

# TURBOPROP UÇAKLAR İÇİN FARKLI TİPTE ANA İNİŞ TAKIMI AÇMA/KATLAMA SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZİ

Mete Kalyoncu<sup>1</sup>, Bekir Doğan<sup>2</sup>, Nurcan Çevik<sup>3</sup>

## 1. GİRİŞ

İniş takımı sistemi, bir uçak yapısı ile yer arasında köprü vazifesi görmektedir. İniş sırasında uçak yapısına gelen yüklerin sönmülmesi iniş takımlarının temel görevlerindedir. Bu basit gibi görülen amaca karşılık, ilk uçağın icadı olan 1900 yıllarının başından bu yana çeşitli tiplerde ve özelliklerde iniş takımı tasarımları yapılmıştır [1]. İlk tasarımları her ne kadar sabit (gövdenin içerisine katlanmayan) tipte olsa da zamanla hızları git gide artan uçakların, sabit iniş takımları kullanımı dezavantajı haline gelmiştir. Aerodinamik açıdan uçağı olumsuz etkileyen sabit iniş takımları zamanla yerini daha karmaşık olan geri çekilebilir, katlanabilir iniş takımlarına bırakmıştır. Geri çekilebilir iniş takımlarının 1911'deki icadından bugüne kadar çok farklı tipte ve konfigürasyonda katlanılabilir iniş takımları tasarlanmış ve imal edilmiştir [2]. Günümüzde ise sabit

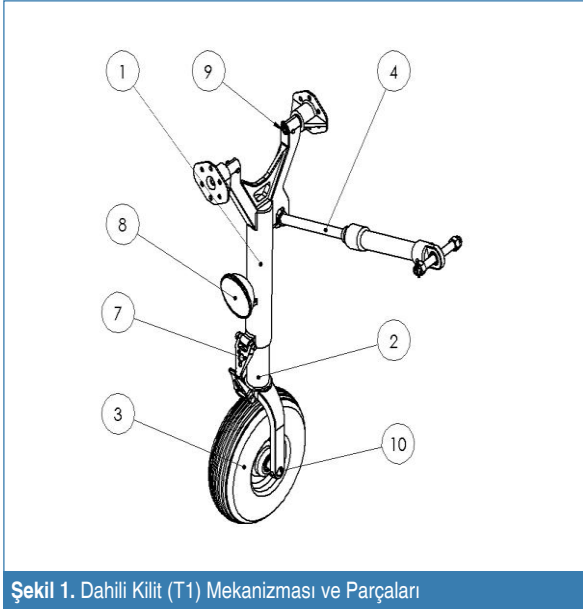
iniş takımına sahip uçaklar neredeyse yok denecek kadar azdır. Tüm modern ticari uçaklarda katlanabilir iniş takımı kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise iniş takımları açma ve katlama sistemlerinin farklılıkları ile alakalı, iki farklı tipte açma ve katlama sistemi üzerinde durulmuştur. Aynı iniş takımı dikmesine sahip farklı mekanizma ile hareket ettirilen bu iki tip için de farklı katı modeller oluşturulmuş ve iki tip için ayrı ayrı kinematik, dinamik ve mukavemet analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak farklı tipteki katlama sistemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilip kıyaslama yapılmıştır. Bu kapsamda ikisinin de aynı emniyette çalışması sağlanmıştır.

İniş takımı parçaları şunlardır (Şekil 1 ve Şekil 2): Dikme (1), şok emici (2), tekerlek (3), yan kol destek mekanizması ya da dahili kilit mekanizması (4)-(5), elektronik lineer

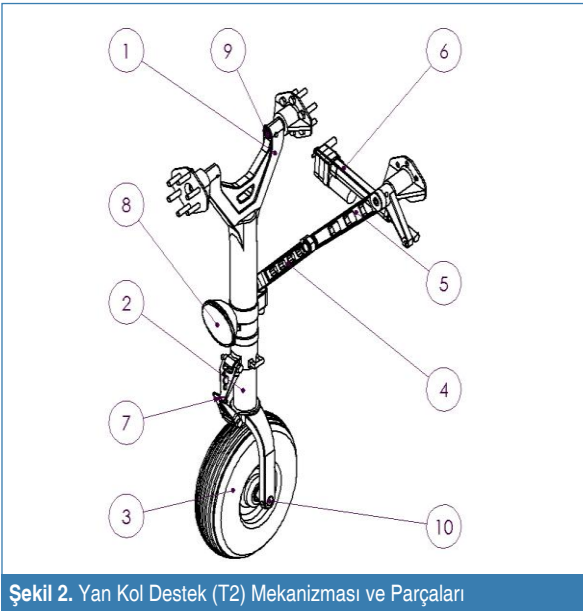
<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bil. Fak., Makina Müh. Böl., Konya - [mkalyoncu@ktun.edu.tr](mailto:mkalyoncu@ktun.edu.tr)

