

17-18 March 2026  
Ankara Türkiye

# 8. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

## PROCEEDINGS BOOK



EDITED BY

**Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN**

**ISBN - 979-8-89695-381-4**

VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
MULTIDISCIPLINARY STUDIES



VIII. BASKENT  
INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
MULTIDISCIPLINARY STUDIES

March 17-18, 2026  
Ankara, Türkiye

**PROCEEDINGS BOOK**

Edited by

Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN

25.03.2026

by Liberty Academic Publishers, New York, USA

ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2026

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.

adopted by Mariam Rasulan

ISBN: 979-8-89695-381-4

VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
MULTIDISCIPLINARY STUDIES

**CONFERENCE ID**

VIII. BASKENT  
INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY  
STUDIES

**DATE-PLACE**

March 17-18, 2026

Ankara, Türkiye

**EDITOR**

Assoc. Prof. Dr. **Ethem İlhan ŞAHİN**

**EVALUATION PROCESS**

All applications have undergone a double-blind peer review process

**TOTAL NUMBER OF PAPERS: 218**

**THE NUMBER OF PAPERS FROM TÜRKİYE: 105**

**OTHER COUNTRIES: 113**

**PARTICIPANT COUNTRIES (27):**

Türkiye, Azerbaijan, TRNC, Kazakhstan, Uzbekistan, Nigeria,  
Kuwait, Bulgaria, China, Bangladesh, Vietnam, Serbia, Hungary,  
North Macedonia, Montenegro, Iran, Albania, Morocco, Ethiopia,  
India, Algeria, France, Pakistan, Moldova, Turkmenistan,  
Malaysia, Romania

# VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

## SAVUNMA SANAYİİ İÇİN YÜKSEK MUKAVEMETLİ VE TİTREŞİM DAYANIMLI BAĞLANTI ELEMANININ YERLİLEŞTİRİLMESİ LOCALIZATION OF A HIGH STRENGTH AND VIBRATION RESISTANT FASTENING ELEMENT FOR THE DEFENSE INDUSTRY

**Yusuf Soner DEMİREL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CNK Havacılık, İstanbul/ Türkiye

<sup>1</sup>ORCID ID: 0009-0000-4353-1248

**İsmail Hakkı ŞENTÜRK<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul/ Türkiye

<sup>2</sup>ORCID ID: 0009-0008-3306-0882

**Kürşat TANRIVER<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik

Mühendisliği Bölümü, İstanbul/ Türkiye

<sup>3</sup>ORCID ID: 0000-0002-1723-4108

**Mustafa AY<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul/ Türkiye

ORCID ID: /0000-0002-7672-1846

### ÖZET

Modern savunma ve havacılık endüstrisinde, hava platformlarının yapısal bütünlüğünün korunması ve operasyonel ömrünün optimize edilmesi, kritik bileşenlerin yerli imkanlarla yüksek hassasiyette üretilmesine doğrudan bağlıdır. Stratejik parçaların yerleştirilmesi, sadece dışa bağımlılığı minimize etmekle kalmayıp, ambargo risklerine karşı tedarik zinciri güvenliğini de garanti altına almaktadır. Bu çalışma, havacılık yapılarında, uçak kanatlarında ve füze sistemlerinde birincil bağlantı elemanı olarak görev yapan, yüksek mukavemet ve titreşim sönümleme kapasitesine sahip özel bir yapısal pini yerleştirme ve teknik doğrulama süreçlerini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.

Araştırma kapsamında, havacılık standartlarında üst segment bir malzeme olan ve yüksek mukavemet/ağırlık oranıyla öne çıkan Al 7075-T6 alüminyum alaşımı hammadde olarak seçilmiştir. Üretim aşamasında, dar toleranslı geometrilerde yüksek boyutsal kararlılık sağlayan "Kayar Otomat" teknolojisi kullanılmış ve numuneler havacılık normlarına uygun olarak ısıl işlem süreçlerinden geçirilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik performansları, uluslararası kabul görmüş NASM1312 standartları çerçevesinde statik ve dinamik testlere tabi tutulmuştur.

Tasarımın doğrulanması safhasında, ANSYS yazılımı kullanılarak non-lineer statik Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) gerçekleştirilmiştir. Bu sayısal simülasyon süreçlerinde, fiziksel test cihazlarından elde edilen deneysel veriler temel alınarak; çekme analizi için 0,55 mm ve çift kesme analizi için 0,23 mm yer değiştirme değerleri sınır koşulu (boundary conditions) olarak sisteme tanımlanmıştır. Elde edilen sayısal analiz sonuçları ile üretim numunelerinden alınan deneysel veriler karşılaştırıldığında, yaklaşık %5'lik kabul edilebilir bir sapma ile yüksek korelasyonlu bir uyum saptanmıştır. Hem çekme hem de çift kesme dayanımı değerlerinin, standartların belirlediği alt limitlerin üzerinde çıkması ve fiziksel kopma hatlarının simülasyon modelindeki plastik deformasyon bölgeleriyle örtüşmesi, yerli üretimin kritik savunma sistemlerinde güvenle kullanılabilirliğini somut ve bilimsel verilerle kanıtlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Havacılık, Yapısal Bağlantı Elemanları, Sonlu Elemanlar Analizi (SEA), Savunma Sanayii

# VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

## ABSTRACT

In the modern defense and aerospace industry, maintaining the structural integrity of air platforms and optimizing their operational life cycles are directly dependent on the high-precision domestic production of critical components. The indigenization of strategic parts not only minimizes foreign dependency but also ensures supply chain security against embargo risks and international logistical disruptions. This study comprehensively addresses the localization and technical validation processes of a specialized structural pin, which serves as a primary fastener in aerospace structures, aircraft wings, and missile systems, characterized by high strength and vibration damping capabilities.

