



## **Bir radar anten yapisinin titresim özelliklerinin topolojik optimizasyon teknigi ile iyilestirilmesi**

**Baran, Ismet; Özgen, Gökhan O.; Cigeroglu, Ender**

*Published in:*  
Proceedings of the Congress of Defense Technologies (SAVTEK2010)

*Publication date:*  
2010

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Baran, I., Özgen, G. O., & Cigeroglu, E. (2010). Bir radar anten yapisinin titresim özelliklerinin topolojik optimizasyon teknigi ile iyilestirilmesi. In *Proceedings of the Congress of Defense Technologies (SAVTEK2010)* (pp. 167-177)

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# BİR RADAR ANTEN YAPISININ TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN TOPOLOJİK OPTİMİZASYON TEKNİĞİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

İsmet BARAN<sup>(a)</sup>, Gökhan O. ÖZGEN<sup>(b)</sup>, Ender CİĞEROĞLU<sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> ODTÜ, Makina Müh. Böl., 06531, Ankara, e144590@metu.edu.tr

<sup>(b)</sup> Y. Doç. Dr. ODTÜ, Makina Müh. Böl., 06531, Ankara, gozgen@metu.edu.tr

<sup>(c)</sup> Y. Doç. Dr. ODTÜ, Makina Müh. Böl., 06531, Ankara, ender@metu.edu.tr

## ÖZET

Bu bildiriye sunulan çalışmada bir radar anten yapısının titreşim karakteristiği topolojik optimizasyon tekniği kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyon çalışması antenin yapısal titreşimlerinin antenin fonksiyonel performansı üzerindeki ters etkilerini minimize etmek amaçlı gerçekleştirilmiştir. Radar anten yapısının detay tasarımı kritik doğal frekanslar maksimize edilecek şekilde optimizasyon sonuçları doğrultusunda değiştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Radar, Anten, Titreşim, Topolojik Optimizasyon, Sonlu Eleman Yöntemi, Yapısal Optimizasyon, ANSYS.

## ABSTRACT

In this study, vibration characteristics of a radar antenna structure is optimized using a topological optimization approach. The objective of the optimization effort is the minimization of the adverse affects of structural vibrations on the functional performance of the radar antenna. Based on the optimization results, the structural design of the radar antenna structure is modified such that the critical natural frequencies of the structure are minimized.

**Keywords:** Radar, Antenna, Vibration, Topology Optimization, Finite Element Method, Structural Optimization, ANSYS.

## 1. GİRİŞ

Statik ve dinamik yapısal yer değiştirmeler, hava araçlarında bulunan antenlerin ve anten alt sistemlerinin çalışma performansında ciddi olumsuz

etkiler yaratmaktadır. Özellikle dinamik yer değiştirmelerin ki bunlar mekanik titreşimler olarak tanımlanabilir, sebepleri ve bunların anten sistemleri üzerine etkileri antenin detay tasarımı gerçekleştirilirken göz önüne alınması gereken konulardır.

Mekanik titreşimlerin ana sebepleri hava platformunda bulunan dairesel harekete sahip g üreten ve aktaran alt sistemler ve aerodinamik yklemelerdir. Bir hava platformuna entegre edilmiş radar antenin yüzeyinde herhangi bir sebepten oluşabilecek çarpıklıklar ve bozukluklar, antenin işıma karakteriştiğini etkiler, antenin fiziksel doğrultu ekseninde hatalara yol açar ve yan lob değerlerini artırır [1]. Statik yer değiştirmelerin ve titreşimlerin anten performansına etkileri ve bu etkileri dengeleme teknikleri NATO Araştırma Görev Grubu'nda çalışılmıştır [2].

Bu bildiriye anlatılan çalışmada genel bir faz dizi radarın yapısal tasarımı sonlu elemanlar yazılımı ANSYS'in topolojik optimizasyon modülü kullanılarak kritik doğal frekans maksimize olacak şekilde değiştirilmiştir.

## **2. TİTREŐİMİN RADAR ANTEN YAPISINA ETKİSİ**

Faz dizi antenlerde, anten yapısındaki mekanik titreşimler antenin etkili olarak elektrik alanı almasını veya iletmesini engeller ve antenin tarama etkinliğini köreltir [3]. Faz dizi anten üzerindeki elemanların konumu ve elemanlar üzerindeki yer değiştirme değerleri, elemanların aldığı/iletteği elektrik alanına etki eder ki bu da dizi elemanların işıma yönüne negatif bir etkide bulunur. Bu yüzden faz dizi elemanların performansı anten yüzeyini oluşturan düzlemdeki eğilme titreşimlerinden etkilenmektedir. Bu tür titreşimlerin yüksek seviyede olduğu durumlarda yansıyan sinyaller faz elemanlarına farklı zamanlarda ulaşacağından radar anten sisteminin doğru bir şekilde çalışması olumsuz yönde etkilenecektir [4]. Aynı titreşimler antenin açıya bağlı vektör fonksiyonunu da etkilemektedir.

