

**ASKERİ ARAÇ ÖN FAR SİSTEMİ
OPTO-MEKANİK TASARIM VE ANALİZİ**

**OPTO-MECHANICAL DESIGN AND ANALYSIS
OF MILITARY VEHICLE HEADLIGHT SYSTEM**

BİLGE YANIK BEKAR

Tez Danışmanı

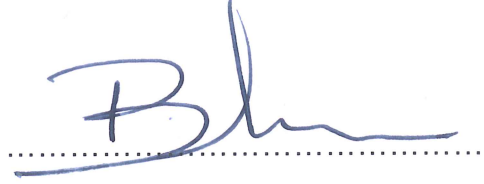
Dr.Öğr.Üy. Emir KUTLUAY

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

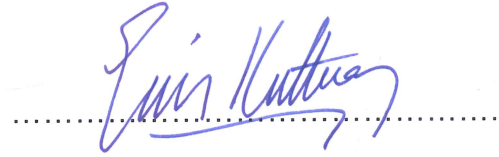
2018

BİLGE YANIK BEKAR'ın hazırladığı “**Askeri Araç Ön Far Sistemi Opto-Mekanik Tasarımı ve Analizi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

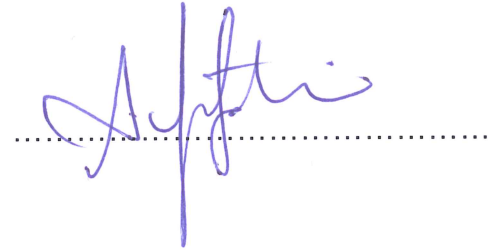
Prof. Dr. Bora YILDIRIM
Başkan



Dr.Öğr.Üy. Emir KUTLUAY
Danışman



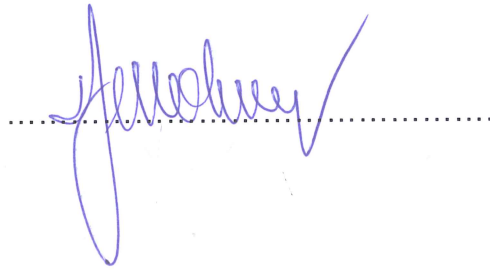
Doç. Dr. Ufuk Şahin
Üye



Dr.Öğr.Üy. Okan GÖRTAN
Üye



Dr.Öğr.Üy. Nihat GEMALMAYAN
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 31.12.2022 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

09 / 07 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Bilge Yalık Bekzer

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içerisindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir iftira yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

09/07/2018

Bilge YANIK BEKAR



ÖZET

ASKERİ ARAÇ ÖN FAR SİSTEMİ OPTO-MEKANİK TASARIM VE ANALİZİ

BİLGE YANIK BEKAR

Yüksek Lisans, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Yard.Doç.Dr. Emir KUTLUAY

Bu tez çalışmasında askeri tip kara araçlarında kullanılmak üzere yüksek verimli katı-hal ledler ile aydınlatma sağlayan ön far sistemi opto-mekanik tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve yapısal analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Regülasyonlarca belirlenmiş olan aydınlatma desenine uygun tasarlanan opto-mekanik sistemin gövde tasarımı, termal analizler yardımı ile led jonksiyon sıcaklığını optimum seviyede tutacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem kompleksinin entegre olacağı araç ile bağlantı arayüzü yapısal analizler ile kontrol edilerek eşdeğer gerilmeler elde edilmiştir. Sistemin maruz kalacağı yüksek titreşim profilinin etkilerini incelemek için modal ve rastgele titreşim analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda isterlere uygun hale getirilen tasarım için prototip imal ettirilip, testler gerçekleştirilerek analiz sonuçları ile kıyaslama yapılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: katı-hal led aydınlatma, led jonksiyon sıcaklığı optimizasyonu, sonlu elemanlar teorisi, termal analiz, yapısal analiz, modal analiz, ratsgele titreşim analizi.

ABSTRACT

OPTO-MECHANICAL DESIGN AND ANALYSIS OF MILITARY VEHICLE HEADLIGHT SYSTEM

BİLGE YANIK BEKAR

Master of Science, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Ass.Prof. Emir KUTLUAY

In this thesis, it is aimed to opto-mechanical design of a military vehicle headlight system that provides illumination with high efficiency solid-state leds and perform thermal and structural analysis with finite element method.

The body of the opto-mechanical system is designed to keep the led junction temperature at optimum level with the help of the thermal analysis according to the lighting pattern specified in the regulations. Equivalent stresses are obtained by structural analysis to control the connection interface between the system assembly and the vehicle. Modal and random vibration analysis were performed to observe the effects of the high vibration profile that the system would be exposed to. As a result of the analysis, a prototype has been manufactured for the optimised model and tests were performed to compare with the analysis results.

Keyword: solid state led illumination, led junction temperature optimisation, finite element theory, thermal analysis, structural analysis, modal analysis, random vibration analysis.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. TEZ AKIŞ ŞEMASININ OLUŞTURULMASI	2
3. SİSTEM GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ	3
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
4.1. Ledlerin Çalışma Prensipleri	4
4.2. Benzer Renk Sıcaklığı (CCT) Kavramı	5
4.3. Ledlerin Kontrolü	6
4.4. Ledlerin Verimi	6
4.5. Optik Yönlendirilebilirlik	7
4.6. Enerjinin Dönüşümü	8
4.7. Ledlerin Diğer Aydınlatma Kaynakları ile Karşılaştırılması	8
5. ASKERİ ARAÇLAR İÇİN ÖNFAR GRUBU FONKSİYONLARI VE REGÜLASYONLARCA BELİRTİLEN İSTERLER	9
5.1. Fotometrik İsterler	9
5.2. Mekanik İsterler	14
6. TASARIM ve MODELLEME	15
6.1. Taslak Tasarım	23
7. TERMAL ANALİZ	27
8. YAPISAL ANALİZ	40
9. MODAL ANALİZ	44
10. SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ	45
11. NİHAİ TASARIM	55
12. TESTLER ve KIYASLAMALAR	57
13. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	63
14. KAYNAKLAR	65
15. EKLER	67
16. ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELER

Çizelge 2-1 Tez Akış Şeması	2
Çizelge 3-1 Sistem gereksinim matrisi.....	3
Çizelge 4-1 Çeşitli aydınlatma kaynakları için yıllara göre verim artış grafiği.....	7
Çizelge 4-2 Geleneksel ışık kaynakları ile ledlerin karşılaştırılması	9
Çizelge 5-1 FMVSS 507.108 Fotometrik Test Noktaları Işık Şiddeti Değerleri [5]	10
Çizelge 5-2 İvme spektral yoğunluğunun frekansa bağlı değişimi [7]	15
Çizelge 6-1 Jonksiyon sıcaklığının bağıl ısı akısı üzerindeki etkisi [8].....	17
Çizelge 7-1 Malzeme özellikleri	27
Çizelge 10-1 Sırayla er üç eksen için rastgele titreşim analizi sistem cevabı.....	55
Çizelge 12-1 Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin test sonuçları ile kıyaslanması.....	63

ŞEKİLLER

Şekil 4-1 Led yapısının şematik gösterimi [1]	4
Şekil 4-2 Pin ayaklı led örnekleri.....	5
Şekil 4-3 Yüzey montaj led örnekleri	5
Şekil 4-4 On board led örnekleri.....	5
Şekil 4-5 Beyaz ışıkta renk sıcaklıkları [1] Şekil 4-6 Farklı renk sıcaklıklarında aydınlatma yapan kaynaklar	6
Şekil 4-7 Akkor lamba ile led aydınlatması arasındaki dağılım ve ışık şiddeti farkı [4].....	8
Şekil 4-8 Çeşitli ışık kaynaklarında enerjinin dönüşümü [3].....	8
Şekil 5-1 Fotometrik test alanından görünüm [4]	11
Şekil 5-2 Kısa hüzme aydınlatması [6]	12
Şekil 5-3 Uzun hüzme aydınlatması [6]	13
Şekil 6-1 Zemax Yazılımı Kullanılarak Gerçekleştirilen Optik Tasarım Çıktıları.....	16
Şekil 6-2 Jonksiyon sıcaklığı [3].....	17
Şekil 6-3 PCB üzerindeki çoklu led sistemi direnç ağı.....	19
Şekil 6-4 Sistem sınır koşulları	23
Şekil 6-5 Led katmanlarının ve termal yollarının şematik görünümü [8]	23
Şekil 6-6 Metal tabanlı baskılı devre kartı şematik görünümü.....	24
Şekil 6-7 Led yerleşimleri ve sistemin taslak tasarım mode.....	26
Şekil 7-1 Model-1 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri.....	28
Şekil 7-2 Model-1 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri	29
Şekil 7-3 Model-2 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri.....	30
Şekil 7-4 Model-2 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri	31
Şekil 7-5 Model-3 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri.....	32
Şekil 7-6 Model-3 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri	33
Şekil 7-7 Model-4 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri.....	34
Şekil 7-8 Model-4 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri	35
Şekil 7-9 Model-5 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri.....	36
Şekil 7-10 Model-5 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri	37
Şekil 7-11 Model-6 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri.....	38
Şekil 7-12 Model-6 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri	39
Şekil 8-1 Termal analiz sonuçlarının yapısal analizlere aktarılması.....	42