Within the scope of the research, Al 7075-T6 aluminium alloy, a premium material in aerospace standards known for its superior strength-to-weight ratio, was selected as the raw material. During the manufacturing phase, "Swiss-Type Lathe" (Sliding Headstock) technology was utilized to provide high dimensional stability in tight-tolerance geometries, and samples underwent heat treatment processes in accordance with aerospace norms. The mechanical performances of the manufactured specimens were subjected to static and dynamic tests within the framework of internationally recognized NASM1312 standards.

In the design validation phase, non-linear static Finite Element Analysis (FEA) was performed using ANSYS software. In these numerical simulation processes, based on experimental data obtained from physical testing equipment, displacement values of 0.55 mm for tensile analysis and 0.23 mm for double shear analysis were defined as boundary conditions in the system. When the numerical analysis results were compared with the experimental data obtained from production samples, a high-correlation alignment was determined with an acceptable deviation of approximately 5%. The fact that both tensile and double shear strength values exceeded the minimum limits specified by the standards, and that the physical fracture lines perfectly overlapped with the plastic deformation zones in the simulation model, proves the reliable applicability of domestic production in critical defense systems with concrete and scientific data.

**Keywords:** Aerospace, Structural Fasteners, Finite Element Analysis (FEA), Defense Industry

## GİRİŞ

Savunma sanayisindeki yerlileştirme hamleleri, modern muharebe sahasında tam bağımsızlık ve egemenlik sağlamanın en temel sütunlarından biridir. Kritik hava platformlarının ve gelişmiş mühimmat sistemlerinin üretiminde dışa bağımlılığı minimize etmek, sadece ekonomik bir kazanım değil, aynı zamanda harekât bağımsızlığını koruyan stratejik bir gerekliliktir. Yerli imkanlarla üretilen her bir bileşen, olası ambargo risklerine ve uluslararası lojistik aksaklıklara karşı projelerin takvimini koruyan bir güvenlik kalkanı işlevi görmektedir. Türkiye'nin savunma sanayisindeki güncel gelişimini ve yerli platformların çeşitliliğini yansıtan genel görünüm Şekil 1'de sunulmuştur.

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES



**Şekil 4.** Milli Savunma Sanayi Çeşitliliği Genel Görünüm

Havacılık teknolojilerinde yapısal bağlantı pini; uçak kanatları, kuyruk üniteleri ve ana montaj grupları gibi ekstrem yüklerin bindiği kritik bölgelerde birincil bağlantı elemanı olarak hayati görev yapar (Bickford, 2007; Saykan, 2020). Füze sistemleri uygulamalarında ise bu elemanlar, yüksek aerodinamik kuvvetler ve zorlu çevresel koşullar altında gövde kaplamalarının yapısal bütünlüğünü muhafaza etmekle yükümlüdür. Havacılık yapılarında hafiflik temel bir kriter olduğundan, bu parçaların üstün bir mukavemet/ağırlık oranına sahip olması ve yapısal titreşimin yoğun olduğu platformlarda aksel ve kesme yüklerini sönmüleyerek sistem güvenilirliğini artırması beklenmektedir (Croccolo ve ark., 2012). Havacılık ve uzay yapılarında kullanılan, yüksek teknoloji gerektiren çeşitli kritik bağlantı elemanları Şekil 2’de örneklenmiştir.



**Şekil 5.** Kritik Bağlantı Elemanları

Literatürde yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının savunma sanayiindeki yapısal bütünlük üzerindeki etkileri geniş bir yer tutmaktadır (Starke & Williams, 2003; Susnjara, 2025; Williams &

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

Starke, 2003). Bal (2018), Al 7075 alaşımının malzeme tepkisi ve hasar parametrelerinin optimizasyonu üzerine yaptığı çalışmada, bu alaşımın dinamik yükler altındaki plastik deformasyon kapasitesini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Oskouei ve ark. (2010), uçak gövde bağlantılarında çekme yükü altındaki gerilme dağımlarını Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) ile incelemiş ve sayısal modellerin kritik gerilme bölgelerini öngörmedeki başarısını kanıtlamıştır. Bu alışma, söz konusu literatür verilerini referans olarak, havacılık standartlarında bir malzeme olan Al 7075-T6'nın spesifik bir bağlantı elemanı üzerindeki performansını doğrulamayı hedeflemektedir.