Titreşimlerin olumsuz etkilerini gidermenin bir yolu pasif veya aktif metotlar kullanarak titreşimleri, gözlendiği noktada kontrol etmektir. Bir diğer alternatif ise antenin, fonksiyonel (radar) performansını olumsuz etkileyebilecek kritik olan doğal frekanslarını ve biçim şekillerini, anten yapısının entegre edildiği platformdan antene aktarılan titreşimlerin etkin olduğu frekans aralığının dışına telemektir. Mesela, helikopter platformlarına entegre edilen bir radarın maruz kalacağı titreşimlerin 0-500 Hz arasında etkin olduğu ilgili askeri standartlarda da belirtildiği üzere bilinmektedir. Bu frekans aralığının dışındaki titreşimler hem yer değiştirme seviyesi olarak küçüktür hem de antenin platforma entegrasyonunda kullanılan titreşim izolasyon sistemi tarafından etkili bir şekilde szlebilmektedir. Anten yapısının doğal frekansları platforma entegrasyonda dikkate alınan frekans aralığının dışına kalır ise aynı frekans aralığında anten titreşimleri rezonans davranışı göstermeyeceği için titreşim kaynaklı performans düşüşü de en aza indirgenebilir. Böyle bir durumu sağlamak için anten yapısının tasarımı optimizasyon teknikleri kullanılarak değiştirilebilir. Bu amaçla topoloji optimizasyonunun kullanımı mümkündür. Bu

bildiride genel bir faz dizi anten yapısının tasarımı, ANSYS programının topolojik optimizasyon modülü kullanılarak değiştirilmiştir. Çalışmanın detayları bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

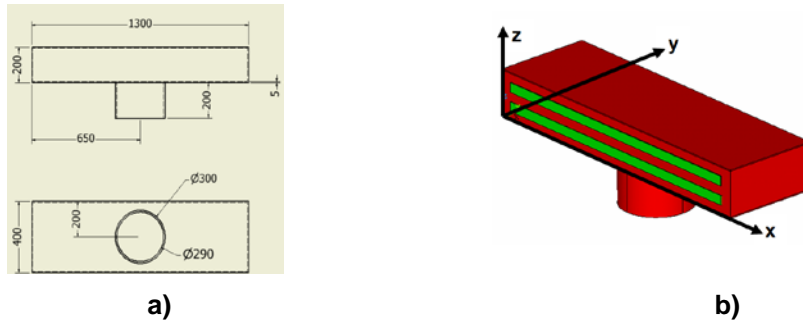
### 3. ANTEN YAPISINDA TOPOLOJİK OPTİMİZASYON UYGULAMASI

Topolojik optimizasyon, şekil optimizasyonunun özel bir durumudur. Literatürde bazen düzen optimizasyonu olarak da geçebilir. Topolojik optimizasyonun amacı sistemi oluşturan malzemenin en iyi kullanım dağılımını bulmaktır. Temel amaç, hedef fonksiyonunu (sistemin global direngenliği, doğal frekans, gibi) belirli sınırlamalar (toplam hacim azalması gibi) altında maksimize veya minimize etmektir. Topolojik optimizasyon sonucunda yapının optimize edilen kısımlarını oluşturan malzemenin, hedefi sağlayacak en iyi şekilde dağılımı her bir sonlu elemanın sözde yoğunluğu  $\rho_e$  ile gösterilebilir.  $\rho_e$ 'nin 1'e yakınsaması ilgili elemanın kapladığı hacimde malzemenin kullanılacağını, 0'a yakınsaması ise malzemenin kullanılmayacağını göstermektedir.

Bu bildiride anlatılan ANSYS kullanılarak gerçekleştirilmiş olan topolojik optimizasyon uygulamasında hedef fonksiyon olarak anten yapısının radar performansı açısından kritik olan doğal frekansı belirlenmiş ve bu değer maksimizasyonu hedeflenmiştir. Üzerinde çalışılan radar anten yapısının geometrisi bir adet şaft ve kapalı bir dikdörtgen kutudan meydana gelmektedir (bkz Şekil 1). Anteni oluşturan yapının malzemesi Al-6000'dir. Anten yapısının sınır koşulu olarak şaftın tabandaki tüm serbestlik dereceleri sabitlenmiştir.

Antenin titreşim karakteristiğinin belirlenmesinde sadece ilk altı biçim şekli dikkate alınmıştır. Radar anten sisteminde kullanılan faz dizi elemanları, Şekil 1(b)'de gösterilen yeşil alan üzerine sabitlenmiştir. Yeşil alan olarak belirlenen bu alanlarda sabitlenen faz dizi elemanlarının boyutları 40x1200mm ve et kalınlığı 5mm'dir.