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Konya - [bekir1996738@gmail.com](mailto:bekir1996738@gmail.com)

<sup>3</sup> Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Konya - [nrcncvkee@gmail.com](mailto:nrcncvkee@gmail.com)



Şekil 1. Dahili Kilit (T1) Mekanizması ve Parçaları



Şekil 2. Yan Kol Destek (T2) Mekanizması ve Parçaları

eyleyici ya da hidrolik silindir (6), tork kolu (7), far (8), pim (9)-(10).

Üzerinde çalışacağımız iki tip sistem için kısaltmalar kullanılacaktır. Bu kısaltmalar;

1. T1 (Tip 1) = Dahili Kilit Mekanizması: Hidrolik silindir içerisinde mekanik bir kilitleme yaparak, silindirin içerisine pistonun girmemesini (hareket etmemesini) sağlayan mekanizmadır (Şekil 1).
2. T2 (Tip 2) = Yan Kol Destek Mekanizması: İniş takımı dikmesinin yanında durarak dikme açık pozisyonda iken ona destek olan ve iniş takımının katlanmasını sağlayan çift kol mekanizması (Şekil 2).

## 2. SİSTEMİN MEKANİK TASARIMI VE ANALİZİ

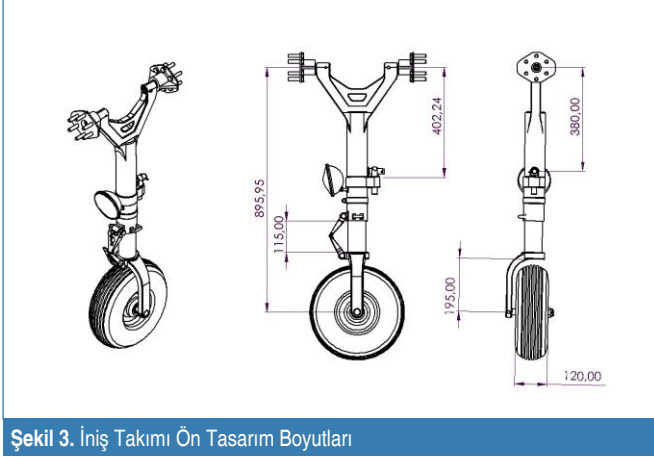
### 2.1 Sistemin Teknik İsterleri

İniş takımları 2500 kg'lık bir uçağa entegre edilecek şekilde tasarlanmıştır. İniş takımlarının gövdede kaplayacağı maksimum hacim 1330x456x168 mm olması istenmektedir. Sistemin açılma ve geri çekilme süresi 8 saniye olması istenmektedir. İniş takımlarının üzerine maksimum kuvvetler, iniş takımları açık pozisyonda ve uçak belirli bir ivme ile yere inerken tekerin yere temas ettiği anda meydana gelir. Bu doğrultuda bir iniş takımının parçaları üzerine gelen maksimum gerilmeler, uçağın yere iniş sırasında gelecektir. Dinamik iniş durumunda, ana iniş takımı tekerleği merkezine etki eden en yüksek kuvvetler örnek bir uçaktan sağlanmıştır. Bu değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tekerlek Merkezine Gelen Kuvvetler ve Momentler

	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
<b>Birim</b>	[ N ]			[ Nmm ]		
<b>Maximum</b>	11272,6	10049,3	31334	2019879	0	71662,6
<b>Minimum</b>	-11208	-6632,67	4549,333	-1333120	-819333	-50118,7

## 2.2 Sistemin Ön Tasarım Boyutlarının Belirlenmesi



Şekil 3. İniş Takımı Ön Tasarım Boyutları

İniş takımı dikmesi için ön tasarım boyutları Şekil 3'te verilmiştir.