Şekil 8-2 Bağlantı arayüzündeki gerilim değerlerinin kontrolleri	43
Şekil 9-1 Sistemin ilk iki moduna ait frekans değerleri ve mod şekilleri	45
Şekil 10-1 Sinüsoidal hareketin genlik-zaman grafiği	46
Şekil 10-2 Rastgele titreşimin genlik-zaman grafiği.....	46
Şekil 10-3 Normal dağılım için olasılık yoğunluğu fonksiyonu	47
Şekil 10-4 Her üç eksen için frekansa bağlı güç spektral yoğunluğunun sisteme uygulanması	51
Şekil 10-5. 1,2 ve 3 Sigma Gerilim Değerleri	52
Şekil 10-6. Steinber Metodu ile elde edilen ömür hasar ve ömür değerleri.....	53
Şekil 10-7. Sistem cevabı okunan noktaların gösterimi.....	54
Şekil 11-1 CAD ortamında modelleme	56
Şekil 11-2 Çalışır haldeki sistem prototipi	57
Şekil 12-1 Önerilen sıcaklık ölçüm noktaları [18]	58
Şekil 12-2 Model6 Uzun hüzme analiz sonuçları.....	59
Şekil 12-3 Model6 Kısa hüzme analiz sonuçları.....	59
Şekil 12-4 Kısa hüzme modu çalışma koşulu için termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri.....	60
Şekil 12-5 Kısa hüzme modu analiz sonuçları.....	60
Şekil 12-6 Uzun hüzme modu çalışma koşulu için termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri.....	61
Şekil 12-7 Uzun hüzme modu analiz sonuçları.....	61
Şekil 12-8 Uzun hüzme modu çalışma koşulu için termal kamera ile ölçülen gövde sıcaklık değerleri 62	
Şekil 12-9 Uzun hüzme modu analiz sonuçları.....	62

1. GİRİŞ

İnsanın beş duyusundan biri olan görme, olası kazalara ve tehlikeli yol koşullarına karşı sürücünün tepki yeteneğini önemli oranda arttıran unsurdur. Bu durum, farları araçlardaki en önemli güvenlik ekipmanlarından biri haline getirmektedir.

Yeni nesil farlarda, ışık yayan diyotların (Led), yüksek verim, düşük enerji tüketimi ve uzun ömür özellikleri sebebiyle kullanımı gündeme gelmeye başlamıştır. Doğru bir termal tasarım ile 50.000 ila 100.000 saat kullanım ömrü olan ledler UV ve kızılötesi dalgaboyu içermeyen gün ışığına en yakın renkte aydınlatma sağlayan net, temiz ve parlak bir ışık üretirler. Araştırmalar vücudumuzun iç saatinin (sirkadyen ritim olarak adlandırılır) gece gündüz döngüsüyle bağlantılı olduğunu gösteriyor. Daha spesifik olarak, beyinlerimiz maruz kaldığımız ışığın renk sıcaklığını yorumluyor ve sonra vücuda uyarılmamız veya dinlenmemiz gerekip gerekmediğini anlatıyor. Geleneksel farların renk sıcaklığı günbatımına çok yakındır, bu da beynimizin vücuda uykuya hazırlanmasını söyleyen günün saatidir. Fakat yapay ışık kaynakları içerisinde gün ışığına en yakın renk sıcaklığında ışık yapan ürünler ledlerdir.

Ledler katı hal konstrüksiyonundan yararlanırlar, bu da ampullerde bulunan kırılğan filament veya akkor lamba, halojen veya HID aydınlatmalarda bulunan hassas elektrotların bulunmadığı anlamına gelir. Bu durum ledleri yüksek titreşim profilleri ve mekanik yüklere karşı oldukça dayanıklı kılar.

Yüksek güçlü katı hal ledler ile ikincil optik sistemler kullanılarak, ışımının odaklanması ve istenen aydınlatma deseninin en optimum şekilde oluşturulması diğer yapay ışık kaynaklarına nazaran daha kolayca sağlanabilir.

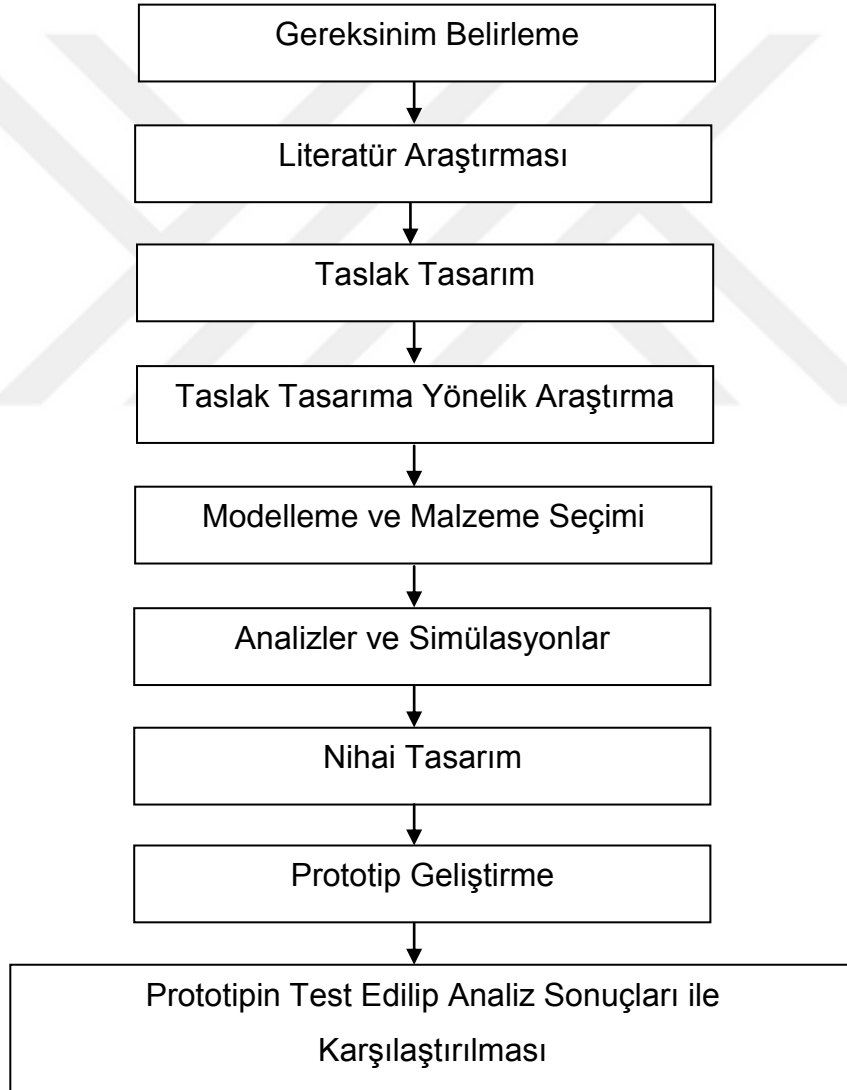
Tepkime süreleri çok hızlıdır, ısınma gereksinimi olmadan milisaniyeler içerisinde azami parlaklığa ulaşabilirler.

Tüm bu sayılan avantajları nedeniyle askeri araç önfaz sisteminde aydınlatma kaynağı olarak yüksek güçlü katı hal led kullanımı tercih edilmiştir.

Bu çalışmada askeri tip kara araçları için regülasyonlarca belirtilen fotometrik isterleri sağlayacak şekilde optik komponentlerin seçimi yapılmış, led jonksiyon sıcaklığını optimum seviyede tutacak termal tasarım ile sistem gövde ve soğutucu tasarımı netleştirilmiştir. Yapısal analizler ile sistem montaj arayüzü dayanım

kontrolleri yapılmış ve yine regülasyonlarca belirtilmiş titreşim profillerini değerlendirmek için modal ve rastgele titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Nihai tasarıma ilişkin, KOSGEB Araştırma-Geliştirme, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı'ndan sağlanan bütçe ile prototip imalatı ve ilgili testlerin gerçekleştirilmesi sonucu doğrulanmış bir sistem elde edilmiştir. Bu çalışma tasarım ve prototipi yapılan ilk milli askeri led ön far sistemi olma niteliğindedir.

2. TEZ AKIŞ ŞEMASININ OLUŞTURULMASI



Çizelge 2-1 Tez Akış Şeması

3. SİSTEM GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Sistemin kullanılacağı çevresel koşullar dikkate alınarak belirlenen gereksinim matrisi Çizelge 3-1 ile verilmiştir.

