

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

MAKAS-MAFSAL MEKANİZMA TEKNİĞİ KULLANILARAK İKİ SERBESTLİK DERECELİ KABLOLU RADYAL MAKAS SİSTEMİ TASARIMI VE EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ

DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING OF TWO-
DEGREE OF FREEDOM WIRED RADIAL SCISSOR
SYSTEM USING SCISSOR-JOINT MECHANISM

Yazarlar (Authors): Ali Rıza Sapmaz^{ID*}, Savaş Dilibal^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sapmaz A.R., Dilibal S. “Makas-Mafsal Mekanizma Tekniği Kullanılarak İki Serbestlik Dereceli Kablolu Radyal Makas Sistemi Tasarımı Ve Eklemeli İmalat Yöntemi İle Üretimi” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 4(3): 253-263, (2020).

DOI:10.46519/ij3dptdi.832922

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

MAKAS-MAFSAL MEKANİZMA TEKNİĞİ KULLANILARAK İKİ SERBESTLİK DERECELİ KABLOLU RADYAL MAKAS SİSTEMİ TASARIMI VE EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ

Ali Rıza Sapmaz ^a , Savaş Dilibal ^a 

^a İstanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Programı, Türkiye

* Sorumlu Yazar: alirizasapmaz@gmail.com

(Geliş/Received: 28.11.2020; Düzeltme/Revised: 20.12.2020; Kabul/Accepted: 27.12.2020)

ÖZ

İki veya daha yüksek serbestlik dereceli makas-mafsalsal mekanizmaları başta endüstriyel robotlar olmak üzere birçok makinada aktif olarak kullanılmaktadır. Günümüzde teknolojik gelişmelerde estetik ve verimlilik için yeni tasarımlar denenmektedir. Makas-mafsalsal mekanizmalarında kuvvet iletimi çoğunlukla piston, kablo ve yay sistemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, radyal hareket kabiliyetine sahip katlanabilir makas mekanizma tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kabloların gerdirilmesi ile içbükey veya dışbükey şekillere dönüştürülebilen iki serbestlik dereceli açılı makas mekanizmasının üretilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen mekanizma tasarımının topolojik optimizasyonu Autodesk Fusion 360 tasarım programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarlanan modelin üretimi eklemeli üretim yöntemi ile 3B yazıcı kullanılarak elde edilmiştir. Üretilen nihai parçalar cıvatalar yardımıyla entegre edilerek makas mekanizması elde edilmiştir. İmalattan sonra mekanizmada ortaya çıkan mekanik sistem kaynaklı sorunlar tasarım üzerinde iyileştirmeler yapılarak çözülmüştür. Üretilen iki farklı prototip üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen sistemin analitik çözümü deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat. Topoloji optimizasyonu. Makas-mafsalsal mekanizması. Anti-paralelkenar.

DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING OF TWO-DEGREE OF FREEDOM WIRED RADIAL SCISSOR SYSTEM USING SCISSOR-JOINT MECHANISM

ABSTRACT

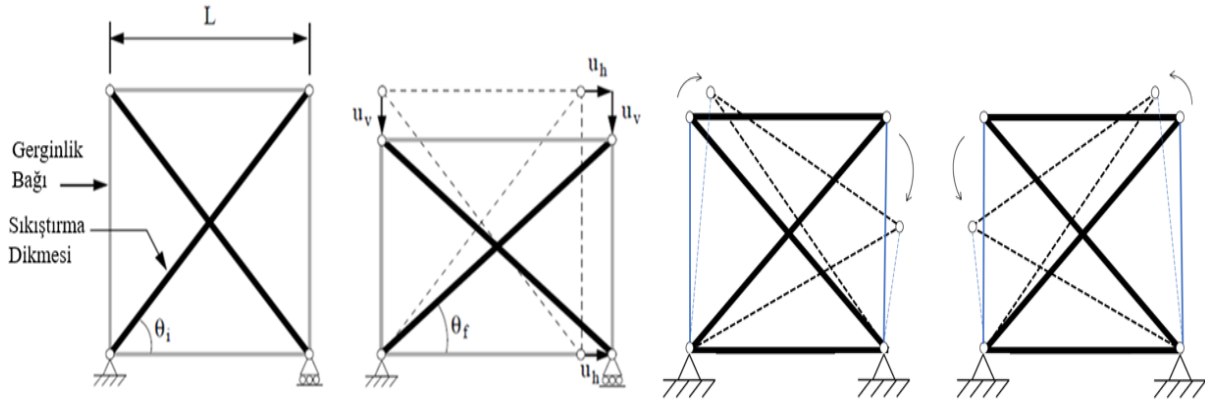
Scissor-joint mechanisms with two or higher degrees of freedom are actively used in many machines, especially industrial robots. Novel designs are being tried for aesthetics and efficiency in technological developments. In scissor-joint mechanisms, force transmission is mostly carried out by piston, cable and spring systems. In this study, foldable scissor mechanism design with radial motion was built. It is aimed to produce scissor mechanisms with two degrees of freedom that can be converted into concave or convex shapes via cables. The topological optimization of the mechanism design was done by using the Autodesk Fusion 360 design program. The production of the designed model was achieved by using the additive manufacturing technology. The final scissor mechanism was obtained by integrating the produced parts. Mechanical system related problems arising in the mechanism after manufacturing were solved by making revisions on the design. Comparisons were made on two different prototypes produced. Additionally, the analytical solution of the obtained system is compared with the experimental results.

Keywords: Additive Manufacturing. Topology optimization. Scissors-joint mechanism. Anti-parallelogram.