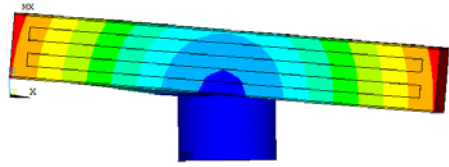
Çizelge 1'de, yukarıda tanımlanmış olan radar anten yapısının doğal frekansları verilmiştir. Şekil 2'de ise yapının, bu doğal frekanslardaki biçim şekilleri görülebilir.



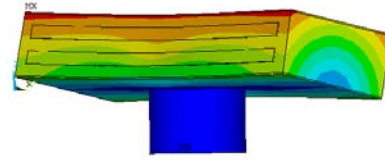
a) b)  
Şekil 1. Orijinal radar anten yapısının geometrisi

**Çizelge 1.** Orijinal radar anten yapısının doğal frekansları

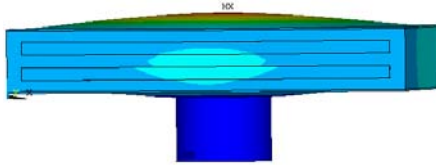
Biçim şekli	1	2	3	4	5	6
Frekans (Hz)	22.615	77.458	93.205	157.51	159.98	185.43



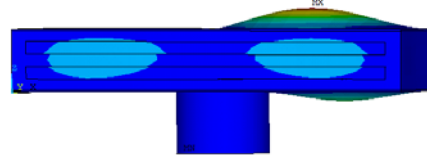
**a) 1. Biçim Şekli (22.615 Hz)**



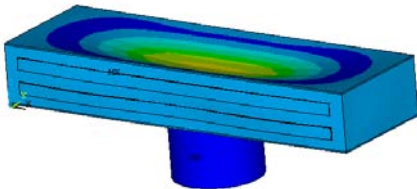
**b) 2. Biçim Şekli (77.458 Hz)**



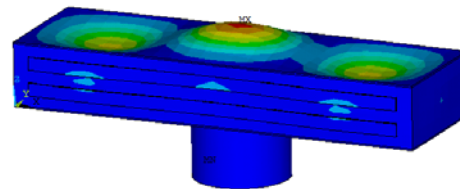
**c) 3. Biçim Şekli (93.205 Hz)**



**d) 4. Biçim Şekli (157.51 Hz)**



**e) 5. Biçim Şekli (159.98 Hz)**



**f) 6. Biçim Şekli (185.43 Hz)**

**Şekil 2.** Orijinal radar anten yapısının ilk altı biçim şekli ve biçim şekillerinde oluşan toplam deplasman değerleri (m).

Anten performansını olumsuz etkileyecek olan titreşimler Şekil 1(b)'de görülen faz dizi elemanlarının bulunduğu yüzeye dik olarak gerçekleşen eğilme titreşimleri olduğu için bu yüzeyde bulunan noktaların y yönündeki yer değiştirme değerleri kritik olarak değerlendirilebilir. Kritik doğal frekansın ve biçim şeklinin belirlenmesinde bu yöndeki titreşim karakteristiği incelenmelidir.

y yönündeki titreşimlerin baskın olduğu ilk biçim şekli potansiyel olarak kritik biçim şekli olarak belirlenebilir. Bu değerlendirmeler ışığında, faz dizi elemanların bulunduğu (Şekil 1(b)'de yeşil alanla tanımlanan) bölgede sistemin doğal frekanslarında, y yönünde gözlemlenen maksimum ve minimum biçim şekli yer değiştirme değerleri ile aynı biçim şeklindeki en yüksek toplam yer değiştirmenin mutlak değeri arasındaki oran kritik biçim şeklinin belirlenmesinde yardımcı olabilir. Bu amaçla Çizelge 2 hazırlanmıştır. Bu tabloda ilk altı doğal frekansın biçim şekillerinde faz dizi elemanlarının y yönündeki maksimum ( $y_{max}$ ) ve minimum ( $y_{min}$ ) yer değiştirme değerleri arasında fark, anten yapısının genelindeki en yüksek toplam yer değiştirme, ve ilk iki parametrenin oranı olan  $k$  faktörü görülebilir.  $k$  faktörü antenin radar performansı açısından kritik yüzeyinin y yönündeki titreşimlerinin ilgili biçim şeklinde ne kadar baskın olduğunun bir ölçüsü olarak değerlendirilebilir. Orijinal anten yapısı için  $k$  faktörü, 2. doğal frekans ve biçim şeklinde en yüksek değere sahiptir (Çizelge 2).