Sıra No.	Gereksinim Sınıfı	Sıra No.	Gereksinim
1	İşlevsel Gereksinimler	1.1	Uzun hüzme aydınlatması sağlayacaktır
		1.2	Kısa hüzme aydınlatması sağlayacaktır
		1.3	Uzun ve kısa hüzme aydınlatması beyaz renk olup, benzer renk sıcaklığı (CCT) 6500-10000K aralığında olacaktır.
2	Performans Gereksinimleri	2.1	Sistem aydınlatma kaynağı en az 30 000 saat ömürlü olacaktır.
		2.2	Sistemin aydınlatma şiddeti ve aydınlattığı alan, ilgili standartlarla verilen değer ve dağılımı sağlayacaktır.
		2.3	Sistem 22-30 Volt gerilim değeri aralığında çalışabilecektir.
3	Fiziksel Gereksinimler	3.1	Sistem toplam ağırlığı 4.5 kg değerini aşmayacaktır.
		3.2	Sistem boyutları 125x300x135 mm değerini aşmayacaktır.
		3.3	Sistem gövdesi ve ilgili tutucuları korozyona karşı dayanıklı malzemeden imal edilecek, ayrıca korozyona karşı dayanımını güçlendirici temizleme, kaplama proseslerinden geçirilecektir.
4	Tasarım Gereksinimleri	4.1	Sistemde aydınlatma kaynağı olarak yüksek güçlü ledler kullanılacaktır.
		4.2	Sistemin mekanik gövde ve tutucuları ağırlığın asgari seviyede tutulması gerektiği göz önüne alınarak malzeme seçimi yapılacak ve gövde mekanik tasarımı bu malzemenin üretilebilirliği durumuna göre tasarlanacaktır.
		4.3	Sistemin aydınlatma kaynağı olarak kullanılacak ledlerin uzun ömürlü kullanım imkanı sağlaması için termal tasarım yapılacaktır.
		4.4	Sistemin araç ile bağlantı arayüzü tasarımı yapılacaktır, yapısal dayanıklılığı kontrol edilecektir.

Çizelge 3-1 Sistem gereksinim matrisi

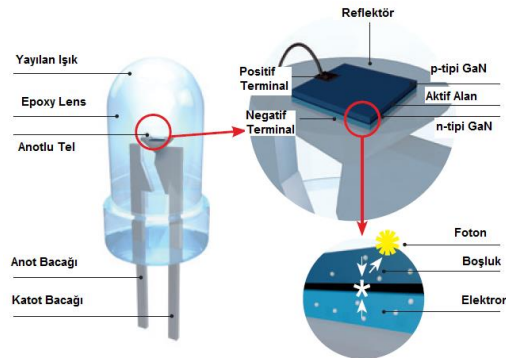
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Ledlerin Çalışma Prensibi

LED , İngilizcede Light Emitting Diodes (Işık Yayan Diyot) ifadelerinin baş harfleri kullanılarak, bu ürünün jenerik adı haline gelmiş söyleniştir . Bir led yongası yapı itibarı ile N ve P tipi yarı iletken katmanlar arasında sıralanmış aktif katman tabakasından ve bu tabakaların elektriksel bağlantılarından oluşan bir opto elektronik elemandır. Ledden doğru yönde bir akım geçirildiğinde elektronlar aktif katmanı uyarır ve aktif katmanda ışık üretilir. Üretilen ışık doğrudan veya ikincil bir optik elemandan yansıma ile dış ortama yayılır.[1] Bu etki elektrolüminesans olarak adlandırılır.

Ledler aktif katmanın materyel yapısına bağlı olarak görülebilir ışık tayfının belirli bir bölümünde ışık yayarlar. Başka bir deyişle ışık tek renk olarak üretilir ve aktif katmanda kullanılan materyel led ışığının rengini belirler. Yüksek seviyede ışık veren renkli ledlerde aktif katman olarak çeşitli malzemeler kullanılır. GaAs, Gap, GaN, AlInGaP ve InGaN bu malzemeler arasında yer alır. Ledlerle beyaz ışık üretmek iki yöntemle mümkündür. Bunlardan birincisi; kırmızı, yeşil ve mavi üç adet led yongasını bir kılıf içerisinde kullanarak beyaz ışığın elde edilmesidir. İkinci yöntem ise mavi led yongasında üretilen ışığın bir fosfor tabakasını uyarması ile beyaz ışığın üretilmesidir. Şekil 4-1 bir led yapısının katman bazında şematik gösterimini içermektedir.

Katı hal aydınlatma (KHA) terimi led teknolojisinin aydınlatma uygulamaları için kullanılan genel bir kavramdır. Işığın spektrumun görünür kısımda termal radyasyon ile yayıldığı akkor lambaların aksine, led teknolojisinde katı hal elektrolüminesans ile ışığa yaptığını ifade etmektedir.



Şekil 4-1 Led yapısının şematik gösterimi [1]

Şekil itibari ile çeşitli ebatlarda, başta radyal biçim olmak üzere çok çeşitli yapılarda paketlenirler. Normal baskı devreler için pin ayaklı üretildikleri gibi, SMT (yüzey montaj teknolojisi) ve doğrudan baskı devre üzerine montajlı COB (chip on board) biçimlerde üretimleri de ticari olarak piyasaya sürülmektedir. [2]. Şekil 4-2, 4-3 ve 4-4 farklı paketlerde üretilmiş led yapılarından örnekleri ifade etmektedir.



Şekil 4-2 Pin ayaklı led örnekleri



Şekil 4-3 Yüzey montaj led örnekleri



Şekil 4-4 On board led örnekleri

4.2. Benzer Renk Sıcaklığı (CCT) Kavramı

Renk sıcaklığı, ışığın ortamda yarattığı ışık rengi ambiyansıdır. Birimi Kelvin'dir. Renk sıcaklığını, ışık kaynağının verdiği toplam ışık içerisindeki renkli ışıkların oranları belirler. Örneğin güneşli havalarda -gökyüzündeki atmosferin etkisiyle- ışığın mavi bileşenleri artmakta ve Kelvin değeri yükselmektedir. Akkor ve halojen lambalarda kırmızı ve sarı bileşenleri baskın olduğunda Kelvin değeri düşer.

Şekil 4-5 beyaz ışığın farklı renk sıcaklıklarını ifade etmekte, Şekil 4-5 ise bu renk sıcaklığına sahip kaynaklar ile aydınlatılmış ortamdaki algıyı göstermektedir.

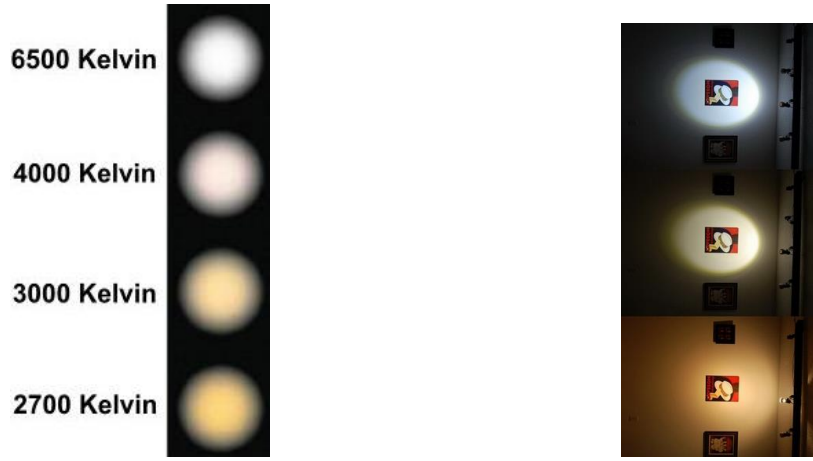
Yapay ışık kaynaklarında en çok ledlerde istenilen Kelvin derecesinde renk sıcaklığı üreten ürünler bulmak mümkündür. Renk sıcaklıklarında değerlendirme şu şekildedir:

Gün ışığı (6500 Kelvin ve üzeri)

Soğuk beyaz (5300-6500 Kelvin arası)

Ilık beyaz (3300-5300 Kelvin arası)

Sıcak beyaz (3300 Kelvin ve altı)



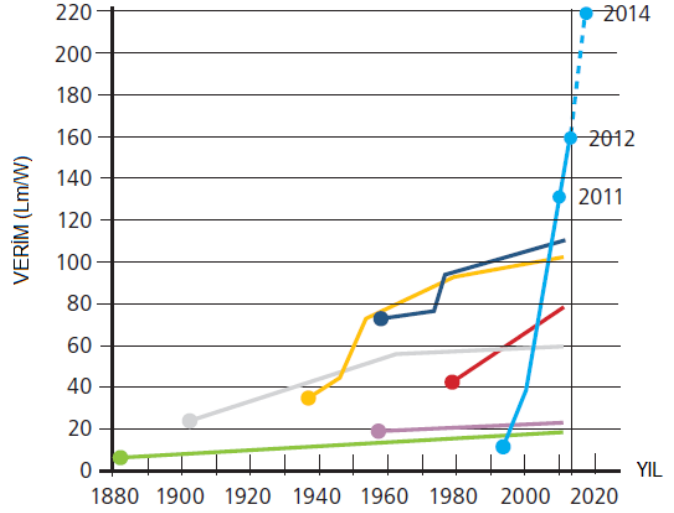
Şekil 4-5 Beyaz ışıktaki renk sıcaklıkları [1] Şekil 4-6 Farklı renk sıcaklıklarında aydınlatma yapan kaynaklar

4.3. Ledlerin Kontrolü

Ledler elektronik kontrol sistemine entegre edilebilir ve renk işleme hassaslığını muhafaza ederken renk dengesinin ve yoğunluğunun birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmesini sağlar. Geleneksel ışık kaynakları ile bu mümkün değildir. Genel aydınlatma için, ledler % 0.1'den % 100'e kadar ışık şiddeti ayarlanabilme özelliğine sahiptir.