1. GİRİŞ

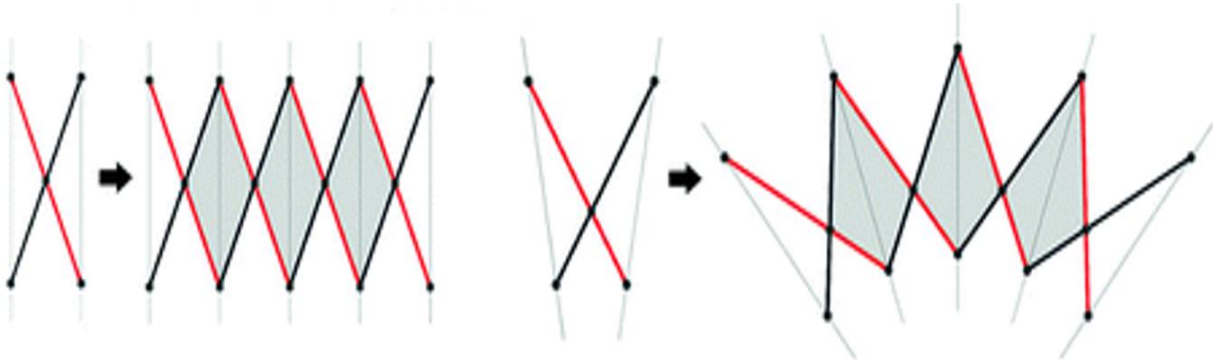
Son yıllarda elde edilen teknolojik gelişmeler mekanik sistem, mekanizma tekniği ile mekatronik sistemlerin gelişimini hızlandırmıştır [1-4]. Birçok mühendislik alanında daha hafif, daha dayanıklı ve daha az yer kaplayan, yüksek hareket kabiliyetine sahip mekanizmalara ihtiyaç artmıştır [5-6]. Özellikle, üretim teknolojileri içerisinde eklemeli imalat yöntemi ile ilgili gelişmeler inovatif mekanizmaların geliştirilmesinin önünü açmıştır [7-8]. Makas-mafsalsal mekanizmaları katlanabilir, konumlandırılabilir ve hareket manevrası yüksek mekanizmalar içinde en fazla tercih edilen mekanizmalar arasında bulunmaktadır [9]. Makas mekanizma teknikleri özellikle eklem hareket sistemlerinde karşılaşılan sorunlara yeni çözümler ortaya koymaktadır [10-11]. Literatürde makas-mafsalsal mekanizmaları üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmasına rağmen, tasarıma yönelik farklı yaklaşımlar geliştirmek hala mümkündür.

Makas mekanizmaları hareket yönüne göre ötelenebilir veya açısalsal makas mekanizmaları olarak iki ana gruba ayrılabilir. Açısalsal makas mekanizma yapıları ile ilgili literatürde üç temel geometrik şekilde konfigürasyon tipi mevcuttur [12]. Bu konfigürasyonlar paralelkenar, eşkenar dörtgen ve deltoid geometrik yapılardan oluşmaktadır. Çoğunlukla makas mekanizmaları ile ilgili gerilme kablo ve yaylar ile gerçekleştirilmektedir. Paralelkenar makas mekanizmaları en fazla tercih edilen makas mekanizmalarındandır. Çapraz paralelkenar veya ters-paralelkenar olarak bilinen bu paralelkenar mekanizmalar eşit uzunlukta iki kısa ve iki kesik uzun kenara sahiptir. Paralelkenar konfigürasyon oluşturan bir bağlantı, hareketin her iki yönünde katlanabilir. Hareket durumunda konfigürasyonun dikey bir eksen etrafındaki ayna simetrisi korunur. Simetri eksenini, uzun kenarların kesişme noktasından geçer.



Şekil 1. Doğrusal ve açısalsal öteleme hareketi sağlayan makas mekanizmaları [12-13]

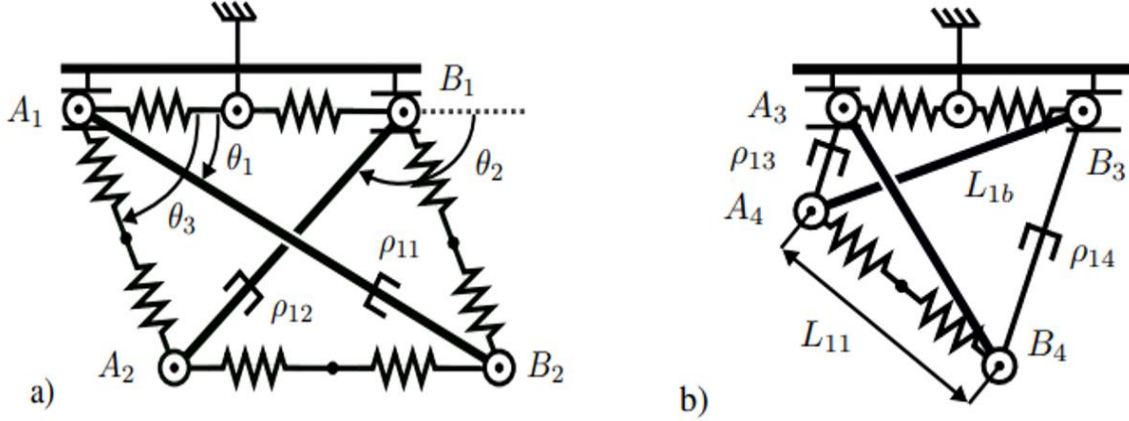
Literatürde bulunan makas mekanizmaları incelendiğinde Şekil 1’de görüldüğü gibi doğrusal ve açısalsal öteleme hareketine sahip makas mekanizmaları görülmektedir [12-13]. Doğrusal öteleme hareketi mekanizmanın boyunun uzayıp kışalmasına etki eden ötelemedir. Açısalsal öteleme hareketi mekanizmanın içbükey ve dışbükey yönde hareketine etki eden ötelemedir.



Şekil 2. Birincil makas elemanları ile üretilen iki makas yapısının konfigürasyon geometrileri[14]

Doğrusal öteleme hareket kabiliyetine sahip makas mekanizmalarının oluşturduğu geometrik şekil eşkenar dörtgendir [14]. Açısal hareket kabiliyetine sahip makas mekanizmasının oluşturduğu geometrik şekil deltoid bir dörtgendir. Şekil 2’de makas mekanizmasının yapıları birleştirilerek oluşturulan konfigürasyonlu mekanizmaların geometrik şekilleri görülmektedir.