## 3. KATI MODEL VE MONTAJ

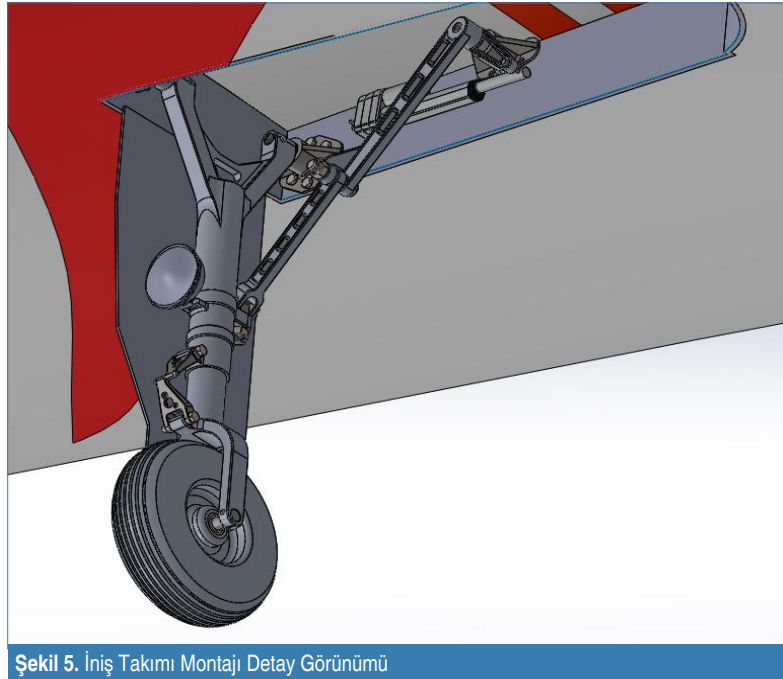
Bu çalışma da iniş takımlarının ayrıntılı tasarımı yapılmış ve SolidWorks yazılımında parçalarının katı modelleri çizilerek montajı yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan iniş takımlarının katı modelleri, ülkemizin sahip olduğu, TUSAŞ tarafından imal edilen Hürkuş eğitim uçağının üzerine ayrı ayrı montajları yapılmıştır (Şekil 4).

