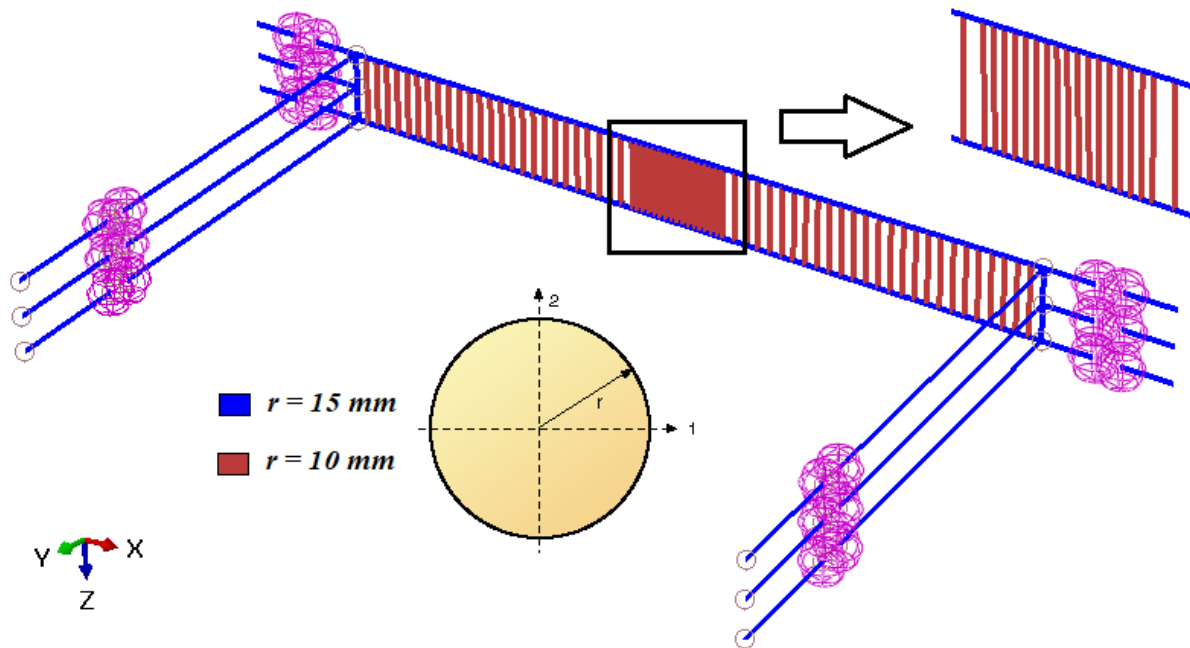
Çalışma kapsamında tasarlanan yakalama ağı sistemi Şekil 4 'te gösterilmiştir.

Tasarım ve analizler Abaqus ticari sonlu elemanlar yazılımında gerçekleştirilmiştir. Yakalama ağı 30 m genişliğinde ve 3 m yüksekliğindedir. Yapısında 12 adet yay kullanılmıştır. Şekil 4'te "Tip-1" olarak gruplanan yayların her biri 10000 N/m, "Tip-2" olarak gruplanan yayların her biri 5000 N/m yay katsayısına sahiptir. Tasarımdaki tellerin çelikten üretilmesi planlanmıştır.



Şekil 4: Tasarlanan Yakalama Ağı Sistemi.

Şekil 5'te kırmızı ile temsil edilen bölgeler 10 mm yarıçapa, lacivert ile temsil edilen bölgeler de 15 mm yarıçapa sahip dairesel profilleri temsil etmektedir.