Bu çalışmanın literatüre ve sektöre temel katkısı; savunma sanayisinin kritik ihtiyaçlarından biri olan yüksek mukavemetli kritik bağlantı pini elemanının, 'Kayar Otomat' teknolojsi gibi hassas üretim metodolojileriyle yerlileştirilmesi ve bu sürecin NASM1312 standartları çerçevesinde doğrulanmasıdır (Aerospace Industries Association [AIA], 2015; Sharp, 2001). Mevcut çalışmalardan farklı olarak, yerli üretim numuneleri ile non-linear sayısal analiz sonuçları arasında sağlanan yüksek korelasyon, yerli tasarım ve imalat metodolojsinin havacılık standartlarında güvenilirliğini bilimsel olarak kanıtlamaktadır.

### ARAşTIRMA VE BULGULAR

#### rn Karakterizasyonu ve Fonksiyonel Tasarım zellikleri

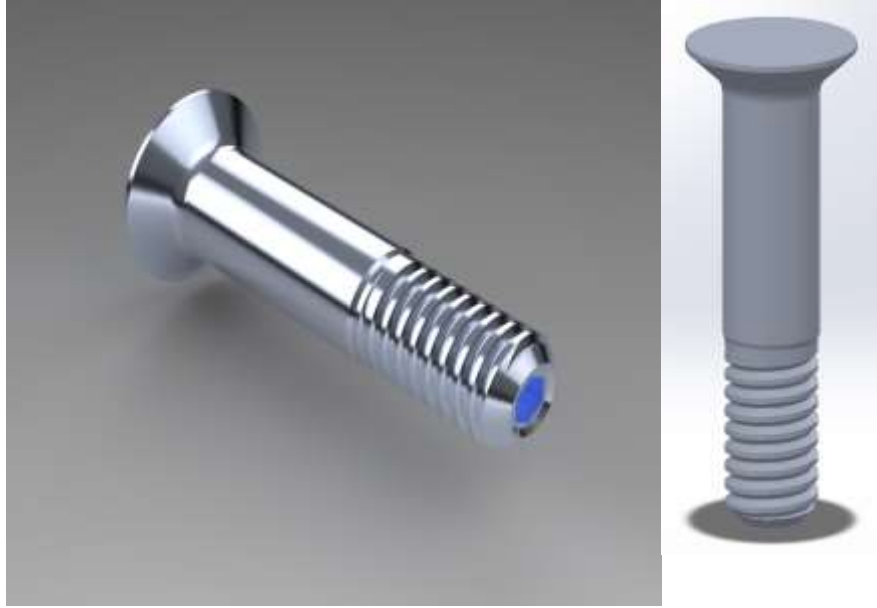
Çalışma kapsamında yerlileştirilmesi hedeflenen havacılık tipi özel yapısal bağlantı pini şekil 3'te görülmektedir.



şekil 1. Havacılık Tipi Yapısal Bağlantı Pini

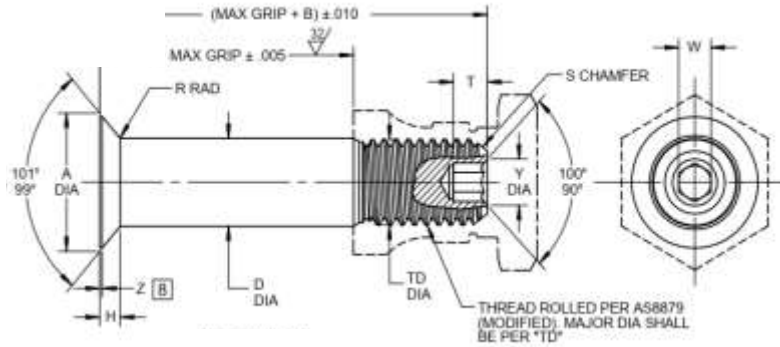
Yerlileştirilmesi hedeflenen yapısal bağlantı pini, yüksek dayanım gerektiren savunma platformlarında ağırlık tasarrufunu ve sistem optimizasyonunu bir arada sunacak şekilde karakterize edilmiştir. Tasarımın en dikkat çekici unsurlarından biri olan 100° havşa baş geometrisi, pinin yüzeyle tamamen hem yüzey (flush) olmasını sağlayarak aerodinamik sürüklenmeyi ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmektedir. Pinin geometrik detaylarını ve tasarım özelliklerini içeren üç boyutlu katı modeli şekil 4'te gösterilmiştir.

# VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES



Şekil 2. Pin Tasarım Katı Modeli

Montaj süreçlerinde yüksek hassasiyet sağlamak amacıyla pinin uç kısmına entegre edilen altıgen yuva (socket), karşı tork uygulanmasına izin vererek bağlantının hedeflenen sıkma değerlerinde güvenle sabitlenmesini sağlar. Ayrıca, pindeki özel kilitleme mekanizması ve yiv yapısı, savunma sistemlerinin maruz kaldığı yüksek frekanslı titreşimler altında gevşemeye karşı üstün bir direnç göstererek "self-locking" özelliği sunar (Nassar ve ark., 2007). Ürünün katı modeli SolidWorks 2024 yazılımında, belirlenen inç tabanlı standart boyutlara ve hassas toleranslara sadık kalınarak oluşturulmuştur (Budynas & Nisbett, 2020). Tasarımın üretim standartlarına uygunluğunu sağlayan inç tabanlı boyut ve tolerans verileri Şekil 5'te verilmiştir.