## 4. KONUM, HIZ VE İVME ANALİZLERİ

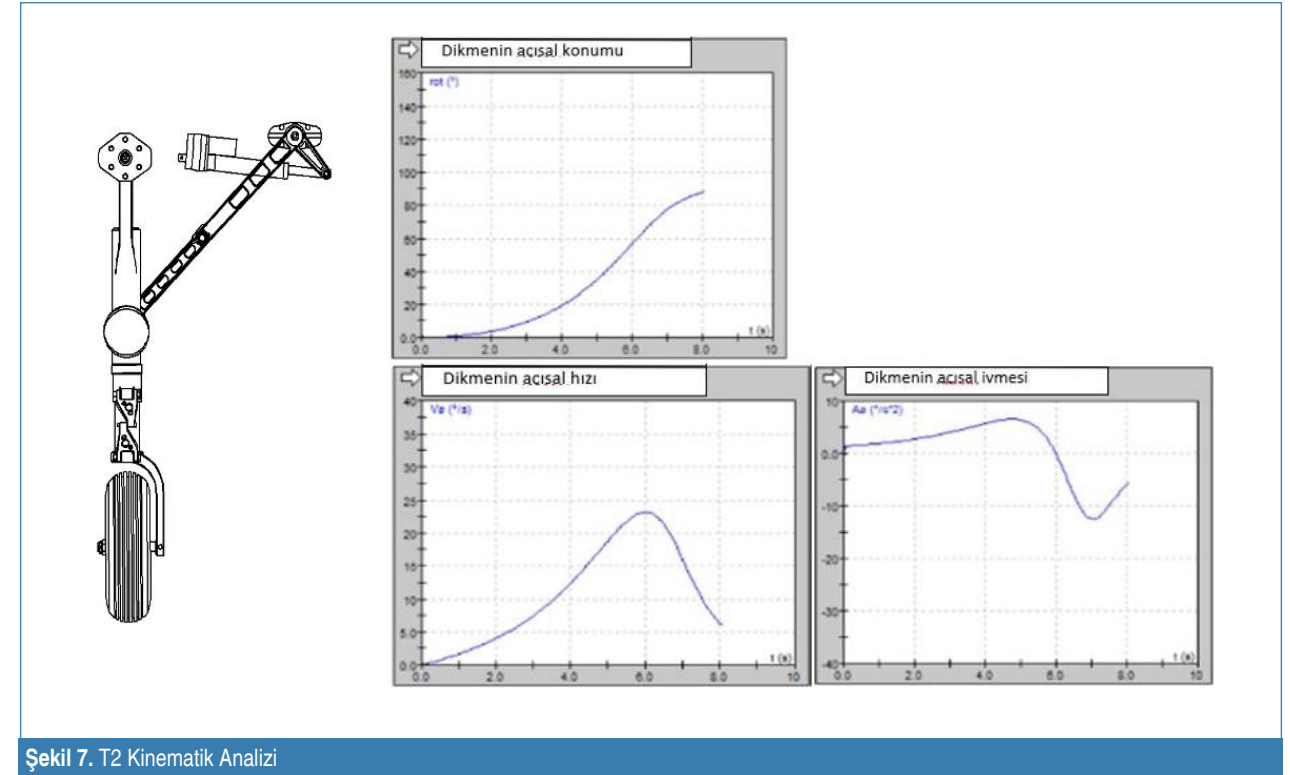
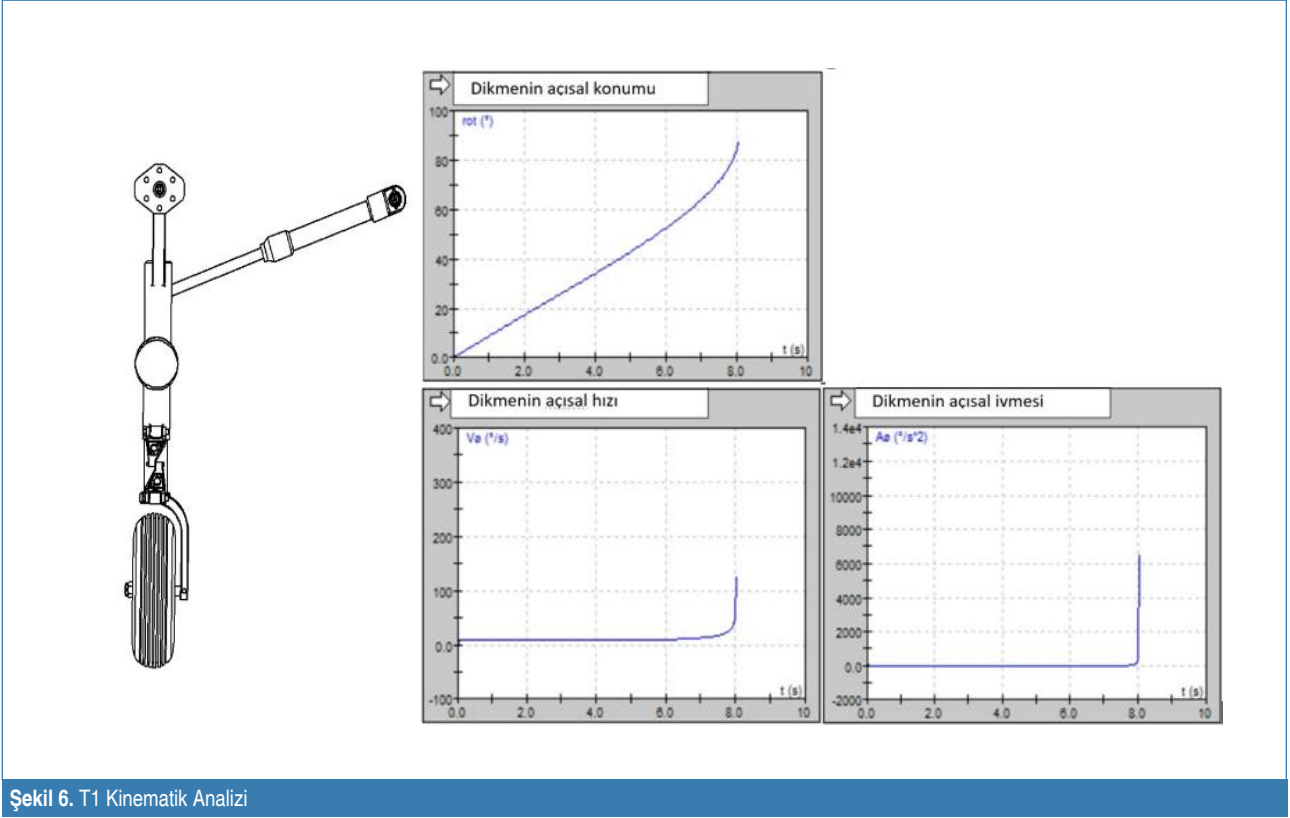
Seçilen iki tip (T1 ve T2) iniş takımı için ön boyutlandırma doğrultusunda kinematik analizleri yapılmıştır. Burada kinematik analizleri basitleştirmek için iniş takımı dikmesi ve diğer katlamayı sağlayan uzuvlar rijit bir çubuğa ve teker montaj aksamı ise noktasal kütleyle benzetilerek ya-