4.4. Ledlerin Verimi

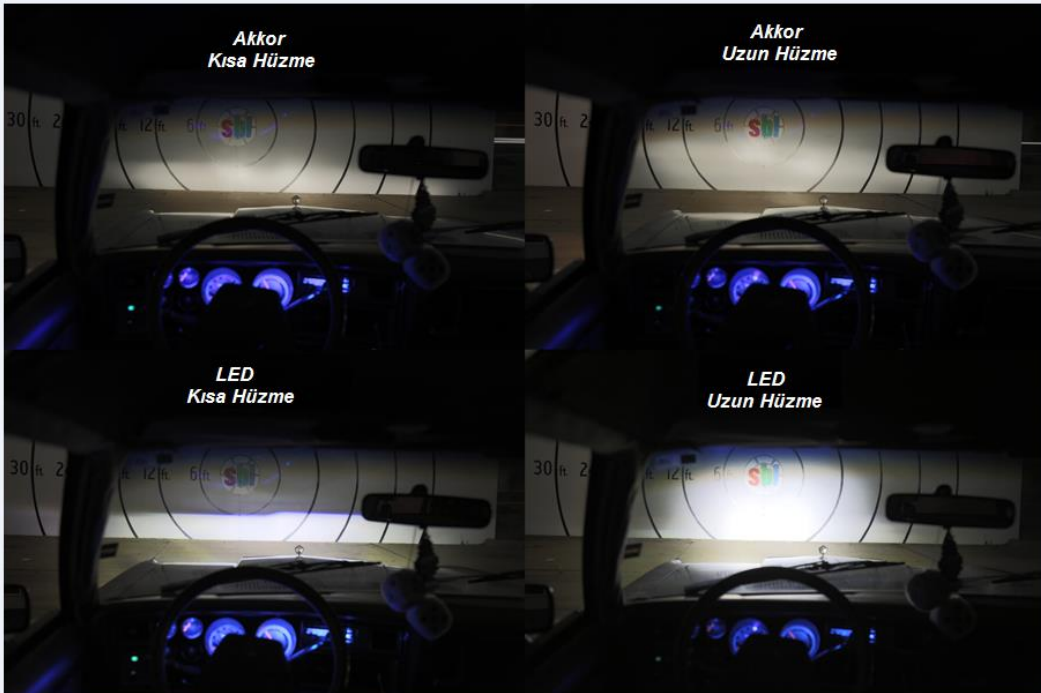
Ledlerin verimleri net lümen çıkışının, verilen giriş gücüne oranı olup birimi lm/W'dır. En verimli ledler 5000K ve üzeri soğuk beyaz renk sıcaklığına sahip türlerdir. Günümüzde ticari olarak kullanılan led ürünlerde 160lm/W'a kadar verim elde edilebilmektedir, bu da en verimli floresan lambadan elde edilenden daha yüksektir. Renk sıcaklığı 2600-3500K aralığında değişen sıcak beyaz ledlerde 120lm/W'a varan verimler elde edilebilir. Laboratuvar ortamında 250lm/W verime sahip ledler üzerine çalışmalar yapan firmalar bulunmaktadır. Çeşitli aydınlatma kaynakları için yapılan çalışmalar doğrultusunda artış sağlanan verim grafiği Çizelge 4-1 ile ifade edilmiştir.



Çizelge 4-1 Çeşitli aydınlatma kaynakları için yıllara göre verim artış grafiği

4.5. Optik Yönlendirilebilirlik

Çok yönlü ışık yayan geleneksel ışık kaynaklarının aksine, led ışık kaynakları ışınların çoğunu belirli konik açı aralığı içerisinde yayarlar. Bu da kullanılacak ikincil optik parçaları basitleştirir ve böylece aydınlatma sisteminin verimliliğini artırır. Şekil 4-7 bir akkor kaynaklı far ile led kaynaklı far arasındaki aydınlatma dağılım ve ışık şiddeti farkını açıkça ifade eden görseller içermektedir.

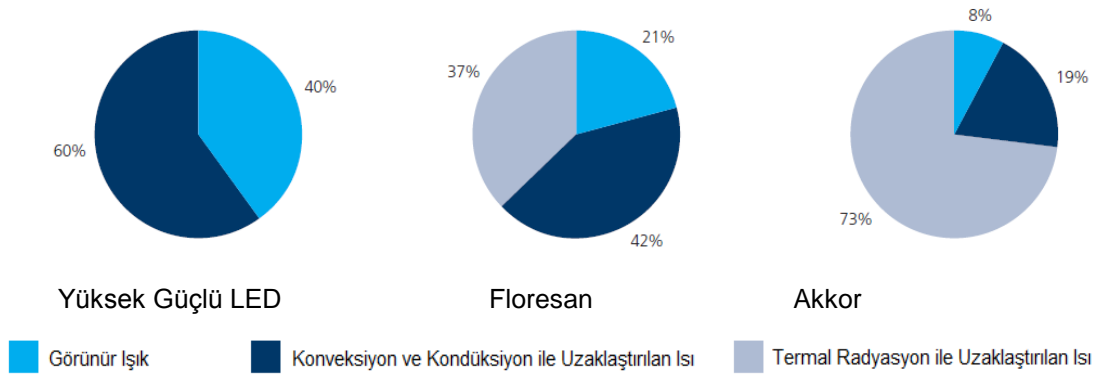


Şekil 4-7 Akkor lamba ile led aydınlatması arasındaki dağılım ve ışık şiddeti farkı [4]

4.6. Enerjinin Dönüşümü

Tüm ışık kaynakları elektrik enerjisini çeşitli oranlarda ışık ve ısıya dönüştürürler. Akkor ampüllerde elektrik enerjisi, çoğunluğu kızılötesi bölgede olmak üzere %8 oranında ışığa dönüştürülür. Floresanlarda %21 gibi biraz daha yüksek bir oranla kızılötesi ve morötesi bölgeyi de kapsayacak şekilde elektrik enerjisi ışığa dönüştürülür. Ledler ise elektrik enerjisi %40 oranında ışığa dönüştürülür. Enerjinin ısıya dönüşen kalan kısmı led aktif alanından, devre kartına, soğutma sistemine, sistem muhafazasına ve atmosfere iletilir. Çeşitli ışık kaynaklarında sistem verilen enerjinin dönüşüm oranları Şekil 4-8 ile ifade edilmiştir.

Ledlerde termal radyasyon ile ısı yayılımı olmaz, açığa çıkan ısının tamamı konveksiyon ve kondüksiyon yolu ile uzaklaştırılmalıdır. Aşağıdaki grafikler ile de gösterildiği gibi en verimli ışık kaynakları ledler olmasına karşın, termal yönetimi diğer kaynaklara nazaran zordur ve uygun soğutma sistemi tasarımı hayati önem taşımaktadır.



Şekil 4-8 Çeşitli ışık kaynaklarında enerjinin dönüşümü [3]

4.7. Ledlerin Diğer Aydınlatma Kaynakları ile Karşılaştırılması

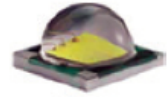
Çizelge 4-2 en yaygın kullanılan geleneksel ışık kaynakları ile ledlerin temel özelliklerinin özet bir karşılaştırmasını içermektedir.

Kaynak Tipi	Akkor	Halojen	Metal Halojenürlü	Civa Buharlı	LED
-------------	-------	---------	-------------------	--------------	-----



Aydınlatma Verimi (lm/W)	6-16	16-30	75-125	40-75	80-160
Giriş Gücü (W)	20-60	55-100	20-24 00	50-500	0,2-10
Tehlikeli Kimyasal İçeriği	Yok	Halojen	Argon, Cıva	Argon, Cıva	Yok*
Ömür (Saat)	1000	1000-3000	6000-20 000	4000	50 000
Benzer Renk Sıcaklığı - CCK (K)	2700	2700-3500	3800-7000	3200-4200	2700-8000

Kaynak Tipi	Kompakt Floresan	Floresan	Düşük Basınç Sodyum	Yüksek Basınç Sodyum	LED
-------------	------------------	----------	---------------------	----------------------	-----



Aydınlatma Verimi (lm/W)	46-80	70-120	200'e kadar	100-150	80-160
Giriş Gücü (W)	10-50	8-80	10-180	50-600	0,2-10
Tehlikeli Kimyasal İçeriği	Az miktarda cıva	Cıva, Neon	Sodyum, Neon Argon	Sodyum, Neon Argon, Cıva	Yok*
Ömür (Saat)	15 000	15 000-45 000	16 000-23 000	10 000-24 000	50 000
Benzer Renk Sıcaklığı - CCK (K)	2700-5000	2700-8000	-	2000-3000	2700-8000

* Tüm yarı iletkenler gibi doğru bir şekilde bertaraf edilmelidir, aksi takdirde arsenik veya fosfor oluşabilir.