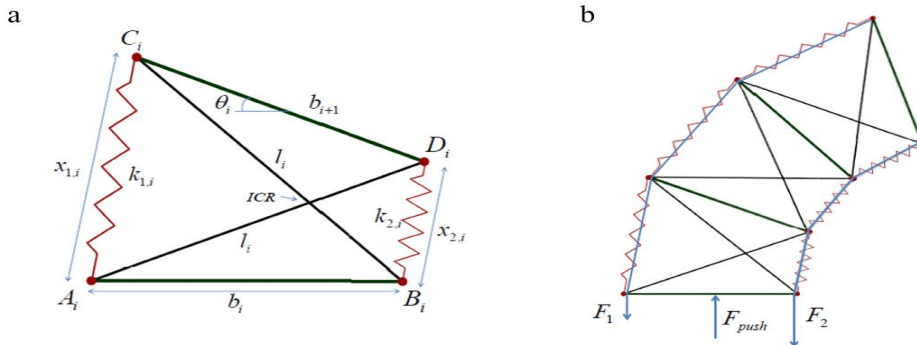
Makas mekanizmaları ile piston, kablo veya yay sistemleri kullanılarak gerginlik ayarı sağlanarak dengede tutma ile ilgili istenilen hareketler elde edilebilir. Makas mekanizmasında piston yardımıyla mekanizmanın doğrusal veya açısal öteleme hareketi için farklı tasarımlar geliştirilebilir. Örnek olarak, kablo ve yaylarla dengelenmiş bir makas mekanizmasını gerginlik sağlayarak kontrol edebilen bir tasarım Şekil 3’de verilmiştir [15].



Şekil 3. a) Yay tahrikli makas mekanizması, b) Yay tahrikli kablolu makas mekanizması [15]

Şekil 3a’da A_1 , A_2 , B_1 , B_2 mafsalları bulunmaktadır. ρ_{11} ve ρ_{12} çubukları boyları ayarlanarak şekildeki gibi pozisyon elde edilmiştir [4]. Çubukların uzunlukları ayarlanarak elde edilen bu mekanizma makro yapılu güçlü sistemlerde kullanılmaktadır. Boyları ayarlanabilen çubuklar genelde pistonlardır. Fakat pnömatrik veya hidrolik piston sistemleri her alanda kullanışlı olamamaktadır. Şekil 3b’de gösterilen mekanizma gerginlik mekanizmaları içerisinde en fazla tercih edilen mekanizmalar arasında bulunmaktadır. Sabit çubuklar ile ρ_{13} ve ρ_{14} kablolarının boyları ayarlanarak öteleme elde edilmiştir. Kablo gergi mekanizmaları her alanda kullanılabilecek yapılara sahiptir. Genellikle elde edilen hareket daha ergonomik ve işlevseldir. Şekil 3b’deki mekanizma hücresi, benzer hücrelerin art arda bağlanması halinde tekrarlanarak uzatılabilir. Her iki mekanizmadaki ortak özellik diğer mekanizmalar gibi ötelenemez sadece açısal öteleme hareketi oluşturabilir.

Deltoid geometrili açısal makas mekanizmalarındaki hareketi etkileyen eyleyicileri en aza indirgenmiş bir mekanizma incelendiğinde sadece kablolarla kontrol edilebilen makas mekanizmaları ortaya çıkmıştır. Şekil 4’de kablolarla radyal öteleme hareketi gerçekleştiren mekanizma görülmektedir. Şekil 4’deki sistemde yaylar mekanizmanın dengede kalmasını sağlamaktadır [16].



Şekil 4. a) Açısal makas mekanizma hücresi b) Açısal makas mekanizmasının 3 hücreli tekrarlayan konfigürasyonu [16]

Tendonlarda bulunan enerji, belirli tendon kuvveti ile alınan mesafenin tendon kuvveti ile çarpımına eşittir. Eş.(1)'de detaylı olarak gösterilmiştir.

$$U_{tendon} = F_{x1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_{1,0} - x_{1,i} \right) + F_{x2} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_{2,0} - x_{2,i} \right) \quad (1)$$

Elde edilen makas mekanizması çevre ile temas halinde olduğundan çevresel yaylar ile oluşan enerji denklemi Eş.(2)'de tanımlanmıştır. Mekanizmanın j temas noktasında çevre üzerinde yaptığı sıkışma U_j olarak tanımlanmıştır. θ_i makas mekanizmasının açısal ötelenme açısıdır. Dört ayrı döner mafsal sırası ile A,B,C,D'dir. Şekil 4.a'da ICR anlık rotaston merkezidir. Sistemde tendom sabiti k ile gösterilmiştir. Çapraz çubukların uzunluğu l ile belirtilmiştir. Çapraz çubuklara bağlı çubukların uzunluğu b ile gösterilmiştir.

$$U_{temas} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (U_j)^2 \quad (2)$$

Toplam potansiyel enerji denklemi Eş.(3) ile gösterilmiştir;

$$U_{toplam} = U_{tendon} + U_{temas} \quad (3)$$

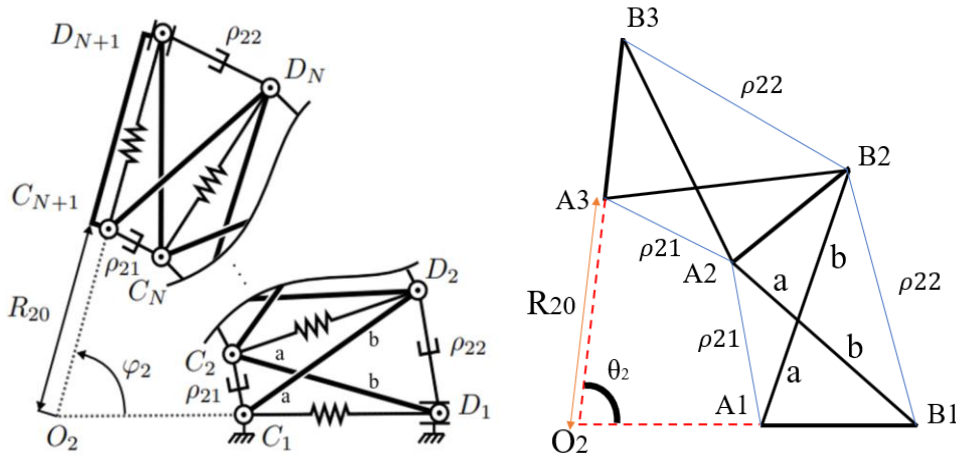
j noktasındaki temas kuvveti F_{temas} 'dir. F_{toplam} Eş.(4)'de gösterilen formüller ile hesaplanır.