Şekil 4. Ana İniş Takımının Uçağa Montajlı Hali



Şekil 5. İniş Takımı Montajı Detay Görünümü



pılmıştır. İniş takımlarının kinematik analizinde en önemli parametre konumdur. Çünkü geri katlamadan kasıt tam anlamıyla dikme ve bütün montaj elemanlarının gövdenin içerisine sorunsuzca girmesi demektir. Diğer önemli bir etken ise hızdır. Her iki iniş takımı tipi içinde 8 saniyede kapanması istenilerek lineer eyleyici hızları bu doğrultuda belirlenmiştir. Bu hızlarda kinematik analiz yapılmıştır. Hesaplama yapılan katlanma sistemi tiplerinin kinematik analizleri Working Model yazılımında iki boyutlu olarak sağlanmıştır. Burada dikme için açılma konum, hız ve ivme analizleri Working Model yazılımından alınmıştır (Şekil 6 ve 7).

## 5. SİSTEMİN YAPISAL ANALİZİ İLE PARÇALARIN İNCELENMESİ

### 5.1 Malzeme Seçimi

Uzay teknolojisinin uygulandığı uygulamaların başında risk faktörünün belki de en fazla olduğu uçak endüstrisi gelmektedir. Bu endüstri temelde incelendiğinde etkili

faktörlerin başında malzeme konusunun büyük rol oynadığı görülmektedir. Malzeme seçimi mekanik özelliklere (sertlik, mukavemet, korozyon davranışı vb.), fiziksel özellikler (yoğunluk, vb.), üretilebilme kolaylığı, kullanılabilirlik ve diğer özellikler temel alınarak seçilmelidir. Ayrıca malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi de korozyon direncidir. Korozyon uçağın ömrü ilerledikçe çeşitlenmekte ve çoğalmaktadır. Korozyon hasarları başlangıçta tespit edilemez ve tamiri yapılmaz ise bütün yapı için ciddi tehlike oluşturabilir [3]. Bu sebeple proje de kullanılacak bağlantı elemanlarına geomet kaplama<sup>4</sup> yapılarak korozyon direnci artırılacaktır. Belirtilen faktörler dikkate alınarak mekanizmalarda kullanılacak malzemeler Tablo II de verilmiştir.

### 5.2 Mukavemet Hesaplamaları

İniş takımı dikmesinin üzerinde gerilmeler Von Mises akma kriterine göre hesaplanmış ve emniyet katsayıları bulunmuştur.

T1 ve T2 mekanizmalarında kullanılacak olan dikme aynı

Tablo 2. Malzeme Özellikleri

Malzeme Özelliği	1. Al7475 -T61	2. PH 13-8 Mo (1.4534) (Paslanmaz Çelik)	3. Ck45 (Paslanmaz Çelik)	4. AISI Type S15500 (15Cr-5Ni)
Yoğunluk (g/cc)	2,81	7,80	7,7	7,7
Akma Dayanımı (MPa)	490	1310	510	1140
Çekme Dayanımı (MPa)	565	1410	850	1170
Elastisite Modülü (MPa)	70300	221000	210000	200000

Tablo 3. Bileşenlerin Yapısal Davranışı

Mekanizma Tipi	Bileşen Nu. (Şekil 1-2)	Malzeme (Tablo II)	Ağırlık (Kg)	Eş Değer Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
Tip 1	1-2-7	1	8,5	348,3	1,5
	4	3	3,1	115	2,5
	9-10	4	1	-	5
	3	-	17,5	-	-
Tip 2	1	1	8,5	243,3	2
	4-5	1	1,5	300	2
	6	-	7	-	-
	9-10	4	1	-	5
	3	-	17,5	-	-

<sup>4</sup> Çinko ve alüminyum parçacıklarından oluşan, su bazlı inorganik bir kaplamadır. Yapısındaki alüminyum, çinko, silisyum oksitinin pasivasyonu ile maksimum korozyon koruması sağlamaktadır. Civata ve somunların üzerine ince film tabakası şeklinde kaplanarak etkin korozyon koruması sağlayan bir kaplama çeşidi olan Geomet, gümüş grisi renkli, elektrolitik olmayan, krom içermeyen özelliğe sahiptir.