Çizelge 4-2 Geleneksel ışık kaynakları ile ledlerin karşılaştırılması

5. ASKERİ ARAÇLAR İÇİN ÖNFAR GRUBU FONKSİYONLARI VE REGÜLASYONLARCA BELİRTİLEN İSTERLER

5.1. Fotometrik İsterler

Led kaynaklı askeri kara araçları ön far sistemlerinin sağlaması gereken performans gereksinimleri MIL-PRF-32243 Performance Specification: Light Emitting Diode Military Driving Headlamp (12-MAR-2009) regülasyonu ile standartlaştırılmıştır.

Bu regülasyonca, ön far sistemi kısa hüzme ve uzun hüzme modlarında aydınlatma sağlamalıdır.

Her iki aydınlatma modunun sağlaması gereken fotometrik gereksinimler atıf yapılan FMVSS 571.108 Federal Motor Vehicle Safety Standards: Lamps,

reflective devices, and associated equipments standardı Tablo 27.1'de verilmiştir. Sistem uzun ve kısa hüzmeye modları Çizelge 5-1'de belirtilen test noktalarındaki aydınlatma şiddeti değerlerini sağlayabilmelidir.

UPPER BEAM			LOWER BEAM		
Test Points (degrees)	Candela maximum	Candela minimum	Test Points (degrees)	Candela maximum	Candela minimum
2U-V	--	1,000	10U-90U	125	--
1U-3L and 3R	--	2,000	4U-8L and 8R	--	64
H-V	75,000	20,000	2U-4L	--	135
H-3L and 3R	--	10,000	1.5U-1R to 3R	--	200
H-6L and 6R	--	3,250	1.5U-1R to R	1,400	--
H-9L and 9R	--	1,500	1U-1.5L to L	700	--
H-12L and 12R	--	750	0.5U-1.5L to L	1,000	--
1.5D-V	--	5,000	0.5U-1R to 3R	2,700	500
1.5D-9L and 9R	--	1,500	H-4L	--	135
2.5D-V	--	2,500	H-8L	--	64
2.5D-12L and 12R	--	750	0.5D-1.5L to L	2,500	--
4D-V	5,000	--	0.5D-1.5R	20,000	8,000
			1D-6L	--	750
			1.5D-2R	--	15,000
			1.5D-9L and 9R	--	750
			2D-15L and 15R	--	700
			4D-4R	12,500	--

Çizelge 5-1 FMVSS 507.108 Fotometrik Test Noktaları Işık Şiddeti Değerleri [5]

Tabloda belirtilen birimi kandela olan ışık şiddeti değerleri belirli bir mesafeden duvara yansıtılmış far aydınlatılmasının ölçülmesi ile elde edilecek test noktası değerleridir. Şekil 5-1 bir far sisteminin fotometrik test alanından örnekler içermektedir.

U: Yukarı yönde (up)

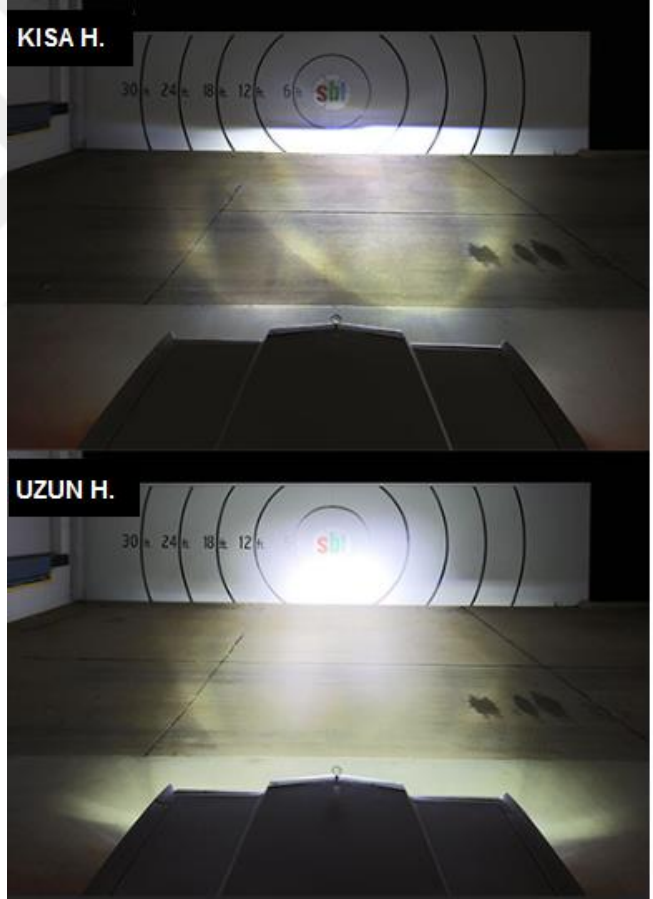
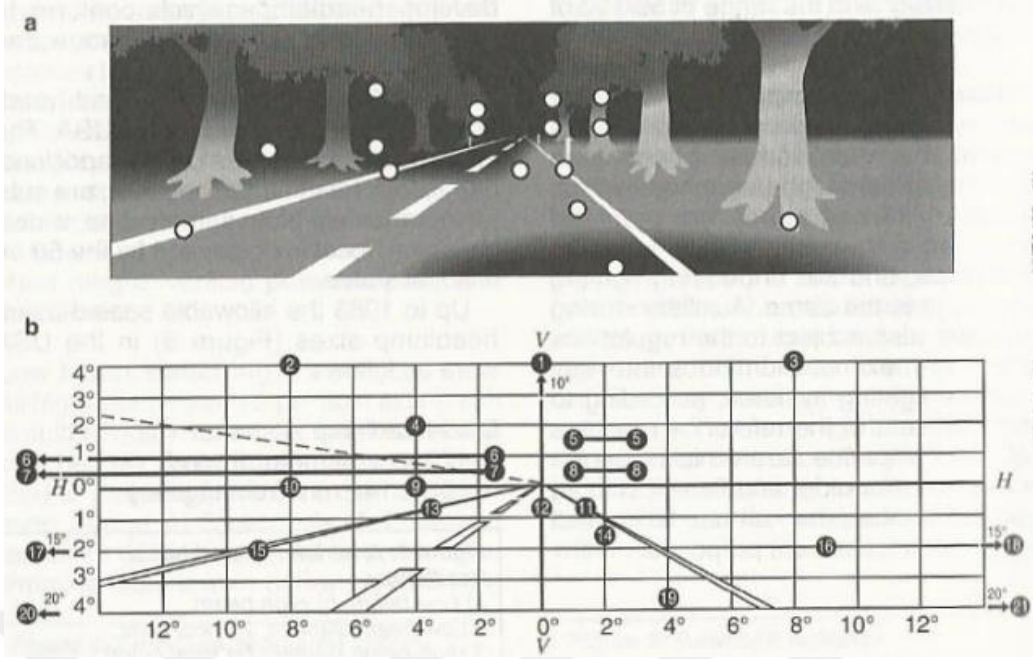
L: Sol yönde (Left)

R: Sağ yönde (Right)

D: Aşağı yönde (Down)