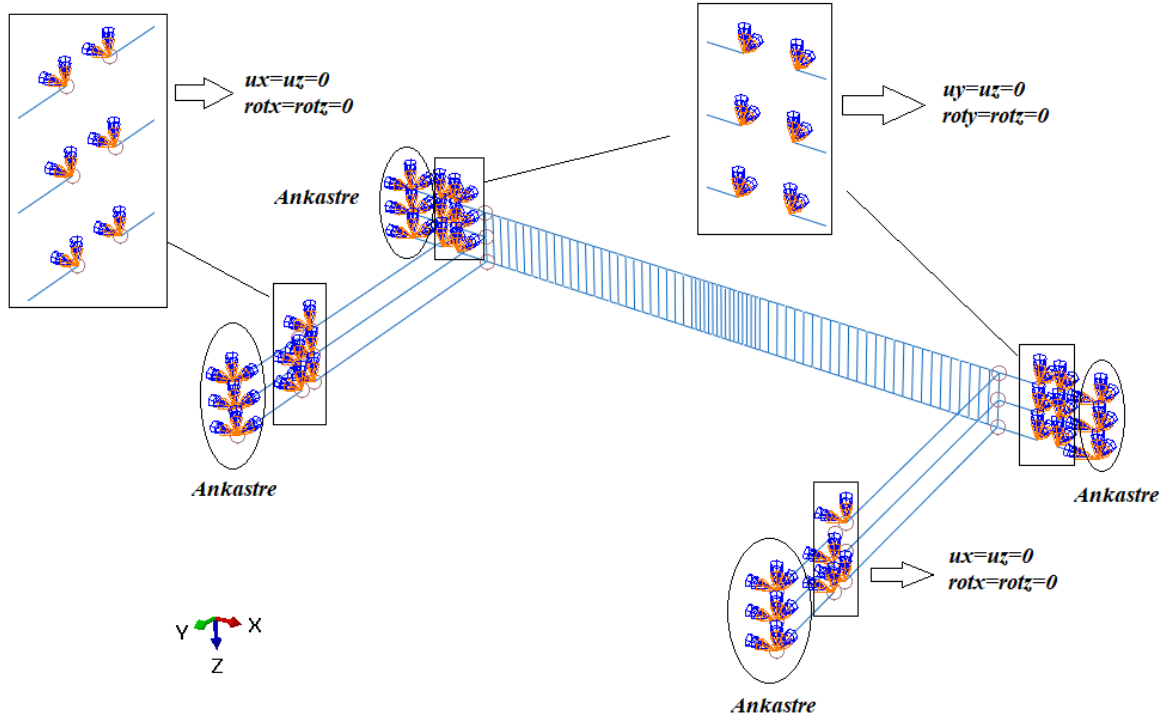
Şekil 5: Yakalama Ağı Sisteminin Kesit Özellikleri.

Tasarımın ortalama özelliklere sahip bir çelikten imal edileceği öngörülmüştür. Bu sebeple yapısal analiz modelinde Tablo 1’de listelenen mekanik özellikler kullanılmıştır.

Tablo 1: Çelik Malzemesinin Ortalama Mekanik Özellikleri.

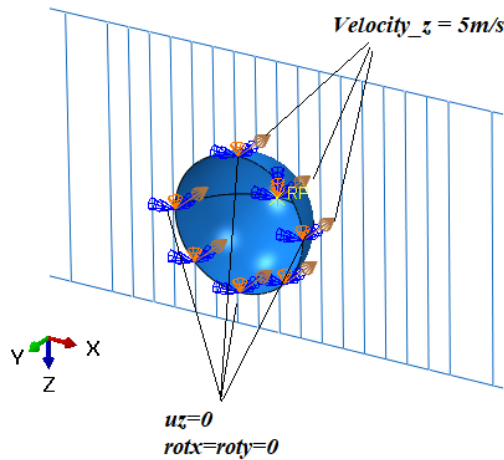
<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>	<i>Birim</i>
<i>Elastisite Modülü</i>	200	GPa
<i>Poisson Oranı</i>	0.3	-
<i>Yoğunluk</i>	7850	kg/m ³
<i>Akma Dayanımı</i>	350	MPa

Analiz senaryosunda maksimum 300 kg iniş ağırlığına sahip bir insansız hava aracını 5 m/s hızla karşılayarak 2 saniyeden kısa sürede durdurabilen bir sistemin yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 300 kg kütleyle sahip insansız hava aracını temsilen rijit bir burun geometrisi oluşturulmuş ve kütle değeri de 300 kg olarak tanımlanmıştır. Pistte yavaşlamaya çalışan bir uçağı temsil ettiği için burun geometrisine, gövde eksenine etrafında yuvarlanma hareketini yapmasını önleyecek şekilde sınır koşulları uygulanmıştır. Ağı geren tellerin uçları ankastre olarak sabitlenmiştir. Yaylar sadece uzama ve kısaltmalarına izin veren ancak eğilmeyi engelleyen dairesel muhafazalar içerisinde bulunduklarından, sadece ekstenel yönde uzamalarına izin veren sınır koşulları ile sınırlandırılmışlardır. Yakalama ağı modeli üzerine tanımlanan sınır koşulları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Yakalama Ağı için Uygulanan Sınır Koşulları.