özelliklere sahiptir. Her iki mekanizma da aynı olan dikme için kritik çap hesaplaması yapılmıştır. Dikmenin malzemesi hafif olması için alüminyum olarak seçilmiş ancak daha küçük boyutlar elde edebilmek için akma mukavemeti yüksek olan 7000 serisi alüminyum (Al 7178-T6) tercih edilmiştir. Dikmenin minimum çapı 1,5 kat emniyetli olacak şekilde 75 mm hesaplanmıştır [4].

T2'de alt ve üst kol üzerine gelen kuvvetlerle kolda boyutlandırma yapılmıştır. Katlama kol mekanizmasında iniş takımlarının üzerine maksimum kuvvet geldiği durumda lineer eyleyici üzerine kuvvet gelmemektedir. Katlama kol mekanizmasında alt ve üst kol açık pozisyonda kitlenmekte ve hareket etmemektedir.

T1 ise, normal ve acil durum portlarını içeren çift etkili hidrolik bir silindir tarafından tahrik edilmektedir. Hidrolik silindir, iniş takımlarının katlanmasında ve açılmasında kullanılır. Silindir üzerine gelen kuvvetler ile kritik çap hesabı ve kilit mekanizmasında bulunan kilitleme segmenti (Şekil 7) için kalınlık hesabı yapılmıştır. Hidrolik silindirin burkulma yüküne ve basma gerilmesine göre çap hesabı yapılmıştır. Hidrolik silindir uzamış durumda iken mekanik kilitlemeler sayesinde iniş takımlarının geri çekilmesini önler. Bu mekanik kilitlemeler bilya, kilitleme segmenti gibi çeşitli parçalardan oluşmaktadır. Bu çalışmada mekanik kilitlemesi, kilitleme segmenti içeren hidrolik silindir kullanılmıştır [5]. Hidrolik silindirin içindeki kilitlemeyi sağlayan segment için ise; kesme gerilmesine ve ezilme gerilmesine göre mukavemet hesabı yapılarak kalınlığı belirlenmiştir.

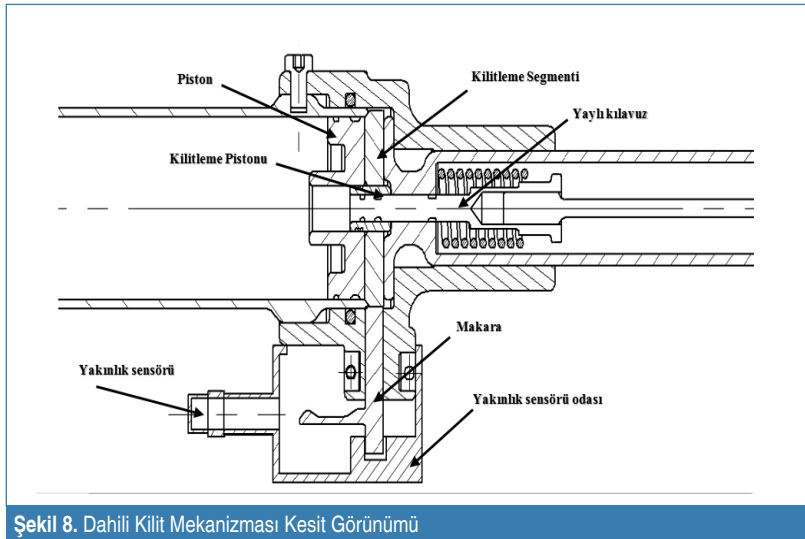
## 6. MAKİNA ELEMANI HESAPLAMALARI

İniş takımı sistemlerinde kullanılan bağlantı elemanlarının bazıları NAS ("Nation Aerospace Standards") ve bazıları ise Mil-STD ("Military Standards")'a uygun olarak belirli kataloglardan metrik ve inch serisi olarak seçilmiştir [6]. Bazı parçalar ise özel üretim olarak üretilerek kullanılacaktır. Kullanılan bağlantı elemanlarının hesaplamaları yapılmış ve pim çapları hesaplanmıştır. Rulman ömür hesabı yapılmış ve gövde ile dikmenin birleştiği yerlere dana gözü rulmanlar SKF rulman kataloğundan seçilmiştir [7]. T1 tipindeki sistem için ise mekanik kilitleme sistemine sahip hidrolik bir lineer eyleyici kullanılacaktır. T2 için elektronik lineer bir eyleyici seçilmiştir.