Çizelge 2'nin son satırında verilen  $k$  faktör değerlerine bakıldığında 2. biçim şekline ek olarak 3 ve 4'üncü biçim şekilleri de kritik olarak değerlendirilebilir. Bunların arasında da en yüksek  $k$  oranı 2. biçim şeklinde olduğundan, bu çalışmada incelenen anten yapısının performansı açısından olumsuz etki yaratabilecek en küçük kritik doğal frekans 2. biçim şekli olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonrasında topolojik optimizasyonda sistemin ikinci doğal frekansının maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Ancak, sistemi tahrik eden kuvvetlerin bulunduğu frekans aralığına ve sistemin sınır koşullarına göre kritik doğal frekansın farklılık gösterebileceği unutulmamalıdır.

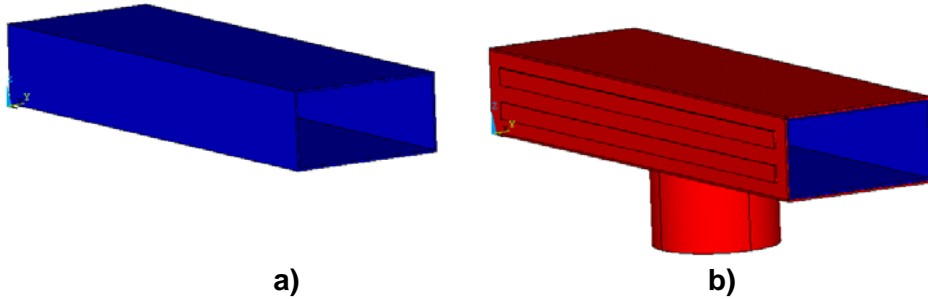
**Çizelge 2.** Faz dizi elemanların bulunduğu yüzeyin y yönündeki maksimum ve minimum biçim şekli yer değiştirme değerlerinin antenin maksimum toplam yer değiştirme değeri ile olan ilişkisi ( $k$  faktörü).

	Biçim şekli 1	Biçim şekli 2	Biçim şekli 3	Biçim şekli 4	Biçim şekli 5	Biçim şekli 6
$y_{max}$	0.0174	0.256	0.137	0.147	0.117	0.131
$y_{min}$	-0.0174	-0.0045	-0.165	-0.147	0.112	-0.108
<b>Maksimum Deplasman<sub>toplam</sub></b>	0.329	0.303	0.537	0.729	0.626	0.88
$k = \frac{(y_{max} - y_{min})_{yeşil\ alan}}{ Maksimum\ Deplasman _{toplam}}$	0.106	0.860	0.562	0.403	0.008	0.272

Anten yapısında malzeme dağılımının (sözde yoğunluk  $\rho_e$  değerlerinin) optimize edileceği bölge ANSYS yazılımında "Tasarım Alanı" olarak tanımlanmaktadır. Bu alanın seçimi yapılırken tasarım ile ilgili kısıtlar göz önüne alınmalıdır. Bu kısıtlardan en önemli iki tanesi orijinal yapıya topoloji optimizasyonu sonrasında eklenebilecek en fazla ağırlık ve eklenecek malzemenin konumlandırılabilceği bölgelerdir. Bu çalışmada belirlenen tasarım alanı Şekil 3(a)'de gösterilen mavi renkteki ve et kalınlığı 5mm olan

yarı açık, malzemesi Al-6000 serisi olan bir dikdörtgen kutudur. Aslında bu tasarım alanı ile anten kutusunda yapılabilecek olan değişikliğin kutunun duvarlarının et kalınlıklarını iki katına çıkarma ile sınırlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Kutunun iç kısımlarının da malzeme ekleme için kullanılabilceği durumlarda optimizasyon sonuçları farklı olacaktır. Bu çalışmada sadece bir senaryo göz önüne alınmıştır ve bu da anten kutusunun et kalınlığının maksimum iki katına çıkarılabilmesi durumudur. Çalışmada temel olarak hedeflenen Şekil 3'te tanımlanan tasarım alanına en az malzeme takviyesi ile ikinci doğal frekans değerinin maksimize edilmesidir.

Tasarım alanı olarak tanımlanan kutu şeklindeki yeni geometri, orijinal tasarımda bulunan kutunun (Şekil 3(b)'de kırmızı ile gösterilen kısım) içinde ve bu kutunun iç yüzeylerine yapışmıştır. Herhangi bir optimizasyon çalışması yapmadan önce, tasarım alanının tamamına malzeme eklenmiş radar anten yapısının doğal frekansları ve  $k$  faktör değerleri Çizelge 3'teki gibi hesaplanabilir. Bu yapılandırma "Güçlendirilmiş Anten (%0)" olarak tanımlanmıştır. Bu ifadedeki yüzde değeri "%0" ile tasarım alanında *hacim azaltması yapılmadığı* kastedilmektedir.