$$F_{temas} = U_j \quad (4)$$

$$F_{toplam} = F_{temas} + F_{x1} + F_{x2}$$

2. KABLOLU RADYAL MAKAS SİSTEMİNİN MEKANİK TASARIMI

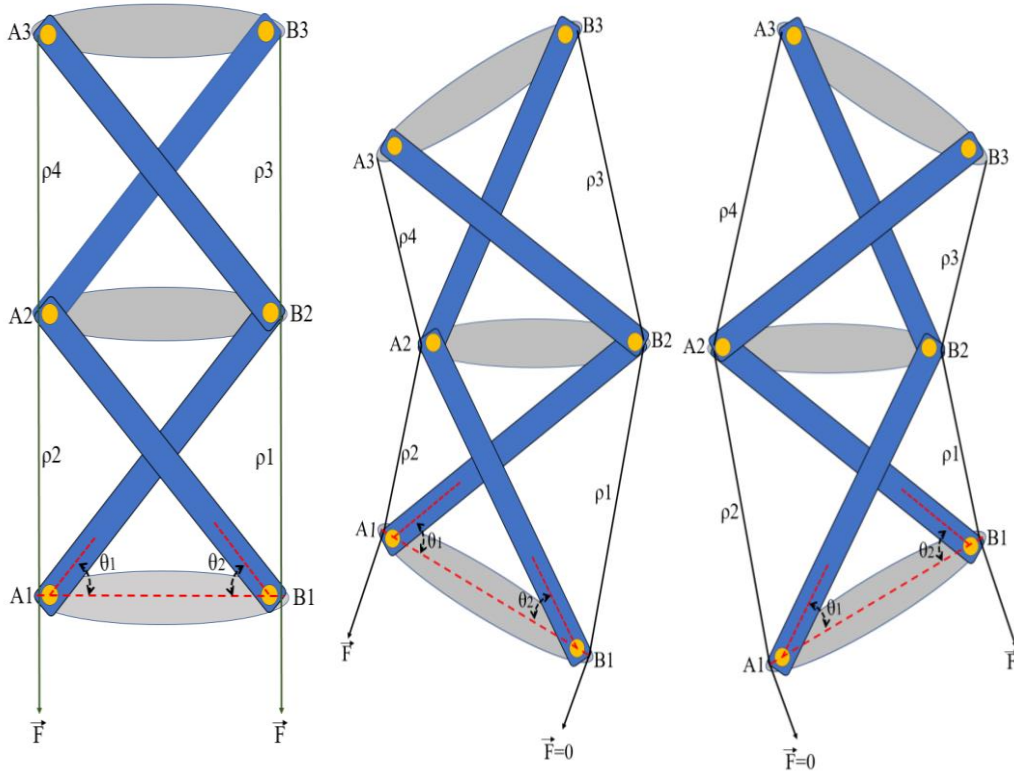
Tasarlanan iki serbestlik dereceli anti-paralelkenar makas mekanizmasında döngüsel hücreler kullanılarak radyal öteleme elde etmek için kablolarla gerdirme kuvveti uygulanmalıdır. Şekil 5'te Deltoid geometrili açısal makas mekanizması ve tasarlanan mekanizma ile karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 5. Deltoid geometrili açısal makas mekanizması [15] ve tasarlanan mekanizma ile karşılaştırılması

Radyal makas yapıları, konfigürasyonel hücre elemanlarının kullanımına dayanır. Şekil 5'te gösterilen çubukların toplam uzunluğu $a+b = L_{2b}$ 'ye eşittir [17]. Makas benzeri elemanlar tasarımına benzetilerek oluşturulan Snelson Cross kablo kuvvetiyle çalışır. Basit geometrik yapıları kullanarak Snelson çaprazı ve Thales teoremi ile makas benzeri elemanların aynı konfigürasyona sahip olduğunda sistem dengede Eş. (5)'deki eşitlikle gösterilebilir.

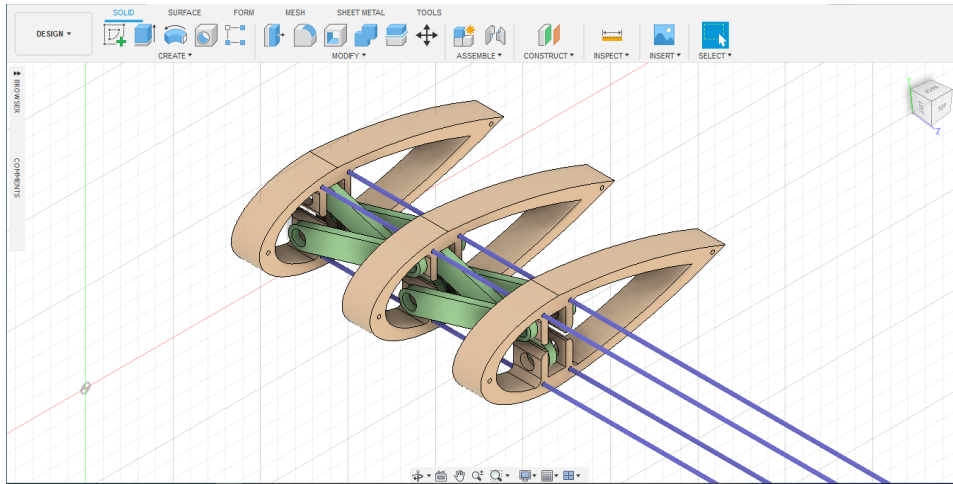
$$\frac{a}{b} = \frac{\rho_{21}}{\rho_{23}} \quad (5)$$



Şekil 6. Açısal makas mekanizmasında kabloları uygulanan F kuvvetine göre elde edilen öteleme hareketi

Makas mekanizmasındaki her bir konfigürasyon, bir birim hücre olarak kabul edilir. Tasarlanan makas mekanizması iki hücreli konfigürasyonlardan oluşmaktadır. İki serbestlik dereceli makas mekanizmasının makas kısmını oluşturan kirişler aynı ölçüdedir. Kirişlerin monte edildiği mafsalların bulunduğu eklem yerleri aynı ölçüdedir. Mafsalların merkezinden açılan deliklerden tahrik kabloları geçmektedir. Kabloları aynı anda bir kuvvet uygulandığında mafsallarda bir gerginlik oluşur. Bu uygulanan kuvvetler birbirine eş değerde olduğu zaman mekanizma dengede durmaktadır. Kablolardan herhangi birindeki kuvvet azaldığı veya sıfır olduğunda mekanizma kuvvetin fazla olduğu yöne doğru hareket etmektedir. Mekanizma kablolardaki kuvvet çeşitlerine göre Şekil 6'daki gibi hareket kabiliyeti sağlar.