FIRST DASH NO.	PIN NOM DIA	A DIA	B REF	D DIA	TD DIA	F	H	R RAD	Z MAX	S CHAMFER REF	THREAD MODIFIED	SOCKET			DOUBLE SHEAR POUNDS MINIMUM	TENSION POUNDS MINIMUM
												W HEX	T DEPTH	Y DIA		
6	3/16	.3536 .3486	.325	.1695 .1885	.1840 .1810	.005	.0688 .0667	.030 .020	.015	1/32 x 45°	1900-32 UNJF-3A	.0806 .0791	.135 .115	.119 .104	2,550	1,150

Şekil 3. Boyutlar ve Toleranslar (inç)

## Materyal Bilimi ve Üretim Teknolojisi

Hammadde seçimi aşamasında, havacılık ve savunma projelerinin katı gereksinimlerini karşılayabilen, yüksek mukavemet karakteristiklerine sahip Al 7075-T6 alaşımı tercih edilmiştir (Battelle Memorial Institute, 2019; Dursun & Soutis, 2014; Heinz ve ark., 2000). Malzemenin nihai mekanik limitlerine ulaşması ve yapısal kararlılığını kazanması için kontrollü T6 temperleme ısıl işlem süreçleri uygulanmıştır. Ayrıca, zorlu saha koşullarında çalışan kritik sistem bileşenlerinin korozyona karşı korunması amacıyla eloksal (anodik oksidasyon) kaplama yöntemi ile yüzey direnci artırılmıştır (Nassar

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

ve ark., 2007). Seçilen Al 7075-T6 alaşımının kimyasal kompozisyonu ve temel mekanik özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur (Zhao ve ark., 2013).

**Tablo 4.** EN 573-3 Standardına Göre Spektrometrik ve Mekanik Test Verileri

ELEMENTLER (%)								
Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
0.15	0.06	0.02	0.22	0.03	1.45	2.31	5.96	Kalan
MEKANİK ÖZELLİKLER (MPa)								
Çekme Dayanımı				Kesme Dayanımı				
572				500				

Üretim metodolojisi olarak, küçük çaplı ve dar toleranslı geometrilerde üstün boyutsal kararlılık sağlayan Kayar Otomat imalat teknolojisi kullanılmıştır. Bu teknolojiye işleme noktasının bir kılavuz burç ile desteklenmesi, parça üzerindeki esnemeyi ve vibrasyonu minimize ederek yüksek yüzey kalitesi sağlar. Hassas vida dişleri ve montaj arabirimlerinin tek bağlamada işlenebilmesi, yerleştirme projesinin seri üretim aşamasında kalite sürekliliğini ve geometrik tekrarlanabilirliğini garanti altına almaktadır. Hassas imalat süreçlerinde yüksek boyutsal kararlılık sağlayan kayar otomat teknolojisinin çalışma alanı Şekil 6’da gösterilmiştir.