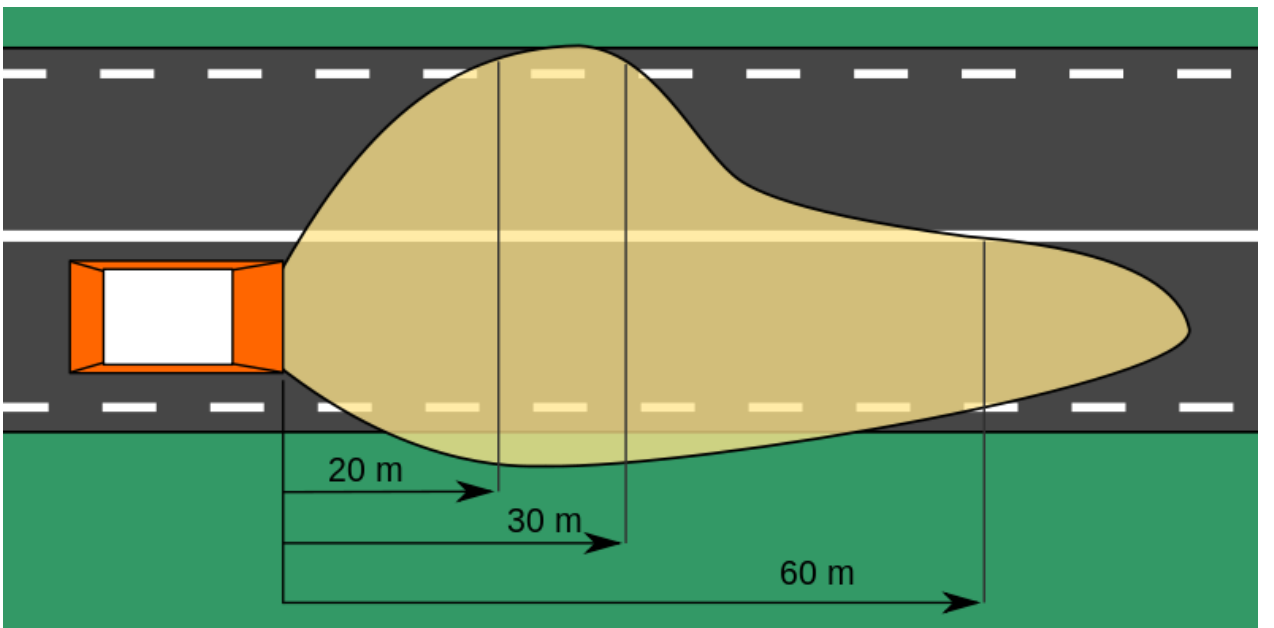
H: Yatay yönde (Horizontal)

V: Dikey yönde (Vertical) anlamlarını ifade etmektedir.



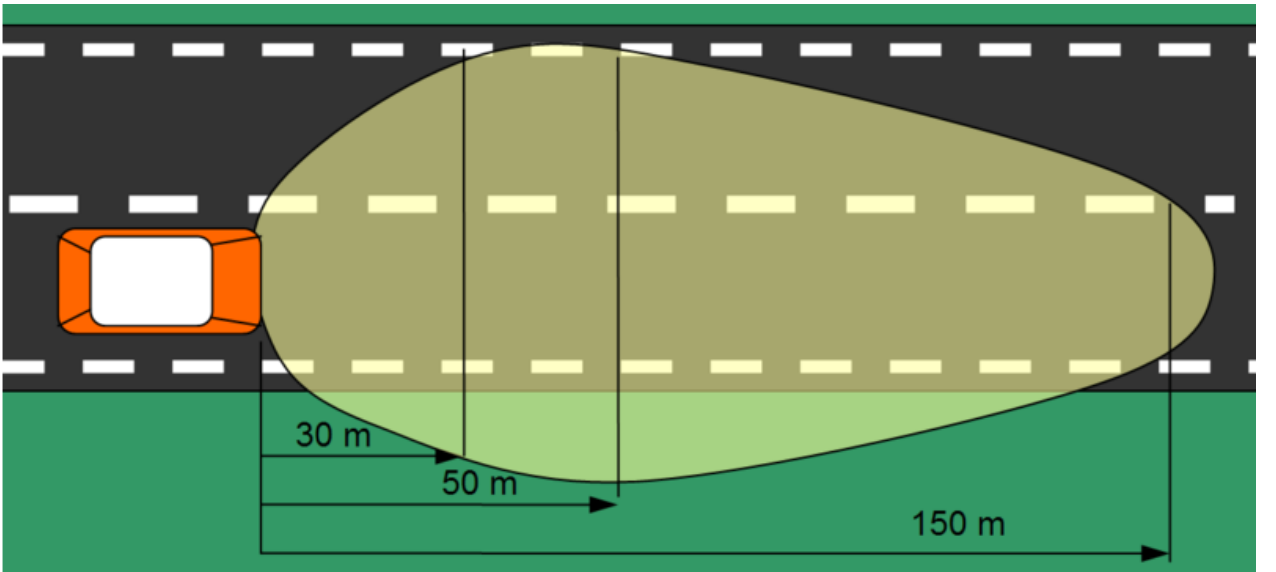
Şekil 5-1 Fotometrik test alanından görünüm [4]

Kısa Hüzme: 45-75 metre boyunca aydınlatma sağlar. Karşı yoldan gelen araçlarla karşılaşmalarda, öndeki aracı takip ederken ve geçerken, gündüzleri de sisli olup görüşü azaltan ve yağışlı olan havalarda kullanılan aydınlatma modudur. Diğer yol kullanıcılarının gözlerine yöneltilen ışığın keskin ve asimetrik bir desende kontrolünü sağlayan bir aydınlatma dağılımı sağlar.



Şekil 5-2 Kısa hüzme aydınlatması [6]

Uzun Hüzme: 100-152 metre boyunca aydınlatma sağlar. Geceleri veya gündüz olsa dahi hava durumunun görüşü azaltacak şekilde yağmurlu olması halinde, yeterince aydınlatılmamış tünellerde, ve 75 metreden fazla mesafenin aydınlatılması ihtiyacında kullanılan aydınlatma modudur. Diğer yol kullanıcılarının gözlerine yöneltilen ışığın belirli bir kontrolü olmadan parlak, merkez ağırlıklı bir aydınlatma dağılımı sağlar.



Şekil 5-3 Uzun hüzme aydınlatması [6]

5.2. Mekanik İsterler

Askeri kara araçlarının maruz kalacağı çevresel mekanik etkiler AECTP 400 standardı ile açıklanmaktadır. Tekerlekli taktik araçlar için tüm arazi koşullarında maruz kalacağı rastgele titreşim koşullarını ifade eden ivme spektral yoğunluğun frekansa bağlı grafiği enlemesine, boylamasına ve düşey olmak üzere her üç eksen için Çizelge 5-2 ile aşağıdaki gibi verilmiştir.