Sistem denge durumunda iken mekanizma herhangi bir radyal hareket yapmaz ve bu nedenle parçaların tamamı simetrik ve eştir. Parçalara ait ölçüler; $a = 22,5 \text{ mm}$, $b = 22,5 \text{ mm}$ ve $L_{2b} = 55 \text{ mm}$ 'dir. Eş.(5) eşitliğindeki gibi $a/b = 1$ 'dir. Şekil 7'de geliştirilen mekanizma tasarımının topolojik optimizasyonu görülmektedir.



Şekil 7. Geliştirilen mekanizma tasarımının topolojik optimizasyonu

Snelson çaprazı teorisinin geometrisi olduğu zaman makas mekanizmalarının ileri kinematik modelinin Eş. (6) formülündeki gibi yazılabilir.

$$R_{20} = \frac{\rho_{21} \sqrt{L_{2b}^2 - \rho_{21} \rho_{22}}}{\rho_{22} - \rho_{21}}$$

$$\varphi_2 = N \cdot \arccos \left(\frac{2R_{20}^2 - \rho_{21}^2}{2R_{20}^2} \right) \quad (6)$$

Formülde tasarımın parametreleri yerlerine konularak sonuçlar elde edilebilmektedir. Çizelge 1'de Açısal makas mekanizmasının maksimum radyal hareket parametre değerleri görülmektedir.

$$R_{20} = \frac{40 \sqrt{55^2 - (40 \times 60)}}{60 - 40}, R_{20} = 50 \text{ mm olarak bulunur.}$$

$$\varphi_2 = 2 \cdot \arccos \left(\frac{2x(50)^2 - 40^2}{2x(50)^2} \right), \varphi_2 = 94,31^\circ \text{ dir.}$$

Çizelge 1. Açısal makas mekanizmasının maksimum radyal hareket parametre değerleri

a	B	L _{2b}	ρ ₂₁ _{min}	ρ ₂₂ _{max}	R ₂₀	N	φ ₂
22.5 mm	22.5mm	55 mm	40 mm	60 mm	50mm	2	94,31

Ters kinematik model formülü Eş.(7) 'deki gibi türetilir.

$$\rho_{21} = R_{20} \sqrt{2 \left(1 - \cos \left(\frac{\varphi_2}{N} \right) \right)}$$

$$\rho_{22} = \rho_{21} \left(\cos \left(\frac{\varphi_2}{N} \right) + \sqrt{\cos \left(\frac{\varphi_2}{N} \right)^2 + \frac{L_{2b}^2}{R_{20}^2} - 1} \right) \quad (7)$$

Bununla birlikte ters kinematik model formülünü çözerek verilerin doğruluğu kontrol edilebilir.

$$\rho_{21} = 50 \sqrt{2 \left(1 - \cos \left(\frac{94,31}{2} \right) \right)}, \rho_{21} = 39.99 \text{ mm olarak bulunur.}$$

$$\rho_{22} = 39,99 \left(\cos \left(\frac{94,31}{2} \right) + \sqrt{\cos \left(\frac{94,31}{2} \right)^2 + \frac{55^2}{50^2} - 1} \right), \rho_{22} = 59,98 \text{ mm' dir}$$

Eş.(5) kullanılarak ρ₂₁/ρ₂₂ oranı ile uzaklık hareket merkezi bulunabilir. Sistemde uzaklık hareket merkezi 40/60 = 0,66 olarak bulunur.

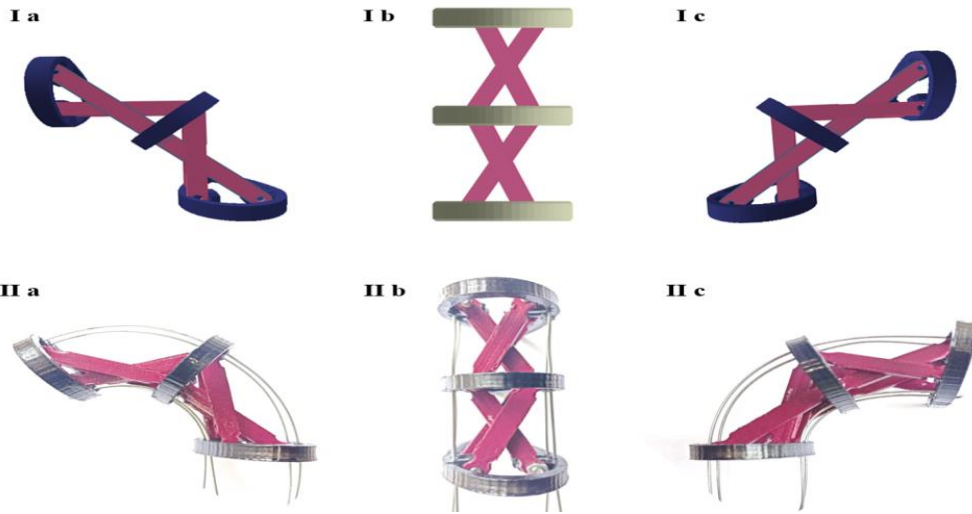
3. KABLOLU RADYAL MAKAS SİSTEMİNİN KATMANLI İMALATI

Tasarlanan mekanizmanın bilgisayar destekli çizim programı ile tüm alt parçaları çizilmiştir. Çizilen tasarımların STL uzantılı dosyaları 3B yazıcı programına yüklenerek eklemeli imalat yapılmıştır. Katman kalınlığı 0.15 mm normal yüzey kalitesinde ayarlanmıştır. Doluluk oranı veya yoğunluğu %60 olarak ayarlanmıştır. Bu sayede orta kalitede bir yüzey ve mukavemet olarak sağlam bir ürün elde edilmiştir. Üretimde PLA filament malzemesi kullanılmıştır. Yazıcının baskı hızı 60 mm/s olarak ayarlanmıştır. Nozul sıcaklığı normal şartlar altında 200 °C yeterlidir [18] fakat yazdırma hızı normalin üstünde olduğu için nozul sıcaklığı 220 °C olarak ayarlanmıştır. Yazıcı baskı parametreleri Çizelge 2'de yer almaktadır.

Parçaların üretim hızı üretim kalitesi ile doğru orantılıdır. Yoğunluğu azaltarak veya katman kalınlığını artırarak ürün daha hızlı bir şekilde üretilir fakat bu durum parçanın mukavemetini ve yüzey kalitesini düşürmektedir. Parçaların toplam üretim süresi 380 dk. sürmüştür. Üretimden sonra parçalar birleştirilerek makas mekanizması oluşturulmuştur. Kablolar yuvalarından geçirilerek makas mekanizması kullanıma hazır hale getirilmiştir. Deneysel çalışmalarda çapraz kirişler birbirine baskı uyguladığından içbükey ve dışbükey hareketleri sırasında harekette kısıtlamalar oluşmuştur. Çapraz kirişlerde zamanla sürtünmeden dolayı aşınmalar oluşabilir. Sürtünen parçalar Şekil 8’de görülmektedir.