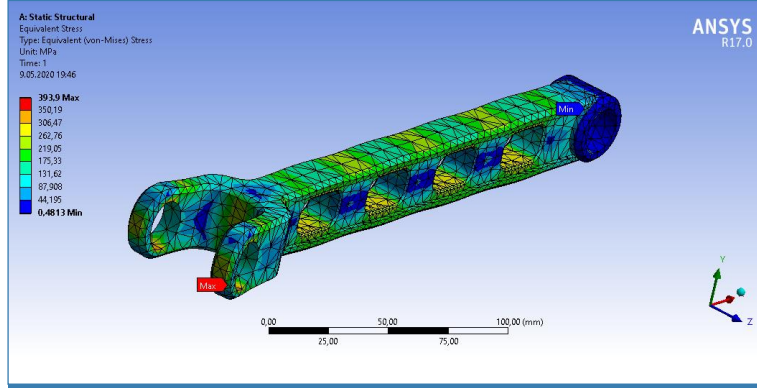
## 7. ANSYS YAZILIMINDA SONUÇLARIN DOĞRULANMASI

Mukavemet ve makine elemanları için yapılan hesaplamaların sonuçları ANSYS yazılımında doğrulanmıştır. İniş takımı dikmesi için her iki tip içinde kritik nokta olan dikmenin katlama için bağlantı noktasında ki çap hesabı %0,23 hata ile hesaplanmıştır.

Kol katlama uzuvlarının alt ve üst kol için kalınlık hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 8) ve makine elemanlarının pernoların, civataların ve pimlerin çap hesaplamaları yapılmıştır. Dahili kilit mekanizmasında bulunan hidrolik silindir için kritik çap hesabı yapılmıştır. İçerisinde bulunan mekanik kilitleme segmenti için ise, üzerine gelen maksimum kesme kuvvetinin teorik hesaplamaları yapılarak



Şekil 8. Dahili Kilit Mekanizması Kesit Görünümü



Şekil 9. (T2) Alt Kol ANSYS Analizi

Tablo 4. Teorik ve ANSYS Sonuçlarının Kıyaslanması

	Dikme Üzerindeki Maksimum Gerilme	Dikmenin Emniyet Katsayısı	Yan Kol Destek Maksimum Gerilme	Yan Kol Destek Emniyet Katsayısı	Segmentin Üzerine Gelen Maksimum Gerilme	Segmentin Emniyet Katsayısı
<b>Teorik</b>	243,3 MPa	1,74	390,1 MPa	2,05	182,4 MPa	2,53
<b>Ansyz</b>	239,93 MPa	1,7553	393,9 MPa	2,1321	185,38 MPa	2,7511

ANSYS’de bu sonuçlar doğrulanmış ve sonuçlardan yola çıkarak segmentin kalınlığı belirlenmiştir. (Tablo 4)

## 8. PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Kinematik ve dinamik hesaplamaların ön boyutlandırma ya göre verilen uzuv boyutları ve kalınlıkları analiz programında kontrol edilerek emniyet katsayısı en az 1,5 olacak şekilde ayarlanmaya çalışılmıştır. Uzuv boyutları ve bağlantı noktaları katlama esnasında daha az yer kaplaması için küçük değişiklikler yapılmıştır. Yan destek katlama kol tipi için alt ve üst katlama kollarının genişlikleri artırılmıştır. Dahili kilit mekanizmasının hidrolik piston çapı ve iç mekanik dahili kilit boyutları gerekli emniyet katsayısının sağlanması için artırılmıştır.

Tablo 5. T1 ve T2 için Parametreler

	Ağırlık [Kg]	Maliyet [₺]	Kapladığı Hacim [m³]	Katlanma Açısı	Katlanma Süresi (s)
<b>T1</b>	43,7	15200	0,08444	86,3°	8
<b>T2</b>	48,1	12165	0,08042	90°	8

## 9. FARKLI İKİ TİP SİSTEMİN KIYASLAMASI

T1 ve T2 ağırlıklarının kıyaslanması, hidrolik yağın sadece hidrolik piston içindeki kısmı düşünülerek yapılmıştır. Bu durumda T2 mekanizmasını daha ağır olduğu gözlemlenmektedir.

### 9.1 Maliyet

İki tip içinde maliyet hesabı, parçaların birim fiyatları hesaplanarak ve kullanılan hazır parçaların fiyatları ile yapılan maliyet çalışmasında T1’in daha pahalı olduğu görülmektedir.

### 9.2 Parametrelerin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Aynı uçak için T1 86,3 derece katlanmakta iken T2 için minimum alan kaplamak için 90 derece katlanmaktadır.