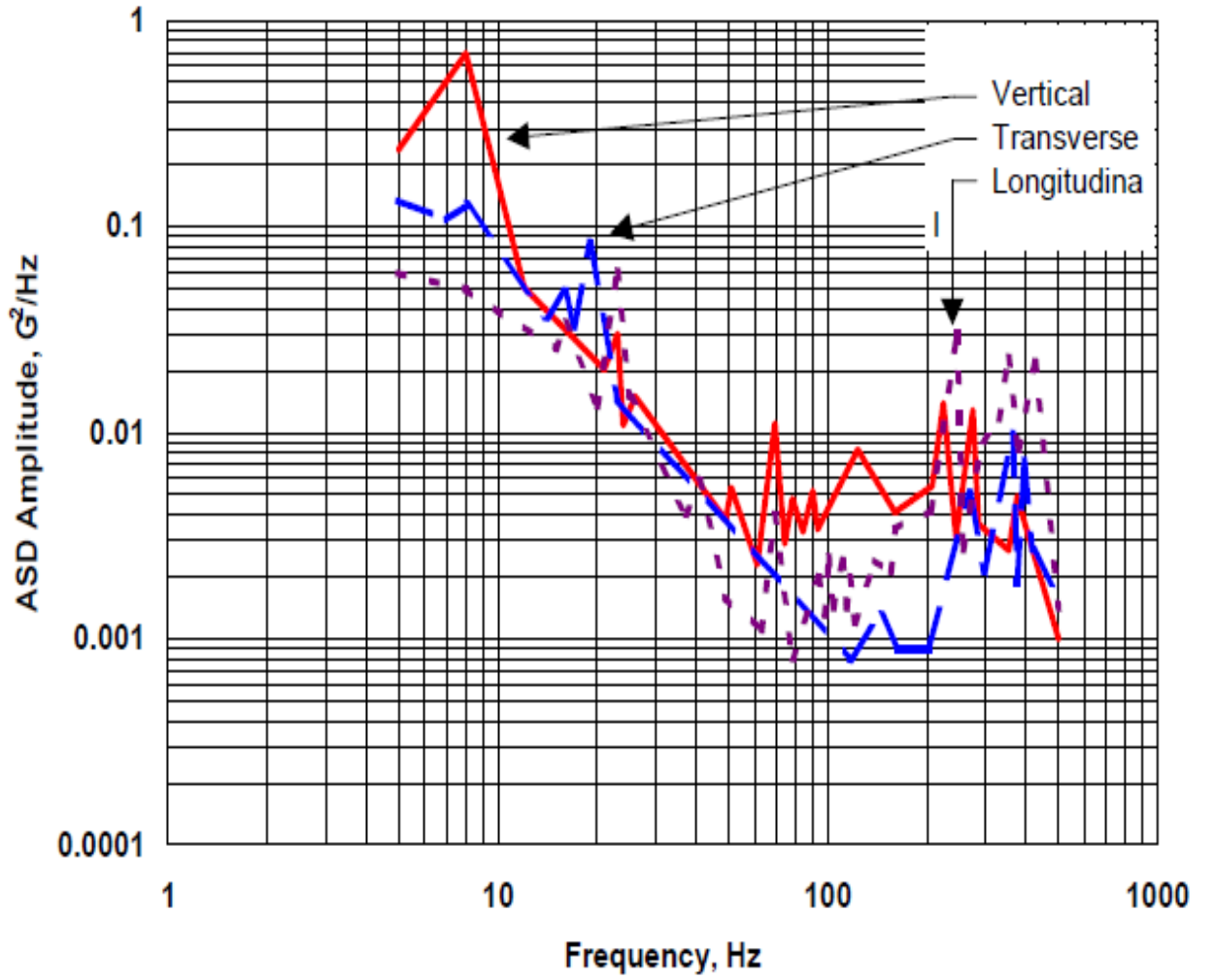
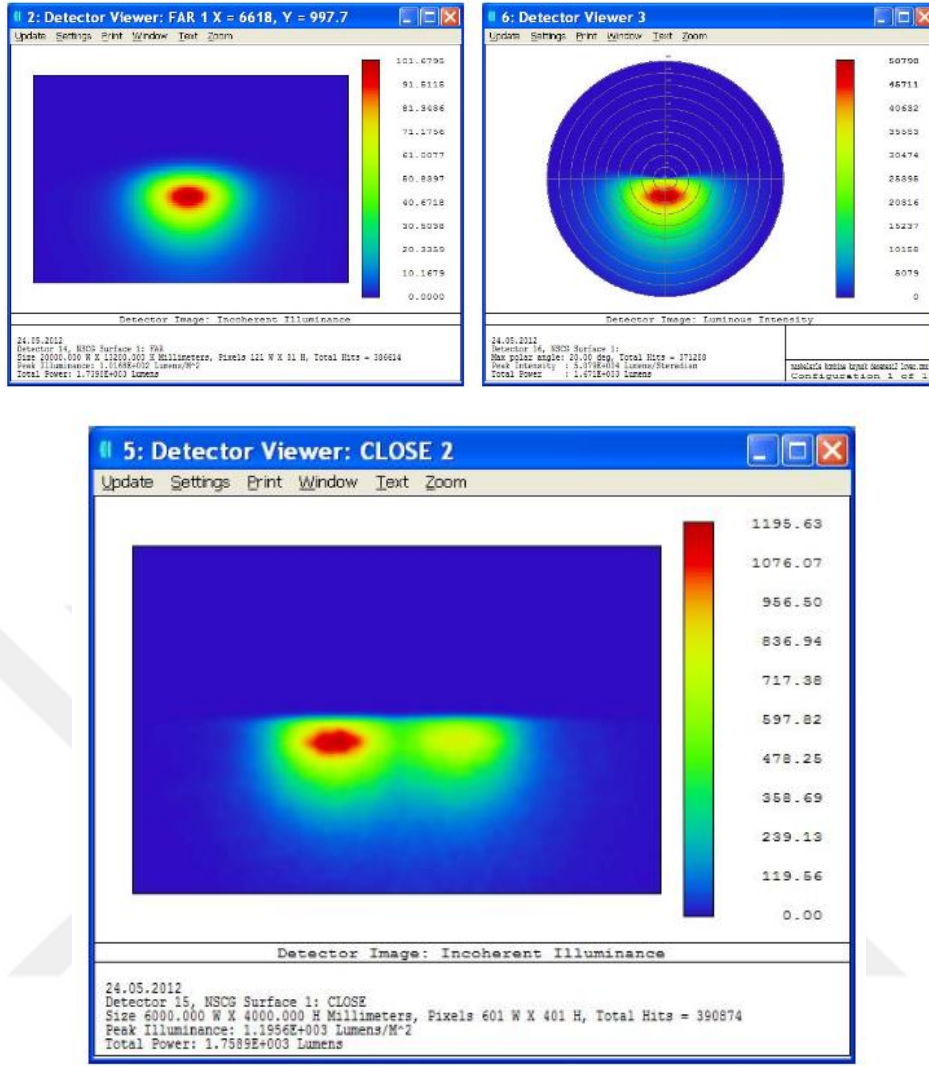


Figure A-2 Tactical Wheeled Vehicle Schedule Breakpoints					
Vertical		Transverse		Longitudinal	
Hz	G ² /Hz	Hz	G ² /Hz	Hz	G ² /Hz
5	0.2366	5	0.1344	5	0.0593
8	0.6889	7	0.1075	8	0.0499
12	0.0507	8	0.1279	15	0.0255
21	0.0202	14	0.0366	16	0.0344
23	0.0301	16	0.0485	20	0.0134
24	0.0109	17	0.0326	23	0.0608
26	0.0150	19	0.0836	25	0.0148
49	0.0038	23	0.0147	37	0.0040
51	0.0054	116	0.0008	41	0.0059
61	0.0023	145	0.0013	49	0.0016
69	0.0111	164	0.0009	63	0.0011
74	0.0029	201	0.0009	69	0.0040
78	0.0048	270	0.0051	78	0.0008
84	0.0033	298	0.0021	94	0.0020
90	0.0052	364	0.0099	98	0.0013
93	0.0034	375	0.0019	101	0.0025
123	0.0083	394	0.0073	104	0.0014
160	0.0041	418	0.0027	111	0.0024
207	0.0055	500	0.0016	114	0.0014
224	0.0139			117	0.0020
245	0.0031			121	0.0012
276	0.0129			139	0.0024
287	0.0036			155	0.0021
353	0.0027			161	0.0034
375	0.0049			205	0.0042
500	0.0010			247	0.0303
				257	0.0027
				293	0.0092
				330	0.0116
				353	0.0231
				379	0.0083
				427	0.0220
				500	0.0014
Grms = 2.20		Grms = 1.62		Grms = 2.05	

Çizelge 5-2 İvme spektral yoğunluğunun frekansa bağlı değişimi [7]

6. TASARIM ve MODELLEME

Regülasyonlarca belirlenmiş Çizelge 5.1’de belirtilen aydınlatma şiddeti ve desenini sağlayan optik tasarım, uzun ve kısa hüzme modlarının herbiri için Zemax yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu tasarımın çıktısı olarak sistem aydınlatma kaynağı olarak kullanılacak ledlere ait tüm parametreler belirlenmiş, bu veriler kullanılarak sistem mekanik komponentlerinin tasarımı aşamasına geçilmiştir.



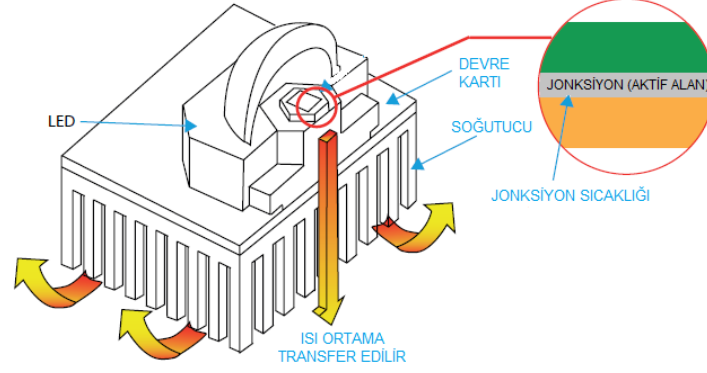
Şekil 6-1 Zemax Yazılımı Kullanılarak Gerçekleştirilen Optik Tasarım Çıktıları

Bir led aydınlatma sistemi için en kritik tasarım parametrelerinden biri, ısıya dönüşen enerjinin sistemden uzaklaştırılmasıdır. Ledler diğer ışık kaynaklarından uzun çalışma ömrüne sahip olması özelliği ile ön plana çıkıyor olsa da ısı etkisiyle ledin ışık çıktısı, renk sıcaklığı ve ömrü olumsuz etkilenir. Bu nedenle led ömrü için en belirleyici unsur iyi bir termal tasarımıdır. [12].

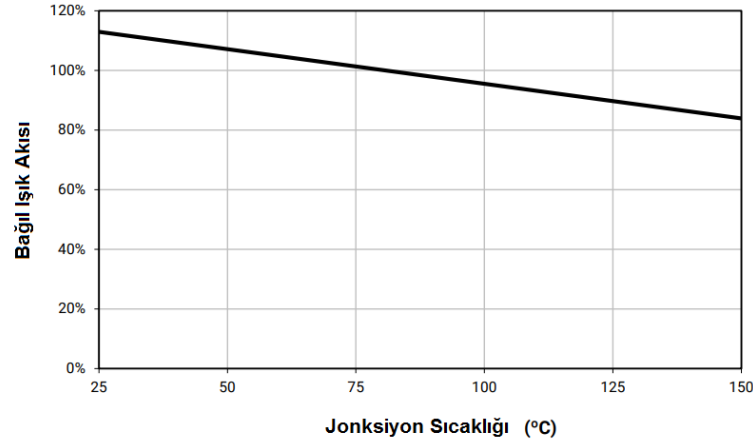
Led kullanımında doğru termal tasarımı gerçekleştirmek amacı ile üretici katalog değerlerini incelemek gerekir.