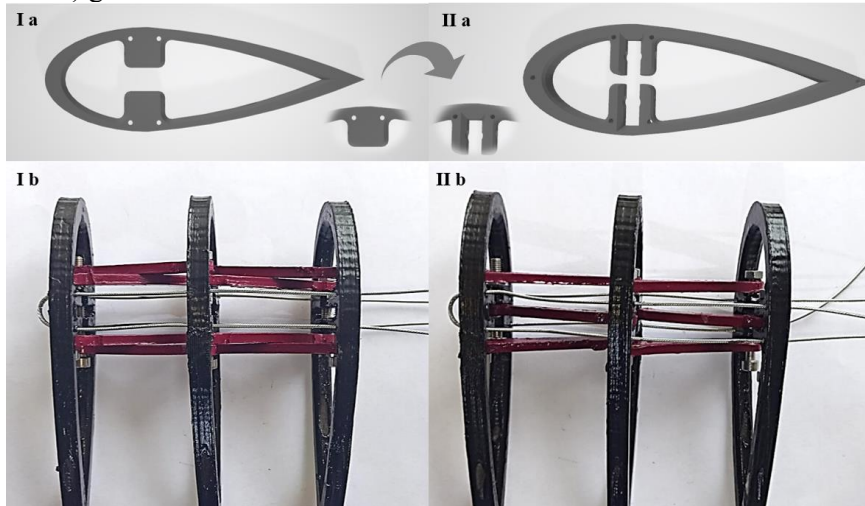
Çizelge 2. 3B yazıcının katmanlı imalat ayar parametreleri

Katman Yüksekliği	İç Dolgu Oranı	Dış Duvar Kalınlığı	İç Dolgu Deseni	Baskı Hız Ayarı	Nozul Sıcaklığı
0,15 mm	%60	0,8 mm	Izgara	60 mm/s	220 °C



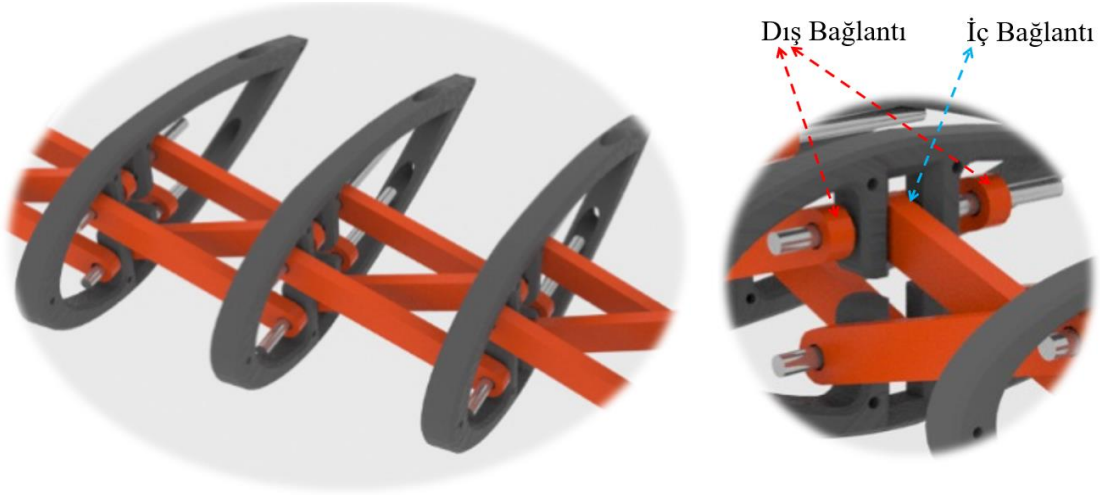
Şekil 8. İki serbestlik dereceli radyal makas mekanizmasının 3B çizimi (Ia, b, c) ve katmanlı imalatla üretilmiş prototipi (IIa, b, c)

Mekanizmada sürtünme katsayısının artmasından dolayı kuvvet gereksinimi artabilir. Bu nedenle tasarımda çapraz parçaların birbirine temas etmeyeceği yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Yeni tasarımda, çapraz kirişlerin bağlandığı mafsal kısımlarındaki bütün bölümün ortasında kanal oluşturularak çapraz çubukların iç kısımda kalan bölümü açılan bu kanal kısmına alınmıştır. Bu sayede kirişlerin arasında mafsalların bağlandığı boşluk kadar mesafe oluşmuş ve temas eden yüzeyler birbirinden uzaklaştırılmıştır. Şekil 9’da mekanizmada değişiklik yapılan kısım (Ia ve IIa) ve mafsal bağlantısının son yapısı (Ib ve IIb) görülmektedir.