### 9.4 Fonksiyonel özellikler

Her iki tip içinde katlanma süresi 8 saniyedir.

## 10. SONUÇ

Farklı iki tip sistemin kendilerine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu çalışmada belirlenmiş olan T1 ve T2 türü mekanizmalar için avantaj ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- T2 için elektronik bir eyleyici tercihi yapılabilmektedir. Bunun için onun eyleyicisi elektrikli olarak tercih edilmiştir. Çünkü, elektrik birincil kaynak olduğu için hidrolik sistemlerden hem daha yüksek verimlidir hem de herhangi bir hidrolik akışkan barındırmadığından kaçaklar dolayısıyla kirlenme riski barındırmaz. T1'de eyleyici üzerine gelen kuvvetler büyük olduğundan hidrolik bir eyleyici kullanılması uygun görülmüştür. Hidrolik eyleyici, içerisinde bir mekanik kilitleme sistemi barındıran özel bir hidrolik silindiridir.
- T2'de alt ve üst kol olduğu için, ağırlığı dahili kilit mekanizmasından daha fazladır (Tablo 3). Hava araçları için ağırlığın çok önemli olması nedeniyle bu bir dezavantajdır.
- T1'in açılı olarak daha az katlanması gerekmektedir. Bu yüzden hacmi, katlama kol mekanizmasına göre daha büyük olmaktadır. Bu durum uçağın montaj edilecek yere göre değişebilir. Çünkü eğer iniş takımı montaj yerinin yapısı dahili kilide uygun tasarlanırsa daha az bir hacim kaplayabileceği görülmektedir.
- Maliyet olarak sadece mekanik parça fiyatları ve hazırlama standart parça fiyatları göz önüne alınan bu iki tip için, T2'nin T1'den çok daha ucuz olduğu görülmektedir. Parça işlemleri, kalite ve üretim göz önünde bulundurulursa dahili kilit mekanizmasının daha pahalı olacağı öngörülmüştür.

Sonuç olarak, farklı avantajları olan bu iki tip sistemin seçiminde uçağın iniş takımları yerinin yapısı ve bazı diğer parametreler (uçak yapımında kullanılacak maddi imkanlar, üretim de hassasiyet imkanları ve elimizde halihazır-

da kullanılabilir bulunan malzemeler) daha göz önünde bulundurulmalıdır. T1 için hidrolik bir eyleyici kullanılmasından dolayı maliyeti yüksek ve zamanla iniş takımlarını hareket ettirmek için kullanılan hidroliğin sızıntılar sebebiyle uçağın içerisinde istenmeyen bir kirlenme yapması söz konusudur. T2'de ise elektronik bir eyleyici olduğundan hidrolik kaynaklı bir kirlenme olma ihtimali yoktur. Ayrıca daha az yer kaplamakta ve daha az kayıplarla çalışmaktadır ki uçaklar için enerji gerçekten çok önemlidir. Bununla beraber T1'in çalışma mantığı T2'ye oranla daha basittir ve hesaplamaları daha kolaydır.

## KAYNAKÇA

1. 22 Haziran 2016."Havacılık Tarihi,"[https://tr.wikipedia.org/wiki/Havac%C4%B1%C4%B1k\\_tarihi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Havac%C4%B1%C4%B1k_tarihi), 25.05.2020.
2. 27 Ocak 2018. "A Closer Look at Landing Gear,"<https://airandspace.si.edu/stories/editorial/closer-look-landing-gear>, 25.05.2020.
3. **Akdoğan, A.** 10-12 Mayıs 2000. "Uçak Endüstrisinde Kullanılan Metal ve Metal Dışı Malzemeler ve Bu Malzemelerin Muayene Yöntemleri," Y.T.Ü. Makina Fak., Kayseri 3. Havacılık Sempozyumu.
4. ASM Aerospace Specification Metals, Inc. <https://www.aerospacemetals.com/contact-aerospace-metals.html>, 10.05.2020.
5. "Main Landing Gear Sidebrace Actuator/ Downlock Mechanism," [http://code7700.com/g450\\_landing\\_gear](http://code7700.com/g450_landing_gear), 20.05.2020.
6. "Skybolt Aerospace Fasteners Catalog NAS (National Aerospace Standards) Standards," <https://skybolt.com/>, 15.05.2020. "MIL-STD Katalogs (United State Military Standards), 2020," <http://everyspec.com/>, 15.05.2020.
7. 2020. "SKF Rulman Kataloğu,"<https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/spherical-plain-bearings-rod-ends/radial#cid-465388>, 25.05.2020.