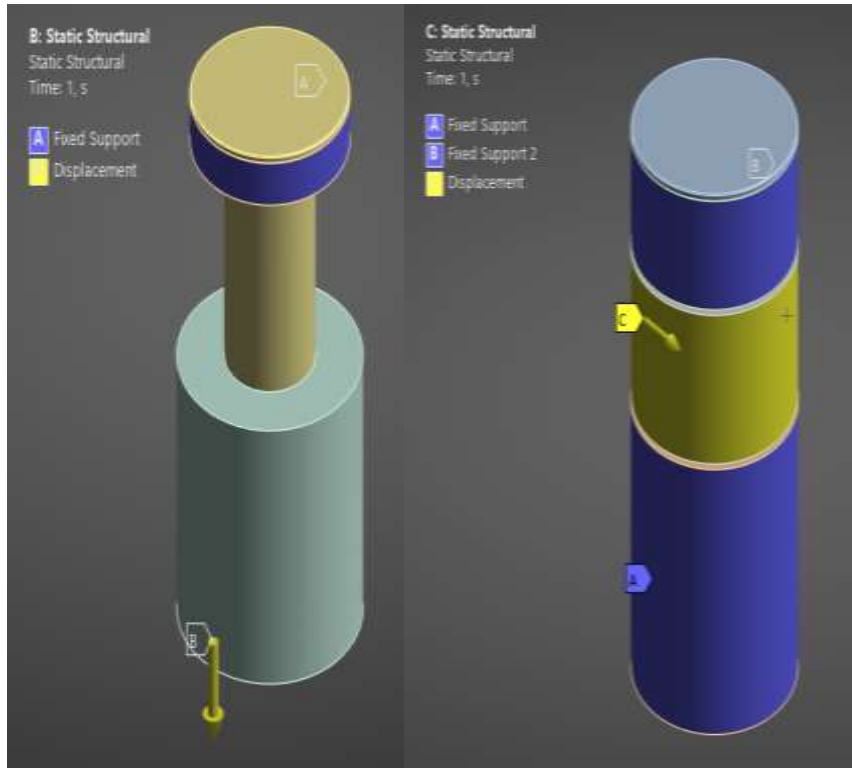


**Şekil 4.** Kayar Otomat

### Sayısal Analiz Metodolojisi ve Sınır Koşulları

Tasarımın fiziksel prototipler üretilmeden önce yapısal doğruluğunun teyit edilmesi amacıyla ANSYS 2025 yazılımında non-lineer statik Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yürütülmüştür (Ansys, Inc., 2025). Bu yaklaşım, pini "sonlu eleman" adı verilen çok sayıda küçük parçaya bölerek, fiziksel yükler altındaki davranışını sayısal denklemlerle simüle etmektedir (Venu & Kumar, 2017). Analiz modelinde malzemenin akma sonrası sertleşme ve plastik deformasyon davranışları detaylı bir şekilde modellenmiştir. ANSYS simülasyonlarında fiziksel test koşullarını modellemek için tanımlanan çekme ve çift kesme testi sınır şartları Şekil 7’de şematize edilmiştir.

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

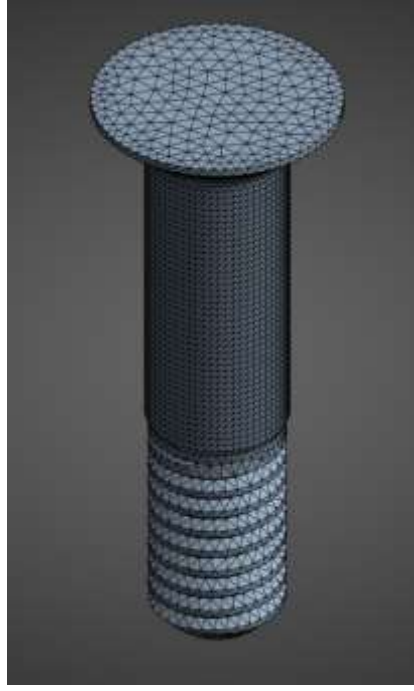


**Şekil 5.** Sırası ile Çekme ve Çift Kesme Testi Sınır Şartları

Analizlerin başarısı için gerçek deney koşullarını yansıtan Sınır Koşulları (Boundary Conditions) şu şekilde kurgulanmıştır:

- Sabitleme Koşulları: Gerçek çalışma senaryosunu yansıtmak adına çekme analizinde pinin oturduğu havşa yüzeyi; çift kesme analizinde ise shaftın yataklanan yüzeyleri sabit mesnet olarak tanımlanmıştır.
- Çekme Analizi Yükleme: Eksenel yöndeki kopma davranışını belirlemek için, test cihazından alınan veriler ışığında 0,55 mm yer değiştirme (displacement) uygulanmıştır.
- Çift Kesme Analizi Yükleme: Shaft eksenine dik doğrultudaki kesme direncini ölçmek amacıyla modele 0,23 mm yer değiştirme sınırı girilmiştir.

Mesh yapısı oluşturulurken, gerilme yığılmasının en yoğun beklendiği havşa altı ve gövde geçiş bölgelerinde düğüm noktaları sıkılaştırılarak çözümün hassasiyeti optimize edilmiştir. Analiz çözünürlüğünü ve hassasiyetini optimize etmek amacıyla oluşturulan düğüm ve eleman ağı yapısı Şekil 8’de sunulmuştur. Her iki analiz tipi için modele uygulanan mesh yapısına ait sayısal parametreler Tablo 2’de listelenmiştir.



Şekil 6. Mesh Yapısı

Tablo 5. Mesh Parametreleri.

	Kesme	Çekme
Düğüm	18.908	112.752
Eleman	82.543	68.795

#### Analiz Sonuçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

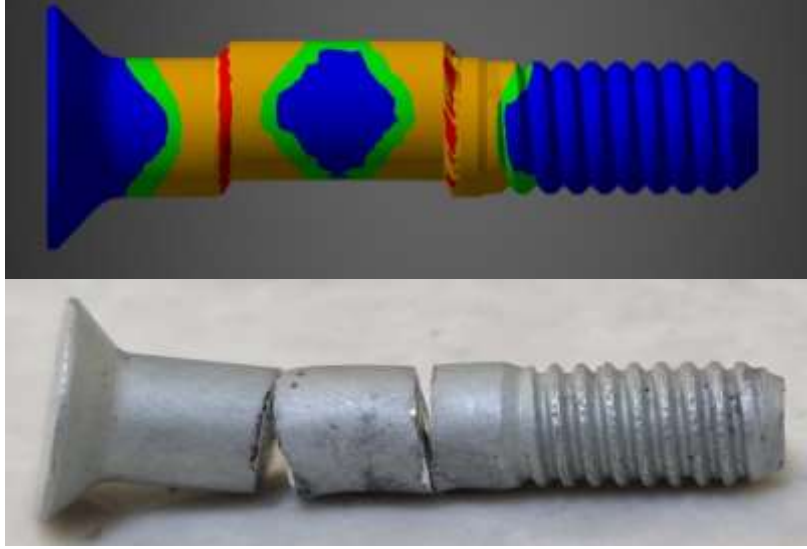
Tanımlanan yer değiştirme sınır koşulları altında gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen reaksiyon kuvvetleri, üretim numuneleri ile karşılaştırılmıştır (Ekh ve ark., 2005). Fiziksel üretim numuneleri ile sayısal analizlerden elde edilen reaksiyon kuvvetlerinin karşılaştırmalı değerleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 6. Üretim Numunesi ve SEA Dayanımı Karşılaştırması