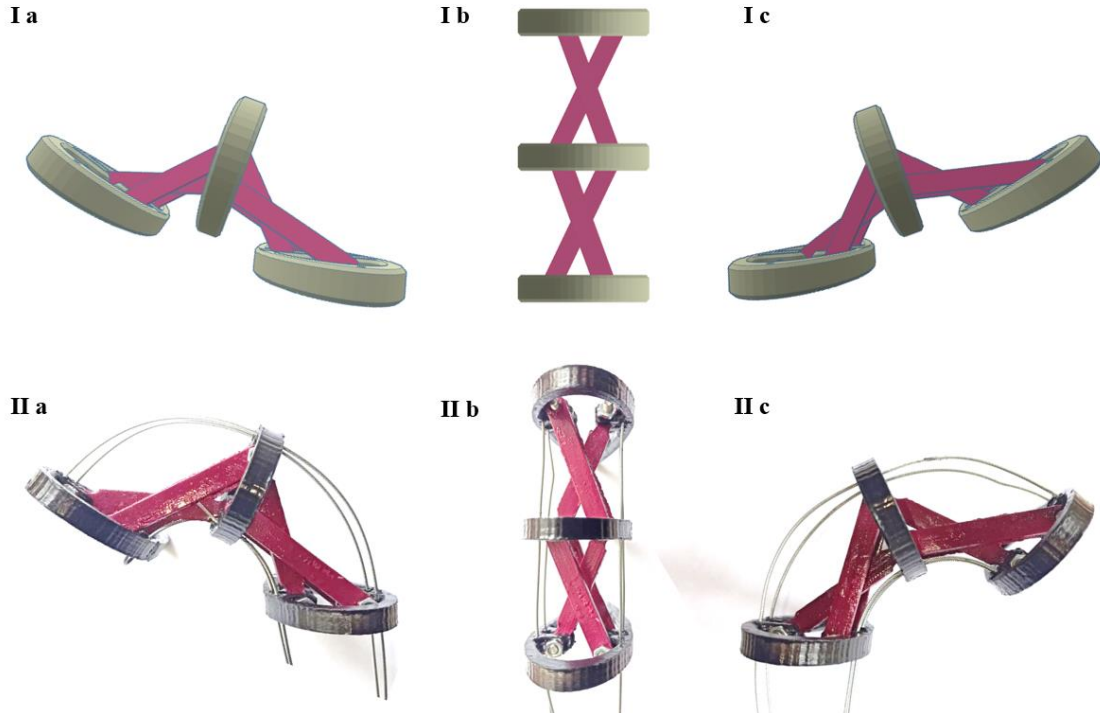


Şekil 9. Ia ve IIa: Mekanizmada değişiklik yapılan kısım. Ib ve IIb: Mafsal bağlantısının son yapısı

Geliştirilen yeni tasarımın aynı baskı parametreler kullanılarak üretimi toplam 180 dk. sürmüştür. Parametre değerleri Çizelge 2’de görülmektedir. Önceki tasarımda mafsallardaki bağlantılarda kirişlerin montajında kirişlerin birbirine temas halinde olduğu durum değiştirilmiştir. Kirişlerin iç bağlantıları ile yer değişikliği Şekil 10’da görülmektedir. Önceki tasarımda iç ve dış bağlantılarda iki çubuk bulunurken yeni tasarımda dış kısım da iki, iç kısımda bir bağlantı kirişi bulunmaktadır. İç kısımdaki kirişin teke düşmesi üzerine etki eden kuvveti iki kat artmıştır. Şekil 11’de makas mekanizması kullanılarak geliştirilen eklem yapısının 3B çizimi (I) ve üretilen prototip (II) görülmektedir.



Şekil 10. Eklemeli imalatla geliştirilen mekanizmanın mafsallardaki iç ve dış bağlantılar



Şekil 11. Makas mekanizması kullanılarak geliştirilen eklem yapısının 3B çizimi (I) ve üretilen prototip (II)

DeneySEL çalışmalarda, geliştirilen tasarımın ilk tasarıma kıyasla radyal hareketinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 10’da hareket kabiliyeti açık olarak görülmektedir. Bu nedenle, ρ_{21} ve ρ_{22} uzunlukları değişmiştir. Bu uzunluklara bağlı olarak R_{20} ve ϕ_2 değerleri de değişmektedir. Bu sebeple yeniden hesaplama gerekmiştir. Çapraz kirişlerin sürtünme problemi ortadan kalkmıştır. Böylece, sürtünmeden dolayı kuvvet kaybı azalmıştır. Mafsallı bağlantı kısmında iç kısımda bulunan çapraz kiriş sayısı teke indirilmiştir.

$$R_{20} = \frac{35\sqrt{55^2 - (35 \times 65)}}{65 - 35}, \quad R_{20} = 31,95 \text{ mm olarak bulunmuştur.}$$

$$\varphi_2 = 2 \cdot \arccos\left(\frac{2x(31,95)^2 - 35^2}{2x(31,95)^2}\right), \quad \varphi_2 = 132,96^\circ \text{ dir.}$$

Ters kinematik formülü ile çözümlerin doğruluğunu kontrol etmek için;

$$\rho_{21} = 31,95 \sqrt{2 \left(1 - \cos\left(\frac{132,96}{2}\right)\right)}, \quad \rho_{21} = 35,02 \text{ mm olarak bulunur.}$$

$$\rho_{22} = 35,02 \left(\cos\left(\frac{132,96}{2}\right) + \sqrt{\cos\left(\frac{132,96}{2}\right)^2 + \frac{55^2}{31,95^2} - 1} \right), \quad \rho_{22} = 65,08 \text{ mm'dir. Eş.(7)}$$

kullanılarak ρ_{21}/ρ_{22} oranı ile uzak hareket merkezi bulunabilir. Uzaklık hareket merkezi $35/65 = 0,538$ olarak bulunur. Çizelge 3'te geliştirilen açıl makas mekanizmasının maksimum radyal hareket parametre değerleri görülmektedir.

Çizelge 3. Geliştirilen açıl makas mekanizmasının maksimum radyal hareket parametre değerleri

a	b	L_{2b}	$\rho_{21_{\min}}$	$\rho_{22_{\max}}$	R_{20}	N	φ_2
22.5 mm	22.5mm	55 mm	35 mm	65 mm	31,95 mm	2	132,96