Hava aracının burnunu temsil eden yarım küre üzerindeki sınır koşulları ve yükler Şekil 7'de gösterilmiştir.

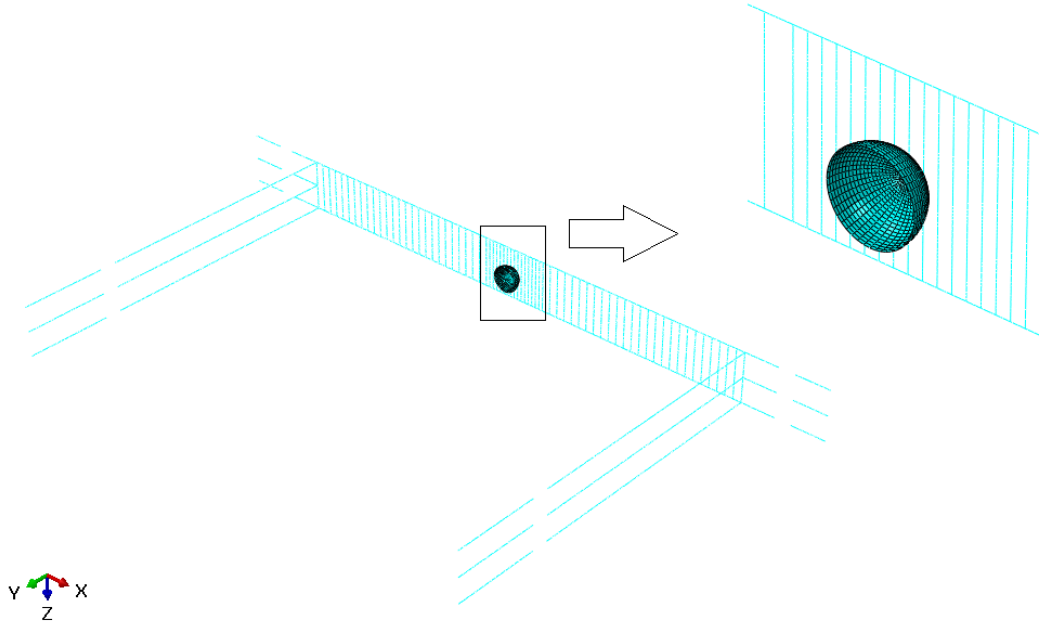


Şekil 7: Hava Aracı için Uygulanan Sınır Koşulları.

Şekil 7'deki sınır koşullarının uygulanması sırasında hava aracının tekerlerinin piste bastığı ve bu sebeple aracın yunuslama (İng. Pitch) ve yuvarlanma (İng. Roll) hareketlerinin ihmal edilebilir ölçüde küçük olacağı, ayrıca z yönünde hareket etmeyeceği varsayılmıştır. Modelde hava aracı

burnunun ağı her bölgesine temas edebileceği göz önüne alınarak genel temas tanımlanmıştır. Burun ile ağ sistemi arasındaki sürtünme katsayısının 0.1 olacağı varsayılmıştır.

Şekil 8’de yakalama ağı ve hava aracı temsili burun geometrisi için oluşturulan çözüm ağı gösterilmiştir.



Şekil 8: Çözüm Ağı.