**Şekil 3.** ANSYS'teki topolojik optimizasyonda kullanılacak tasarım alanı (mavi renkte, (a)), Şekil 1'de tanımlanan orijinal antenin (yan duvarları gösterilmemiş halde, (b)) içerisine monte edilmiştir.

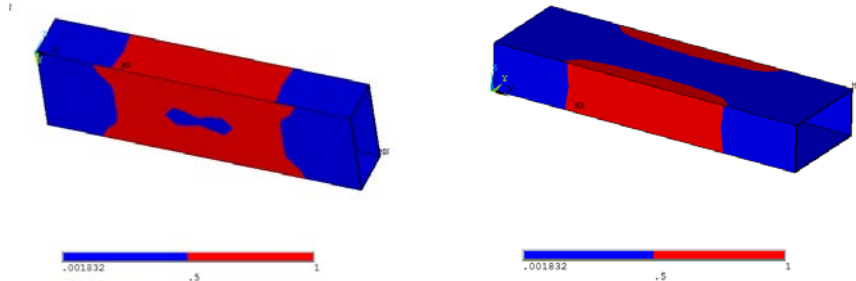
**Çizelge 3.** Tasarım alanında bulunan malzemenin tamamının kullanıldığı radar anten yapısının doğal frekansları ("Güçlendirilmiş Anten (%0)")

<b>Biçim şekli</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Frekans (Hz)</b>	41.718	105.93	159.14	185.49	305.51	312.65
<b>k</b>	0.093	0.571	0.315	1.799	0.217	0.460

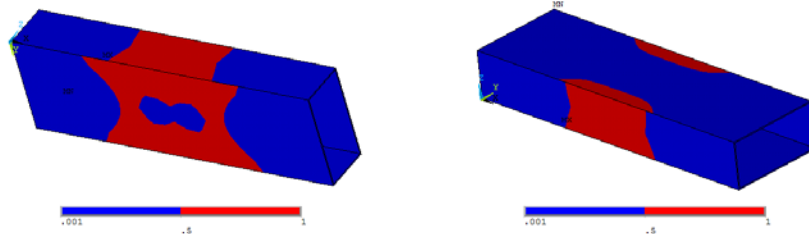
Hedef fonksiyon ve tasarım alanı belirlendikten sonra %50, %65 ve %75 hacim azalması koşulları için üç ayrı topolojik optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te tasarım alanda %50, Şekil 5'te %65 ve Şekil 6'da %75 hacim azaltmasının sağlandığı topolojik optimizasyon sonuçları görülebilir. Şekil 4,5 ve 6'ya baktığımızda, ikinci doğal frekansı maksimize edebilmek için tasarım alanında kullanılması gereken elemanlarla kullanılmaması gereken elemanları

birlikte görmekteyiz. Kırmızı alanlar tasarım alanını oluşturan sonlu elemanlardan sözde yoğunluğu bire yakınsananlarını ( $\rho_e \approx 1.0$ ), mavi alanlar ise tasarım alanını oluşturan sonlu elemanların sözde yoğunluğu sıfıra yakınsananlarını ( $\rho_e \approx 0$ ), temsil etmektedir.

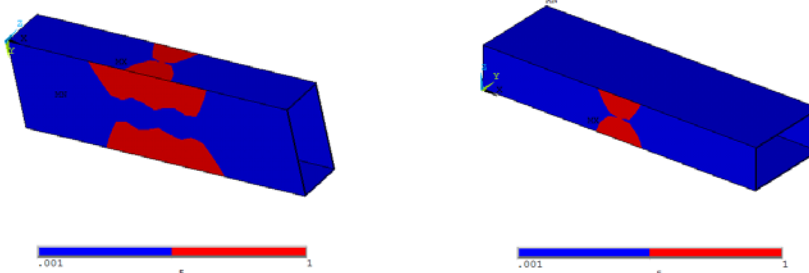
İkinci doğal frekansı maksimize edebilmek için, %50, %65 ve %75 hacim azaltma koşulu ile gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonuçlarına göre, orijinal radar anten yapısına monte edebileceğimiz güçlendirme yapıları sırası ile Şekil 7,8 ve 9'da görülmektedir. Şekil 7, 8 ve 9'da verildiği şekilde güçlendirilmiş orijinal radar anten yapılarının doğal frekansları ve  $k$  faktörleri sırası ile Çizelge 4, 5 ve 6'daki gibidir.