4. SONUÇ

Bu çalışmada içbükey ve dışbükey şekillere dönüşebilen iki serbestlik dereceli açıl makas mekanizmasının iki hücreli tekrarlayan konfigürasyonunun tasarlanması ve eklemeli imalat yöntemi ile üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Deltoid veya paralel kenar geometrisindeki makas mekanizmalarındaki hücreler konfigürasyonel olarak birleştirilerek amaca uygun oranda açıl makas mekanizması elde edilebilmektedir. Eklemeli imalat sürecinde 3B yazıcı parametreleri ayarları ürün kalitesi ve mukavemeti için uygun bulunmuştur. Tasarlanan makas mekanizmasındaki çapraz kirişlerin birbirine baskı uygulaması oluşabilecek aşınma ve sürtünmeden kaynaklı kuvvet gereksinimini azaltmak için iyileştirilerek tasarımda değişikliğe gidilmiştir. Yapılan tasarım üzerindeki değişiklik sayesinde çapraz kirişlerdeki sürtünmeden dolayı oluşan kasmalarının giderilmesi, üretilen makas mekanizmasının hareket kabiliyetindeki radyal hareketi arttığı gözlemlenmiştir. Mekanizmadaki maksimum iç veya dışa bükülme açısı (φ_2) $94,31^\circ$ 'den $132,96^\circ$ 'ye artmıştır. Ayrıca, mafsal bağlantılarındaki çapraz kirişlerin sayısı teke düşürülmüştür. Birbirine zıt yönde olan bu parçaların iç kısmında tek, dış kısımlarda çift kiriş bulunmaktadır. Yeni tasarımdaki iyileştirmenin dezavantajı ise iç kısımlardaki kirişlerin yükünü iki katına çıkartması olmuştur. Bu dezavantajı iç kısımlardaki bağlantılarda kullanılan kirişlerin üretiminde mukavemetini artırarak giderilebilmektedir. Geliştirilen yeni tasarımın temel avantajı üretimde parça sayısının azalması nedeniyle maliyet ve toplam üretim süresinin azalması olmuştur. Ayrıca, uygulanan kuvvet kazancı ve sistemin hareket kabiliyetinin artması da yeni tasarımda önemli avantaj sağlamıştır. Her iki makas mekanizması tasarımı için Snelson çaprazı teorisinin geometrisi ile oluşturduğu ileri kinematik modeli analitik olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar ters kinematik çözümleri ile desteklenmiştir. Sistemde, mekanizmaya bağlı çelik kablolar sayesinde içbükey ve dışbükey hareket elde edilmiştir. Prototipi geliştirilen makas mekanizmasında kabloların biri gerdirildiğinde içbükey hareket, diğeri gerdirildiğinde dışbükey hareket elde edilmektedir. Makas mekanizmasında istenilen radyal hareket, gerdirilen kabloların aldığı mesafe ile doğru orantılıdır Mekanizmada bulunan kabloların istenilen ölçüde gerdirme mesafesi ile sistem üzerinde istenilen radyal hareket elde edilebilir Ayrıca, elde edilen makas mekanizmasında istenen çalışma zarfına göre hücre sayısı istenildiği gibi artırılabilir. Mekanizmadan elde edilen radyal hareket kabiliyeti farklı mekatronik sistemlerde eyleyici mekanizmalarında aktif olarak kullanılabilir. Gelecek çalışmada, geliştirilen makas mekanizması sisteminin vatoz balığı kanat mekanizması olarak kullanılması araştırılacaktır. Geleneksel eyleyici sistemleri olarak kullanılan elektrik motor, pnömatik/hidrolik sistem elemanlarının boyutlarının mekatronik sistem içerisine sığmadığı veya yerleştirilme güçlüğü çekildiği mekatronik/robotik sistemlerde, geliştirilen makas-mafsal mekanizma tekniğinin aktif olarak kullanımı planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada desteklerinden dolayı Sayın Sebahattin Çakı (CFCONTROL)'ya teşekkürlerimizi bildiririz.

KAYNAKLAR

1. Gheshmi, S., Shahinpoor, M., “Robotic surgery: smart materials, robotic structures, and artificial muscles.” Pan Stanford Publishing, 2015.
2. Dilibal, S., Sahin, H., Çelik Y., “Experimental and numerical analysis on the bending response of the geometrically gradient soft robotics actuator.” Archives of Mechanics, Vol: 70, Issue 5, Pages 391-404, 2018.
3. Dilibal, S., “Nikel-titanyum şekil bellekli alaşım üretimi ve şekil bellek eğitimi”, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
4. Dilibal, S., Sahin, H., Dursun, E., Engeberg, E.D., “Nickel–titanium shape memory alloy-actuated thermal overload relay system design.”, Electrical Engineering, Vol: 99, Issue 3, 2017.
5. Dilibal, S., “Stabilized actuation of a novel NiTi shape memory alloy actuated flexible structure under thermal loading.”, Materiali in Tehnologije, Vol: 52, Issue 5, Pages 599-605, 2018.
6. Dilibal, S., “The effect of long-term heat treatment on the thermomechanical behavior of NiTi shape memory alloys in defense and aerospace applications.”, Defense Science Journal, Vol: 15, Issue 2, Pages 1-23, 2016.
7. Peduk, G., Dilibal, S., Harrysson, O., Ozbek, S., West, H., “Characterization of Ni–Ti alloy powders for use in additive manufacturing.”, Russian Journal of Non-Ferrous Metals, Vol: 59, Issue 4, Pages 433-439, 2018.
8. Ozbaran, C., Dilibal, S., “Parallel jaw robotic gripper design and production with additive manufacturing method by using horizontal and vertical rack and pinion gear mechanism”, Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., Vol: 4, Issue 2, Pages 139-151, 2020.
9. Kokawa, T., Hokkaido, T., “Cable scissors arch–marionettic structure”, IASS International Colloquium, Pages 107–114, 1997.
10. Maden, F., Korkmaz, K., Akgn, Y., “A review of planar scissor structural mechanisms: geometric principles and design methods”, Architectural Science Rev., Vol: 54, Issue: 3, Pages 246–257, 2011.
11. Matheou, M., Phocas, M.C., Christoforou, E.G., Miller, A., “On the kinetics of reconfigurable hybrid structures”, J. of Building Eng., Vol. 17, Pages 32–42, 2018.
12. Dos Santo, F.A., Rodrigue, A., Micheletti, A., “Design and experimental testing of an adaptive shape-morphing tensegrity structure, with frequency self-tuning capabilities, using shape-memory alloys”, Smart Materials and Structures, Vol: 7, 2015.
13. Skelton, R.E., De Oliveira, M.C., Tensegrity systems, Springer, 2009.
14. Gur, S., Karagoz, C., Kiper, G., Korkmaz, K., “Synthesis of Scalable Planar Scissor Linkages with Anti-Parallelogram Loops”, Proceedings of the 7th European Conference on Mechanism Science, Page 3, 2019.
15. Begey, J., Vedrines, M., Renaud, P., “Design of Tensegrity-based Manipulators: comparison of two approaches to respect a remote center of motion constraint”, IEEE Robotics and Automation Letters, Pages 2-7, 2020.
16. Bakker, D.L., Matsuura, D., Takeda, Y., Herder, J.L., “Design of an Environmentally Interactive Continuum Manipulator”, The 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, Pages 5-6, 2015.

17. Arsenault, M., Gosselin, C.M., “Kinematic and static analysis of a planar modular 2-DoF tensegrity mechanism”, IEEE Int. Conf. on Robotic and Automation, Pages 4193–4198, 2006.
18. Yu, W., Wang, X., Ferraris, E., Zhang, J., “Melt crystallization of PLA/Talc in fused filament fabrication”, Materials and Design, Vol: 3, 2019.