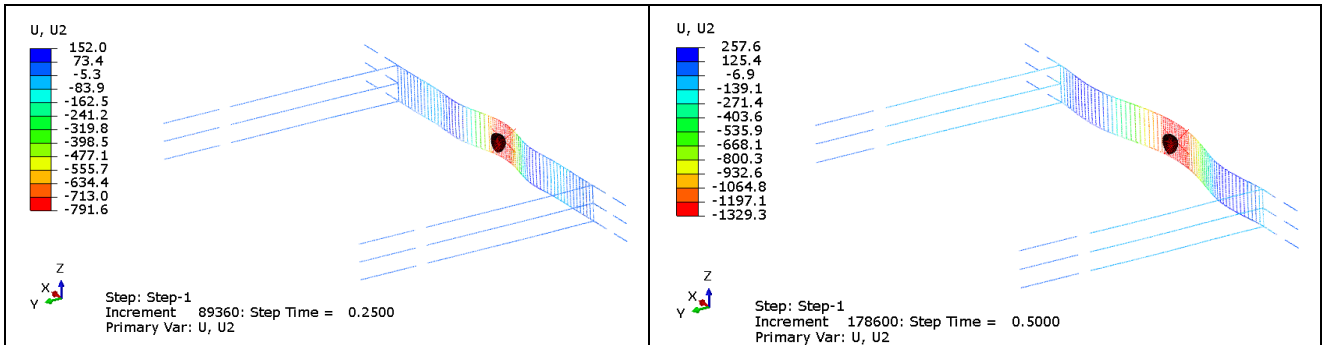
Çözüm ağı toplam 9380 düğüm noktası ve 5278 elemandan oluşmuştur. Çözüm ağında kullanılan eleman türleri ve özellikleri Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2: Çözüm Ağında Kullanılan Eleman Türleri.

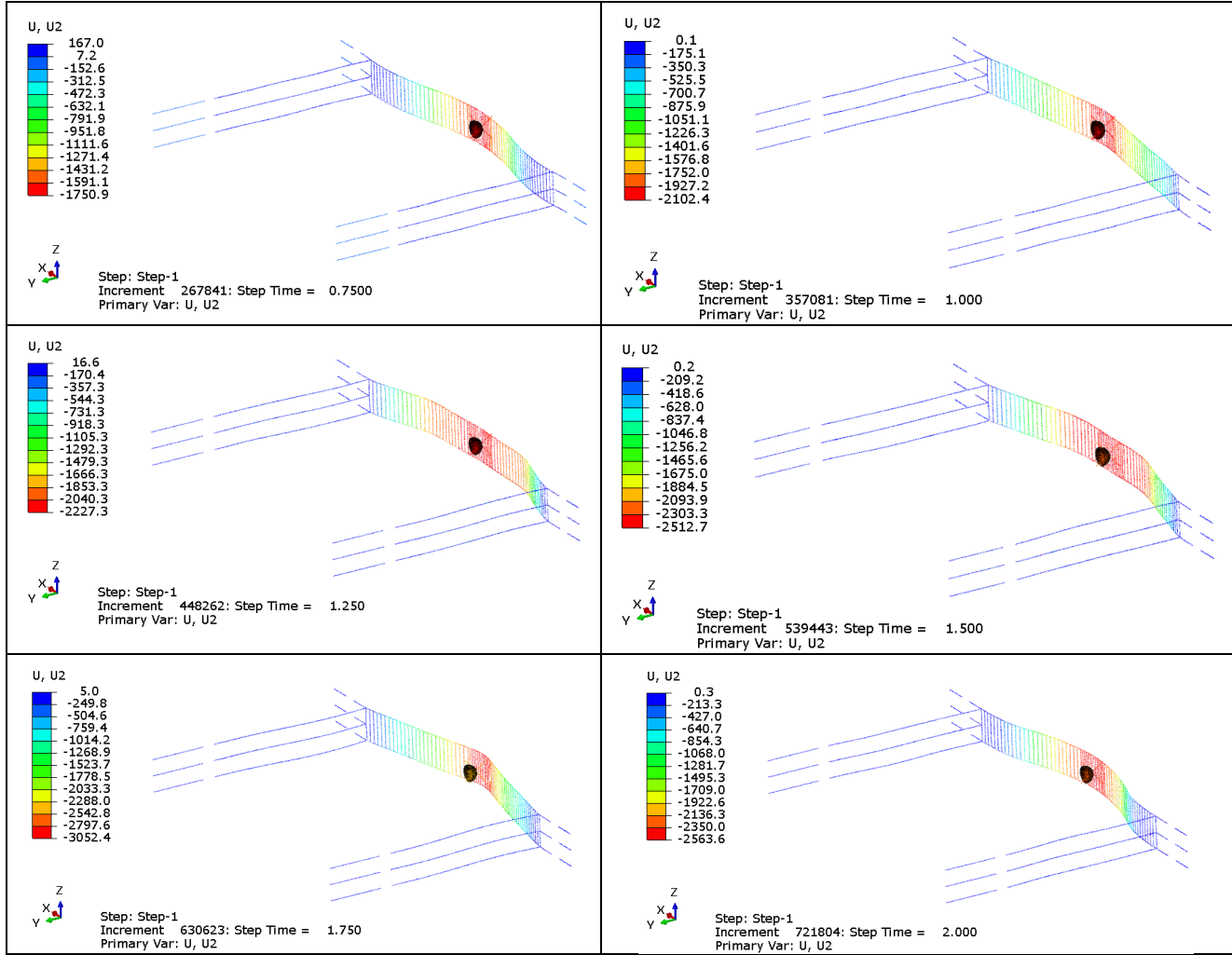
Parça	Eleman Türü	Eleman Adı	Eleman Sayısı	Düğüm Noktası Sayısı
Yakalama Ağı	Kuadratik Kiriş (Beam)	B32	4126	8203
Burun Geometrisi	Lineer Rijit Kabuk (Shell)	R3D4	1152	1177