**Şekil 4.** %50 hacim azalması koşulu için topolojik optimizasyon sonucunun farklı izometrik görünümüleri.

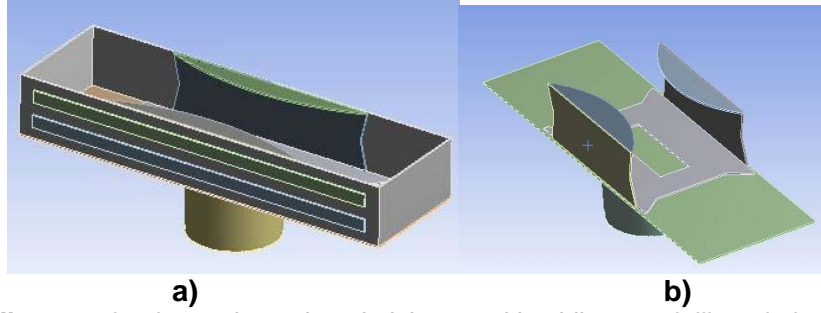


**Şekil 5.** %65 hacim azalması koşulu için topolojik optimizasyon sonucunun farklı izometrik görünümüleri.

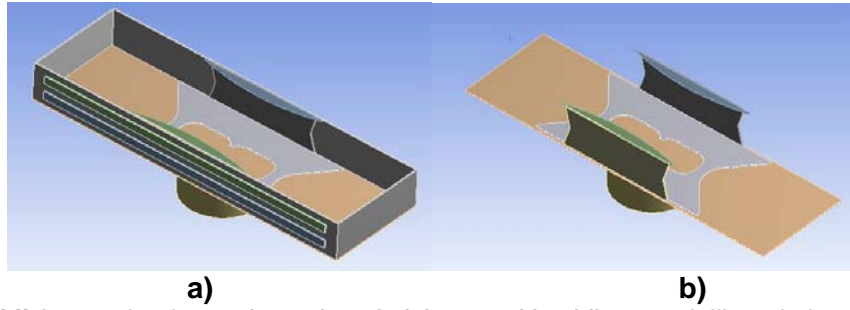


**Şekil 6.** %75 hacim azalması koşulu için topolojik optimizasyon sonucunun farklı izometrik görünümüleri.

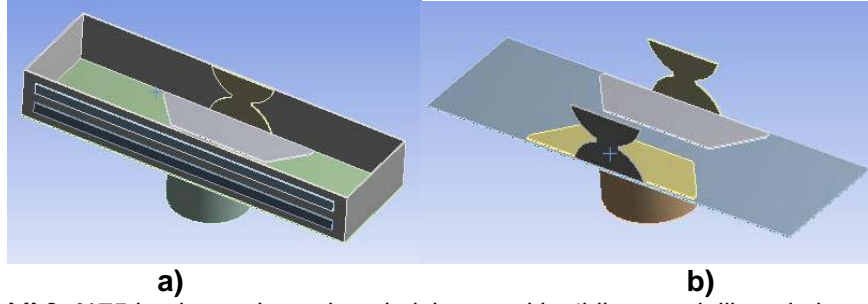




**Şekil 7.** %50 hacim azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonucuna göre kullanabileceğimiz güçlendirme. Sol tarafta (a) üst duvar gösterilmemiş, sağ tarafta (b) ise üst duvar ile yan duvarlar gösterilmemiş anten yapısı (güçlendirilmiş) görülmektedir.



**Şekil 8.** %65 hacim azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonucuna göre kullanabileceğimiz güçlendirme. Sol tarafta (a) üst duvar gösterilmemiş, sağ tarafta (b) ise üst duvar ile yan duvarlar gösterilmemiş anten yapısı (güçlendirilmiş) görülmektedir.



**Şekil 9.** %75 hacim azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonucuna göre kullanabileceğimiz güçlendirme. Sol tarafta (a) üst duvar gösterilmemiş, sağ tarafta (b) ise üst duvar ile yan duvarlar gösterilmemiş anten yapısı (güçlendirilmiş) görülmektedir.

**Çizelge 4.** %50 hacim azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonucuna göre güçlendirilmiş radar anten yapısının doğal frekansları ve  $k$  faktörleri

Biçim şekli	1	2	3	4	5	6
Frekans (Hz)	48.911	119.01	166.12	211.18	223.44	224.82
$k$	0.089	0.589	0.148	0.264	0.564	0.038

**Çizelge 5.** %65 hacim azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonucuna göre güçlendirilmiş radar anten yapısının doğal frekansları ve  $k$  faktörleri

Biçim şekli	1	2	3	4	5	6
Frekans (Hz)	50.691	119.85	154.22	182.45	204.23	226.97
$k$	0.117	0.591	0.090	0.274	0.212	1.917