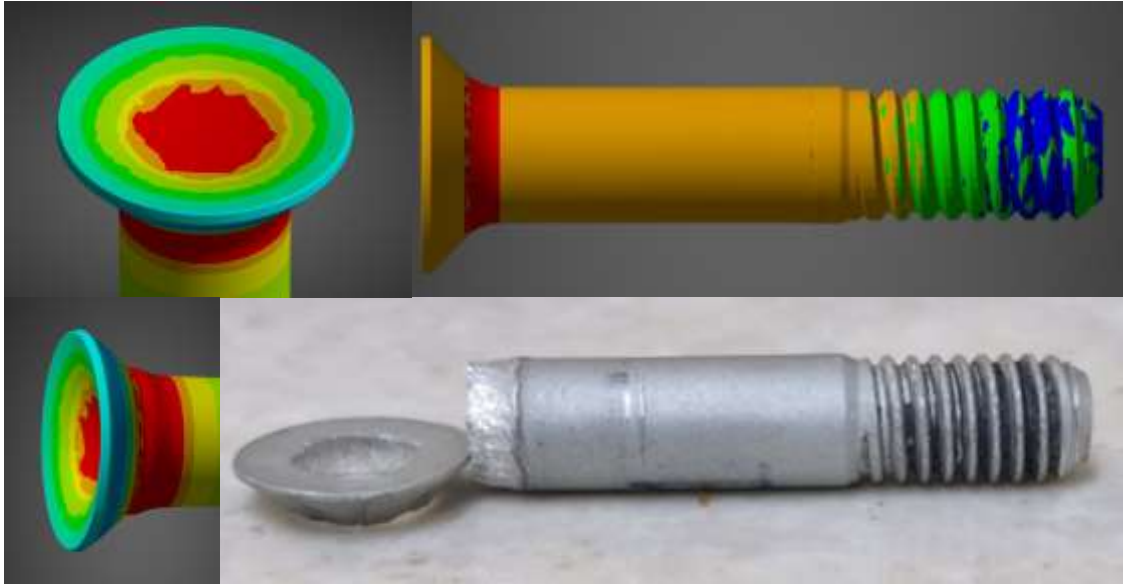
Test Tipi	Üretim Numunesi (kN)	SEA (kN)
Çekme	5.79	6.1
Çift kesme	11.40	11.91

Çift kesme analizinde, uygulanan 0,23 mm kayma neticesinde hasar anındaki reaksiyon kuvveti 11,91 kN olarak hesaplanmış; üretim numunesinde ise bu değer 11,40 kN olarak kaydedilmiştir. Çekme analizinde ise 0,55 mm yer değiştirme sonucunda 6,1 kN reaksiyon kuvvetine ulaşılmış, üretim numunesinde ise 5,79 kN ölçülmüştür. Her iki test senaryosunda da SEA sonuçları ile fiziksel test verileri arasında yaklaşık %5'lik oldukça düşük ve kabul edilebilir bir sapma gözlemlenmiştir. Sayısal analiz ile deneysel sonuçların kopma bölgeleri üzerindeki uyumu; çift kesme için Şekil 9, çekme testi için ise Şekil 10'da verilmiştir.

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES



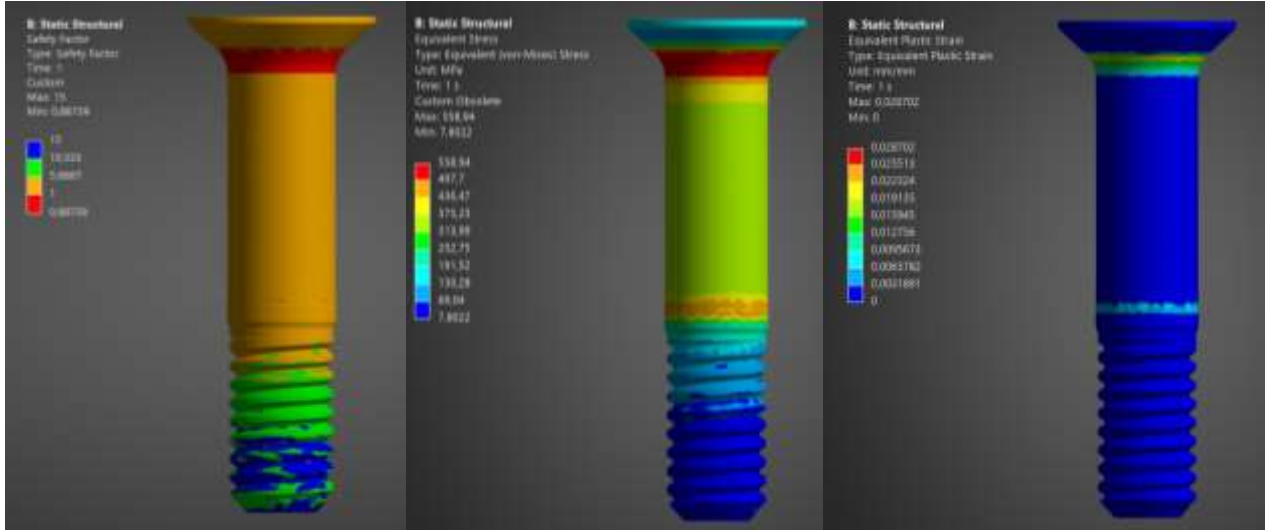
Şekil 7. Çift Kesme Testi karşılaştırması