ANALİZ SONUÇLARI

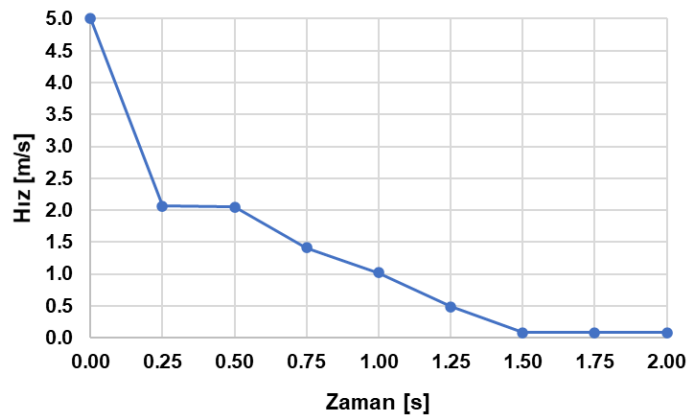
Temsili İHA burnunun rijit davranış gösterdiği varsayımı altında yakalama ağı üzerinde oluşacak gerilme kötümser olarak analiz edilmiştir. Analiz senaryosu 2 saniye boyunca çözdürülmüştür. Analiz sonuçlarından, yakalama ağı üzerindeki yer değiştirme ve Von Mises gerilme dağılımının zamana göre değişimi; ayrıca hava aracı hızının zamanla değişimi ve hava aracının kaç saniye içerisinde durduğu bilgisi elde edilmiştir. Şekil 9 ve 10’da yakalama ağına oluşan çarpma yönündeki deformasyonun zamana göre (0.25 saniye aralıklarla) değişimi gösterilmiştir.



Şekil 9: Yakalama Ağındaki Çarpma Yönündeki Deformasyonun Zamanla Değişimi (0.25s – 0.50s) [Zaman: saniye, Yer Değiştirme: mm].