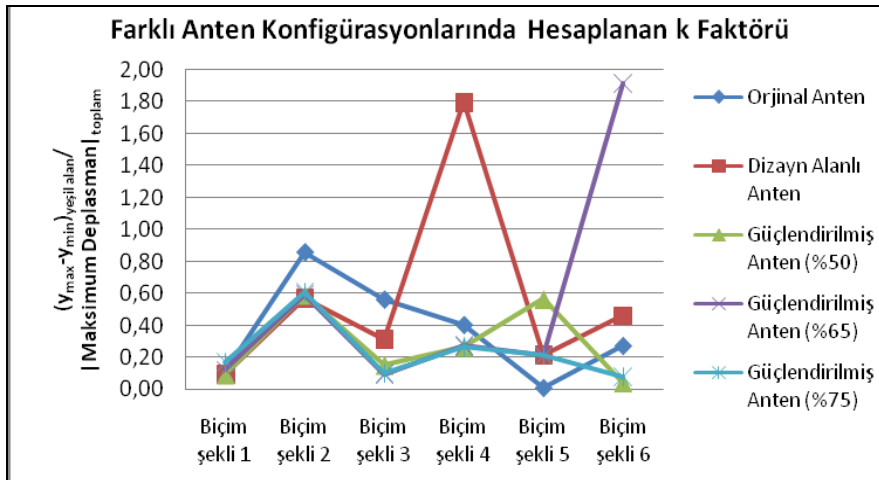
**Çizelge 6.** %75 hacim azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyon sonucuna göre güçlendirilmiş radar anten yapısının doğal frekansları ve  $k$  faktörleri

Biçim şekli	1	2	3	4	5	6
Frekans (Hz)	54.905	121	139.43	168.03	193.09	208.34
$k$	0.168	0.608	0.104	0.268	0.211	0.077

Şekil 10 ve Çizelge 7'de her bir doğal frekans için hesaplanan  $k$  faktörleri görülmektedir. Topolojik optimizasyon sonucunda (tasarım alanının hacminde %50, %65 ve %75 gibi azaltmalar sağlayarak) kritik olan ikinci biçim şeklindeki  $k$  faktörünün değeri orijinal antene göre ortalama %30 oranında düşmüştür. Buna ek olarak üçüncü ve dördüncü biçim şekillerinin  $k$  faktörlerinde de bir düşüş görülmektedir. Buna zıt olarak, tüm güçlendirme durumları için antenin 5. biçim şeklinin  $k$  faktöründe yüksek oranlarda artışlar görülmektedir.

**Çizelge 7.** Radar anten yapısının hesaplanan  $k$  faktörü.

	Biçim şekli 1	Biçim şekli 2	Biçim şekli 3	Biçim şekli 4	Biçim şekli 5	Biçim şekli 6
Orijinal Anten	0.106	0.860	0.562	0.403	0.008	0.272
Güçlendirilmiş Anten (%0)	0.093	0.571	0.315	1.799	0.217	0.460
Güçlendirilmiş Anten (%50)	0.089	0.589	0.148	0.264	0.564	0.038
Güçlendirilmiş Anten (%65)	0.117	0.591	0.090	0.274	0.212	1.917
Güçlendirilmiş Anten (%75)	0.168	0.608	0.104	0.268	0.211	0.077



**Şekil 10.** Biçim şekillerindeki  $k$  faktörü

#### 4. DEĞERLENDİRMELER

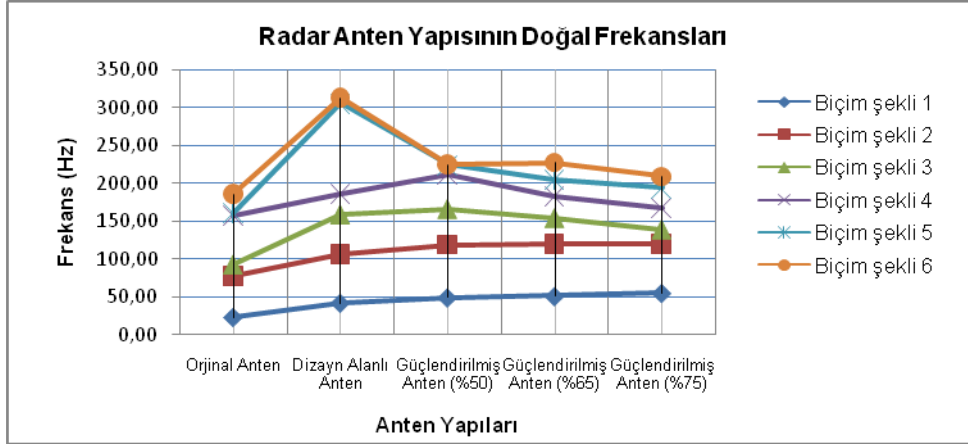
ANSYS'te yapılan sonlu elemanlar analizine göre faz dizi anten elemanlarının monte edildiği dikdörtgen kutunun komple et kalınlığını arttırmak, istenilen kritik doğal frekans maksimizasyonunu vermeyebilir. Tasarım alanının tamamının kullanıldığı durumda olabilecek frekans artışları Çizelge 8'de belirtildiği şekilde gerçekleşmiştir. Şekil 11'e ve Çizelge 8'e bakıldığında, tasarım alanının tamamını kullanmak yerine, topolojik optimizasyon sonucunda ortaya çıkan malzeme dağılımını kullanmak, orijinal sistemin ikinci doğal frekansını daha fazla artırmıştır şöyle ki; %50, %65 ve %75 hacim azaltma azalması koşulu için gerçekleştirilen topolojik optimizasyonların, ikinci doğal frekansı yaklaşık %53 oranında arttırdığı görülmektedir.