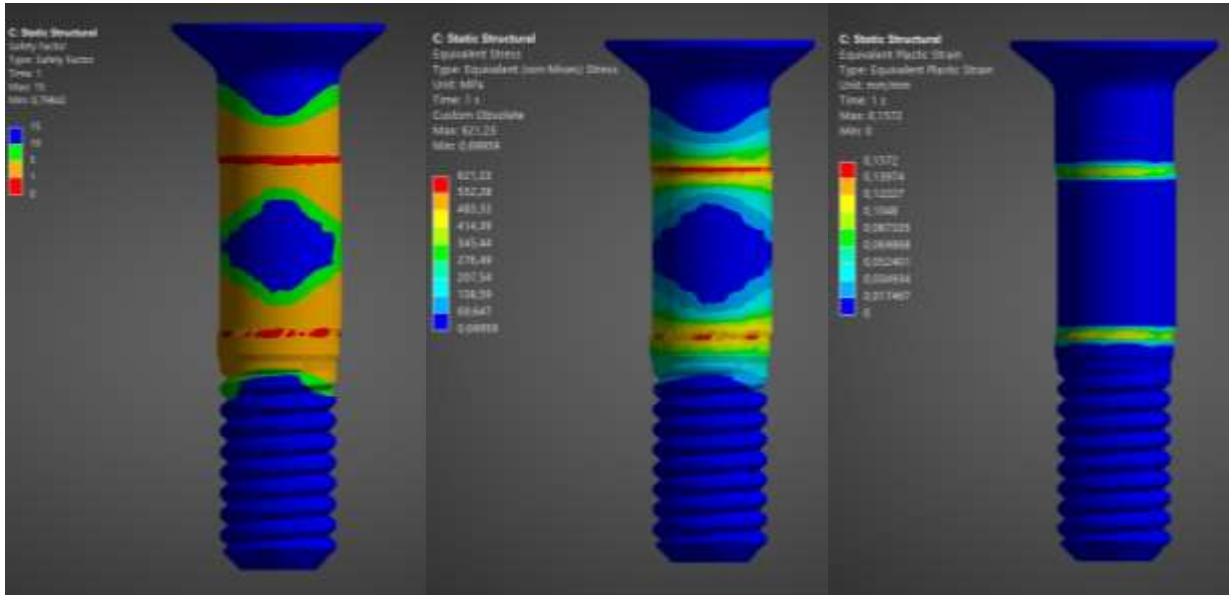
Şekil 8. Çekme Testi karşılaştırması

Pinin çekme ve kesme yükleri altındaki güvenlik katsayıları, gerilme dağılımları ve Von-Mises konturları sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12’de detaylandırılmıştır.

# VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES



Şekil 9. Çekme Testi Analiz Sonucu Konturları



Şekil 10. Çift Kesme Analiz Sonucu Konturları

Çalışmanın tüm performans verilerinin uluslararası standart limitleriyle olan genel karşılaştırması Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 7. Çekme ve Çift Kesme Kuvvetleri Performans Karşılaştırması

Test Tipi	Standard (kN)	Üretim Numunesi (kN)	SEA (kN)
Çekme	5.12	5.79	6.1
Çift kesme	11.35	11.40	11.91

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar ve sayısal simülasyonlar, savunma sanayisinin kritik ihtiyaçlarından biri olan yüksek mukavemetli yapısal bağlantı elemanlarının yerli imkanlarla üretilebilirliğini kapsamlı bir şekilde doğrulamıştır. Elde edilen veriler, yerli üretim numunelerinin mekanik performansının uluslararası havacılık standartları ile tam uyumlu olduğunu ve sayısal analiz modellerinin gerçek fiziksel davranışları yüksek doğrulukla öngörebildiğini kanıtlamaktadır. Çalışma neticesinde ulaşılan temel sonuçlar ve teknik değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde detaylandırılmıştır:

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

- Standartlara Uyumluluk ve Mekanik Performans: Hem üretim numuneleri üzerinde gerçekleştirilen fiziksel testler hem de non-linear Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) sonuçları, NASM1312 metodolojisi çerçevesinde hedeflenen alt limitlerin belirgin şekilde üzerinde çıkmıştır. Çekme dayanımı testlerinde standart değer olan 5,12 kN limiti; üretim numunesinde 5,79 kN ve SEA modelinde 6,1 kN olarak aşılmıştır. Benzer şekilde, çift kesme dayanımı için 11,35 kN olan standart alt sınırı; fiziksel testlerde 11,40 kN ve sayısal analizlerde 11,91 kN olarak kaydedilmiştir. Belirlenen bu sınırların üzerinde kalınması, tasarımın yapısal güvenliği ve savunma platformlarındaki operasyonel limitleri açısından son derece olumlu bir göstergedir.
  - Sayısal Model Doğruluğu ve Analiz-Test Korelasyonu: SEA sonuçları ile deneysel test verileri arasında saptanan yaklaşık %5'lik fark, mühendislik kabulleri dahilinde oldukça düşük ve kabul edilebilir bir seviyededir. Bu düşük sapma oranı; simülasyondaki malzeme kabulleri, kullanılan çözüm yöntemi ve düğüm (mesh) hassasiyeti gibi sayısal parametrelerin gerçek deney koşullarıyla genel olarak tutarlı olduğunu ispatlamaktadır. Kurulan analiz yapısı, fiziksel test süreçlerinden önce kritik kesitlerdeki gerilme dağılımını öngörmek için güvenilir bir mühendislik aracı olarak onaylanmıştır.
  - Yapısal Karakterizasyon ve Hasar Mekanizması: Fiziksel kopma hatlarının, simülasyon modelindeki plastik deformasyon ve gerilme yığılması bölgeleriyle tam olarak örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, Al 7075-T6 alaşımının, uygulanan hassas ısı işlem ve üretim süreçlerinin ardından hedeflenen çekirdek yapısını ve mekanik mukavemetini başarıyla kazandığını tasdik etmektedir. Tasarımın hasar anındaki davranışının tahmin edilebilir olması, kritik havacılık bileşenleri için aranan en temel güvenlik kriterlerinden biridir.
  - Üretim Teknolojisi ve Stratejik Kazanım: Kayar otomat teknolojisi ile üretilen parçaların yüksek boyutsal kararlılığı ve yüzey kalitesi, yerli üretimin seri üretim aşamasında havacılık standartlarındaki kalite sürekliliğini garanti altına alabileceğini göstermiştir. Milli imkanlarla elde edilen bu mekanik performans verileri, yerli bağlantı elemanlarının savunma platformlarında kullanılabilirliği için somut bir temel oluşturarak sektörün dışa bağımlılığını azaltma hedefine doğrudan ve güçlü bir katkı sunmaktadır.
- Sonuç olarak, bu çalışma ile doğruluğu kanıtlanan tasarım ve imalat metodolojisi, yüksek mukavemetli bağlantı elemanlarının yerli savunma sanayisi envanterine kazandırılması noktasında kritik bir referans teşkil etmektedir.

### KAYNAKÇA

- Aerospace Industries Association (AIA). (2015). *NASM1312: Fastener test methods*. National Aerospace Standard.
- Ansys, Inc. (2025). *Ansys Mechanical user's guide (2025 R1)*. Canonsburg, PA: Ansys, Inc.
- Bal, B. (2018). Determination of material response and optimization of Johnson–Cook damage parameters of aluminium 7075 alloy. *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 6(3), 415-425.
- Battelle Memorial Institute. (2019). *Metallic materials properties development and standardization (MMPDS-14)*. Federal Aviation Administration.
- Bickford, J. H. (2007). *Introduction to the design and behavior of bolted joints: Non-gasketed joints* (4th ed.). CRC Press.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's mechanical engineering design* (11. baskı). McGraw-Hill.
- Crocco, D., De Agostinis, M., & Olmi, G. (2012). A contribution to the selection of fasteners for aerospace applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 226(10), 1251-1262.

## VIII. BASKENT INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY STUDIES

- Dursun, T., & Soutis, C. (2014). Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys. *Materials & Design*, 56, 862-871.
- Ekh, J., Schön, J., & Melin, L. G. (2005). Secondary bending in multi-fastener bolted joints exposed to combined tension and shear. *Composites Part B: Engineering*, 36(8), 619-628.
- Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R., & Miller, W. S. (2000). Recent development in aluminium alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering: A*, 280(1), 102-107.
- Nassar, S. A., Ganeshmurthy, S., & Zaki, A. M. (2007). Effect of coating and thread lube on the vibration-induced loosening of threaded fasteners. *ASME Journal of Pressure Vessel Technology*, 129(3), 453-460.
- Oskouei, R. H., Ibrahim, R. N., & Kerezsi, B. B. (2010). Finite element analysis of the stress distribution in bolted joints under tension loading. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(8), 1085-1094.
- Saykan, T. (2020). Havacılık yapılarında kullanılan bağlantı elemanlarının mekanik davranışlarının sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 312-325.
- Sharp, K. P. (2001). Evaluation of aerospace fastener test methods for shear and tension. *Journal of Testing and Evaluation*, 29(4), 365-372.
- Starke, E. A., & Williams, J. T. (2003). Progress in structural materials for aerospace systems. *Acta Materialia*, 51(19), 5777-5800.
- Susnjara, D. A. (2025). *Mechanical response of T800-F3900 subject to shear loading under various strain rates and testing methods* (Yüksek lisans tezi). Ohio State University.
- Venu, G., & Kumar, S. S. (2017). Structural analysis of aerospace fasteners using finite element method. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5(11), 88-92.
- Williams, J. C., & Starke, E. A. (2003). Progress in structural materials for aerospace. *Science*, 299(5611), 1317-1321.
- Zhao, J., Liu, Z., & Xing, S. (2013). Mechanical properties and microstructure of 7075 aluminum alloy processed by ECAP. *Materials Science and Engineering: A*, 566, 7-11.