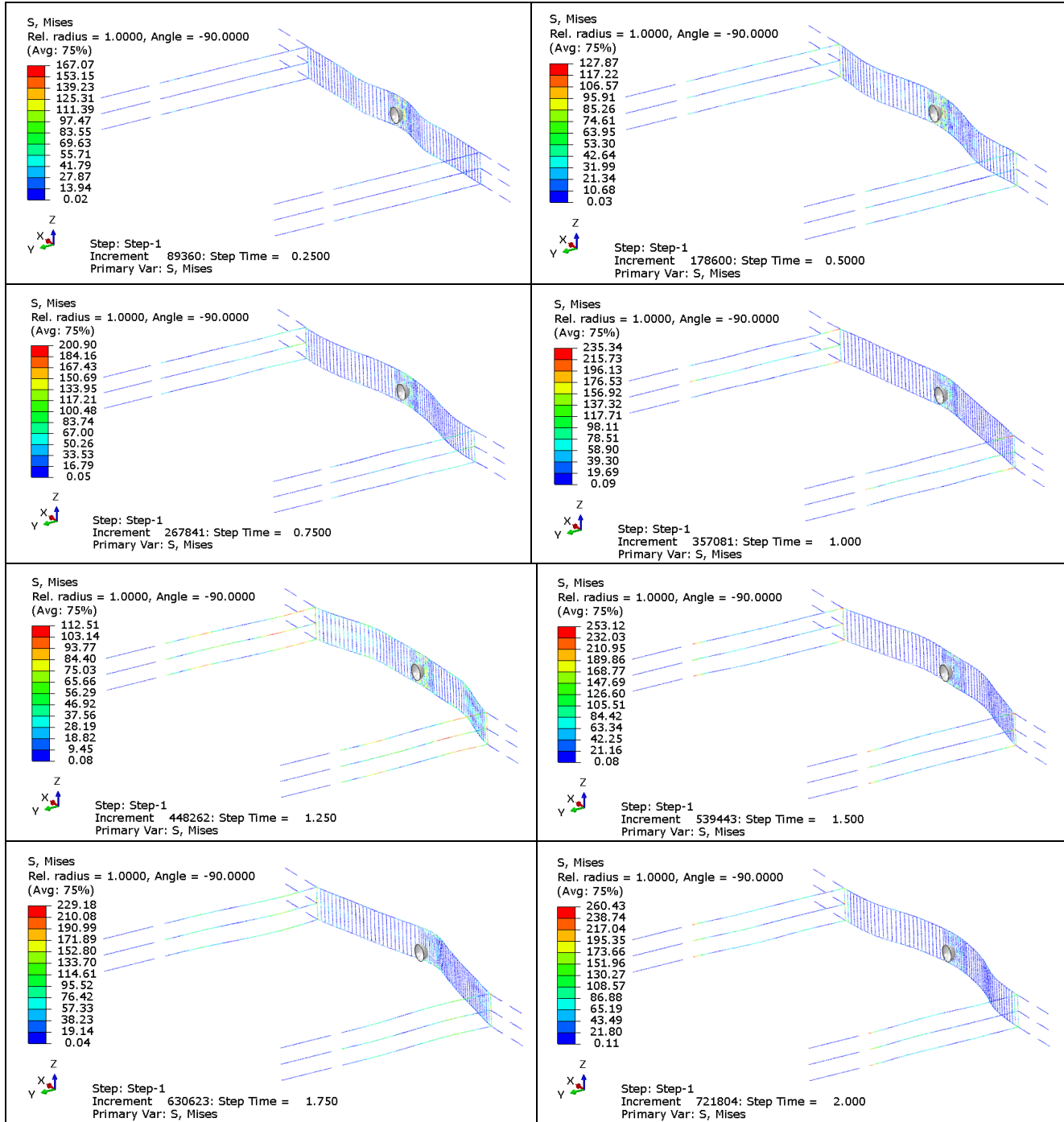


Şekil 9 ve 10 incelendiğinde ağ üzerinde oluşan deformasyonun başlangıçta (0.25. saniyede) çarpmanın gerçekleştiği bölgede olduğu, daha sonra yayların esnemesiyle birlikte ağ sistemine yayıldığı gözlenmiştir. Ağ sisteminde çarpma yönünde oluşan maksimum deformasyon miktarı çarpmanın 1.75. saniyesinde 3052.4 mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 1.75. saniyede yakalama ağı sisteminin 300 kg kütle ve 5 m/s hıza sahip hava aracını durdurduğu gözlenmiştir. Bu durum Şekil 10'dan gözlenebildiği gibi aynı zamanda hava aracı hızının zamana göre değişimini özetleyen Şekil 11'deki grafikten de incelenebilir.



Şekil 11: Yakalama Ağına Çarpan Hava Aracı Hızının Zamanla Değişimi.

Şekil 12’de çarpmanın etkisiyle yakalama ağındaki oluşan Von Mises gerilmesinin zamana göre (0.25 saniye aralıklarla) değişimi gösterilmiştir.



Şekil 12: Yakalama Ağındaki Von Mises Gerilmesinin Zamanla Değişimi (0.25s – 2.00s)
[Zaman: saniye, Gerilme: MPa].