Bununla birlikte, güçlendirilmiş anten yapısının ağırlığı düşünüldüğünde ve Çizelge 8'e bakıldığında, tasarım alanının tamamını kullanmak orijinal anten ağırlığını %75.6 artırırken, topolojik optimizasyon sonucunda ortaya çıkan malzeme dağılımını kullanmak %50 hacim azalması durumunda %30.2, %65 hacim azalması durumunda %18.5, %75 hacim azalması durumunda ise %11.4 artırmıştır. Fakat %50 ve %65 hacim azalmasında ağırlığın artmasıyla birlikte diğer kritik doğal frekansların (3. ve 4. biçim şekilleri) ötelenmesinin, %75 hacim azalma durumuna göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 11'e göre, topolojik optimizasyon sonucunda elde edilen malzeme dağılımı (%75 hacim azaltma durumunda) düşük frekanslı biçim şekilleri için etkili olmakta, yüksek frekanslı biçim şekilleri içinse etkili olmadığı görülmektedir. Tanımlanan sistemde ikinci doğal frekans (en kritik doğal frekans) maksimizasyonu yapılsa dahi yapılan güçlendirmenin ağırlığı artırılarak (%50 ve ya %65 hacim azaltma durumlarındaki tasarım kullanarak) sistemin diğer kritik doğal frekansları da ileriye ötelenebilmektedir. Diğer taraftan sistemin hesaplanan  $k$  faktörüne bakıldığında %75 hacim azalma durum değişkenli güçlendirmenin kritik biçim şekilleri için uygun olduğu görülmektedir. Bu makalede elde edilen güçlendirme yapıları, sistemin farklı durumlarına ve önceliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir.

**Çizelge 8.** Radar anten yapısının doğal frekansları (Hz) ve ağırlık durumu

	Biçim şekli 1	Biçim şekli 2	Biçim şekli 3	Biçim şekli 4	Biçim şekli 5	Biçim şekli 6	Ağırlık (kg)	Ağırlık Artışı (%)
Orjinal Anten	22.615	77.458	93.205	157.51	159.98	185.43	27.1	-
Güçlendirilmiş Anten (%0)	41.718	105.93	159.14	185.49	305.51	312.65	47.6	75.6
Güçlendirilmiş Anten (%50)	48.911	119.01	166.12	211.18	223.44	224.82	35.3	30.2
Güçlendirilmiş Anten (%65)	50.691	119.85	154.22	182.45	204.23	226.97	32.1	18.5
Güçlendirilmiş Anten (%75)	54.905	120	139.43	168.03	193.09	208.34	30.2	11.4



**Şekil 11.** Radar anten yapısının doğal frekansları

## 5. SONUÇ

Bu çalışmanın sonucunda topolojik optimizasyon tekniği kullanımının, bir radar anten yapısının fonksiyonel performansı açısından problem yaratabilecek olan doğal frekansların ve biçim şekillerinin ilgilenilen frekans aralığının dışına atabilme potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Anten yapısının kritik doğal frekanslarının helikopter platformlarında göz önüne alınması gereken 0-500 Hz aralığının dışına ötelenmesi bu çalışmada mümkün olmamıştır ama bu doğal frekanslarda %50'ye varan artışlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına bakarak, malzeme dağılımının optimize edileceği tasarım alanının daha esnek bir şekilde seçilmesi durumunda istenilen seviyede doğal frekans maksimizasyonunun mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] R.J.Mailloux, (2005), "Phased Array Antenna Handbook", Artech House 2<sup>nd</sup> Edition.
- [2] P.Knott, (2006), "Deformation and Vibration of Conformal Antenna Arrays and Compensation Techniques", *In Multifunctional Structures /Integration of Sensors and Antennas* (pp. 19-1 – 19-12). Meeting Proceedings RTO-MP-AVT-141, Paper 19. Neuilly-sur-Seine, France: RTO.
- [3] D.M.Pozar ve D.H.Schaubert, (1984), "Scan Blindness in Infinite Phased Arraysof Printed Dipoles", *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, Vol. Ap-32, No. 6.
- [4] NATO Research and Technology Organisation SET-087 / RTG 50 on Vibrating Antennas and Compensation Techniques.