Şekil 12 incelendiğinde, ağ üzerinde oluşan Von Mises gerilmesinin başlangıçta (0.25. saniyede) çarpmanın gerçekleştiği bölgedeki düşey tellerde olduğu, daha hareketin etkisiyle bağlantı kablolarına yayıldığı gözlenmiştir. Analiz süresi boyunca yakalama ağı üzerinde oluşan maksimum Von Mises gerilmesi 260.43 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme analizin 2. saniyesinde meydana gelmiş olup en yüksek gerilme, hava aracının hareketi yönünde esneyen yayların bağlantı noktalarında oluşmuştur. Tablo 1’de listelenen çelik özellikleri dikkate alındığında tasarlanan ağ yapısında herhangi bir plastik deformasyon oluşmadığı ve sistemin emniyet katsayısının $350 / 260.43 = 1.34$ olduğu hesaplanmıştır.

SONUÇ

Maksimum iniş ağırlığı 300 kg'ı geçmeyen insansız hava araçlarını olumsuz hava koşullarının oluşturduğu düşük sürtünme katsayısına sahip pist koşullarında frenleme mesafesinin yetersiz kalması durumunda; 5 m/s hızla karşılayarak 2 saniye içerisinde mümkün olan en az hasar ile durdurabilecek bir yakalama ağı sistemi tasarlanmış ve yapısal açıdan analiz edilmiştir. 30 metre eninde ve 3 metre yüksekliğindeki bu sistem yaklaşık 1950 kg kütleyle sahiptir. Bu sayede insansız hava araçları için tasarlanan farklı hava meydanlarına kolayca taşınabilir. Abaqus ticari yazılımında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre, analiz senaryosunda belirtilen hava aracını 1.75 s içerisinde maksimum 3052 mm deformasyona uğratarak durdurabilmekte ve bu süre zarfında herhangi bir plastik deformasyona uğramamaktadır (Emniyet katsayısı: 1.34).

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında sisteme sönümleyicilerin eklenmesi ve bu sayede ağ sisteminde oluşacak geri tepme hareketinin önüne geçilmesi planlanmıştır. Ayrıca kesit özelliklerinin iteratif olarak güncellenmesiyle birlikte yakalama ağı sisteminin hafifletilmesi hedeflenmiştir. Bu tür ekonomik bir sistemin İHA-3 türü hava araçlarını acil durumlarda durdurmak üzere tasarlanması sonucunda çalışmadan kazanılan deneyim ve elde edilen sonuçların uzun vadede EMAS ve benzeri sistemlere yardımcı olarak yolcu jetlerini acil durumlarda durdurmayı sağlayacak yakalama ağı sistemlerinin geliştirilmesi konusunda katkı sağlaması planlanmıştır.

Kaynaklar

- Mikhauk, D., Voinov, I., ve Borovkov, A., 2008. *Finite Element Modeling of the Arresting Gear and Simulation of the Aircraft Deck Landing Dynamics*, 6th EUROMECH Conference, Saint Petersburg, Rusya, 30 Haziran – 4 Temmuz.
- Mirela, C., Pintilie, A., ve Radoui, B., 2019. *Study of Dynamic Behaviour of Arresting Mechanism Used on Aircraft Carrier*, Advanced Engineering Forum, Cilt. 34, s. 129 – 136.
- Shen, W., Zhao, Z., Ren, G., ve Liu, J., 2013. *Modelling and Simulation of Arresting Gear System with Multibody Dynamic Approach*, Mathematical Problems in Engineering, Cilt. 2013, s. 1 – 12.
- Thomlinson, J., 1957. *A Study of the Aircraft Arresting-Hook Bounce Problem*, Aeronautical Research Council Reports and Memoranda, No.2980
- Xu, B., Dong, P., Zhang, J., ve Zhang, S., 2014. *A three dimensional approach to model steel wire ropes used in high energy absorber apparatus*, International Journal of Solid and Structures, Cilt. 51, s. 4280 – 4293.
- Yan, X., Deng, Y., ve Hui, Z., 2012. *Evaluation on net strength and arresting performance of aircraft arresting system by FE method*, Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, Cilt. 84, s. 293 – 298.
- Yang, X., Yang, J., Zhang, Z., Ma, J., Sun, Y., ve Liu, H., 2018. *A review of civil aircraft arresting system for runway overruns*, Progress in Aerospace Sciences, Cilt. 102, s. 99 – 121.