Bağıl ışık akısı değeri jonksiyon sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişir. Jonksiyon sıcaklığı diyotun tabana bağlandığı aktif bölgedir, bu bölgede elektronlar foton üretmek için iki yarıiletken arasında hareket ederler. Jonksiyon sıcaklığı arttıkça bağıl ışık akısı azalır, soğutulduğunda eski haline geri döner. Şekil 6-2 jonksiyon sıcaklığının oluştuğu bölgeyi ifade eden bir görsel içermektedir.

Bu değer 150°C'ye ulaştığında led üzerinde kalıcı hasar meydana gelebileceği üretici firma tarafından katalog bilgilerinde belirtilmektedir. Üretici, jonksiyon sıcaklığının azami olarak bağlı ışık akısının %100 olduğu sıcaklık olan 85°C'de kalacak şekilde termal tasarım yapılması gerektiğini Çizelge 6-1 ile önermiştir. [8]



Şekil 6-2 Jonksiyon sıcaklığı [3]



Çizelge 6-1 Jonksiyon sıcaklığının bağlı ışık akısı üzerindeki etkisi [8]

Termal Tasarım, ısı transferinin konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon olmak üzere üç mekanizması vardır.

Kondüksiyon (İletim), ısının doğrudan temas ile katı bir madde içerisinde aktarılmasıdır. Bu LED jonksiyon noktasından ısı transferinin ilk modudur. Tüm malzemelerin termal iletkenlik potansiyeli ısı iletkenlik katsayısı olarak ifade edilebilir kısaca k ile gösterilir.

Kondüksiyonla ısı akışının temel denklemi, izotermal bir yüzeyden geçen ısı akış hızı ve yüzeydeki sıcaklık dalgalanmaları arasındaki orantı ile ifade edilir. Fourier Kanunu olarak adlandırılır.

$$Q_{kond} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Burada,

Q_{kond} kondüksiyon ile transfer olan ısı miktarı (W)

k malzemenin ısı iletkenliği (W/m K)

A ısının iletildiği kesit alanı (m²)

ΔT malzeme boyunca sıcaklık gradyanı (°C)

Δx ısının iletildiği mesafe (m)'yi ifade etmektedir.

Konveksiyon (Taşınım), katı bir yüzey ve ona komşu olan hareket halindeki akışkan arasında gerçekleşen ısı transferi şeklindedir. Konveksiyon içinde hem iletimden hem de akışkan hareketinden gelen bileşik etkileri içerir. LED sistemlerinde, genellikle ısı soğutucudan çevre havasına aktarılacaktır. Konveksiyonla ısı transferi Newton Soğuma Yasası ile aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

$$Q_{konv} = h \cdot A_s \cdot \Delta T$$

Burada,

Q_{konv} konveksiyon ile transfer olan ısı miktarı (W)

h ısı transfer katsayısı (W/m² K)

A yüzey alanı (m²)

ΔT sıcaklık gradyanı (°C)'ni ifade etmektedir.

Radyasyon, termal enerjinin bir elektromanyetik alan aracılığıyla aktarılması olup ısı transferinin üçüncü modudur. Radyasyon ısı transferinin büyüklüğü, maddenin emisyon oranına dayanır; bu, yüzeyin bir siyah cisime (blackbody) ne kadar yaklaştırıldığına oranıdır. Bir led sisteminde, radyasyon tipik olarak net sistem ısı transferi üzerinde çok küçük bir etkiye sahiptir ve ihmal edilir. Radyasyon ile gerçekleşen ısı transferi aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_f^4)$$

Burada,

Qrad radyasyon ile transfer olan ısı miktarı (W)

ϵ yayma oranı (birimsiz)

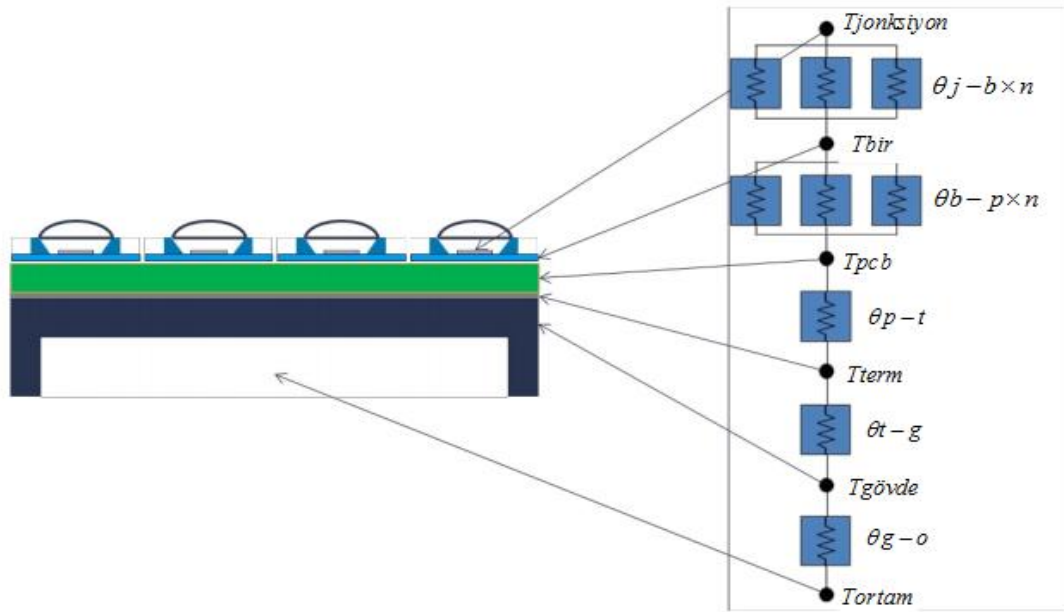
σ Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

A yüzey alanı (m^2)

T_s malzemenin yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

T_f ortamdaki akışkan sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)'nı ifade eder. [2][3]

Bir led sisteminin termal yolu, bir elektrik devresi ile benzeştirilebilir. Isıl dirençler, dirençler tarafından temsil edilir, ısı akışı elektrik akımı ile özdeşleştirilir ve sistem içindeki karşılık gelen sıcaklıklar elektriksel gerilimlere karşılık gelir. Şekil 6-3 ortamdaki hava ile temas halinde olan bir soğutucuya monte edilmiş baskılı devre kartı (PCB) üzerindeki çoklu led sisteminin bir direnç ağının temsildir.



Şekil 6-3 PCB üzerindeki çoklu led sistemi direnç ağı

Burada,

T ilgili bölgelerdeki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

θ_{a-b} a ve b noktaları arasındaki termal direnç ($^{\circ}\text{C/W}$)

n led sayısını ifade eder.

Şekildeki ısı transferi yolunu özetlemek gerekir ise baskılı devre kartı tarafından emilen ısı, termal ara malzeme üzerinden gövdeye kondüksiyon ile aktarıldıktan sonra, ortamdaki havaya konvekte edilir.

Devredeki düğümler, sistem içindeki münferit bölümleri ve sıcaklıkların ölçülebileceği noktaları temsil eder. Örneğin birleşim noktası sıcaklığı (T_{bir}) üretici veri sayfasında belirtildiği üzere baskılı devre kartı üzerindeki sıcaklığın ölçülebileceği test noktasını ifade eder. Bu değer led jonksiyon sıcaklığını hesaplamak için kullanılır.

Dirençler elemanların termal direncini temsil eder.

Her bir termal direnç aşağıdaki formül ile hesaplanabilir,

$$\theta_{a-b} = \frac{T_a - T_b}{P_t}$$

θ_{a-b} a ve b noktaları arasındaki termal direnç ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

T_a a noktasındaki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

T_b b noktasındaki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

P_t termal güç (W)'ü ifade etmektedir.

Tüm sistemin termal direnci, bir seri elektrik devresi gibi hesaplanabilir,

$$\theta_{sys,a-z} = \theta_{a-b} + \theta_{a-b} + \dots + \theta_{y-z}$$

θ_{a-z} a ve z noktaları arasındaki sistem termal direnci ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{a-b} a ve b noktaları arasındaki termal direnç ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{b-c} b ve c noktaları arasındaki termal direnç ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{y-z} y ve z noktaları arasındaki termal direnç ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)'i belirtir.

Bir led sisteminde toplam sistem seviyesi direnci tipik olarak jonksiyon ile ortam arası (θ_{j-o}) olarak tanımlanır. Bu değer her bileşenin termal gücü nasıl aktardığını nicelleştirir.

Jonksiyon sıcaklığı üretici katalog bilgilerinde işaret edilen ölçüm noktasından, termokupllar vasıtasıyla ölçülen sıcaklık değerini kullanarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$T_j = T_{\text{ön}} + \theta_{tr} \times P_{\text{toplaml}}$$

T_j jonksiyon sıcaklığı (°C)

$T_{\text{ön}}$ ölçüm (birleşim) noktası sıcaklığı (°C)

θ_{tr} komponentin termal direnci (°C/W)

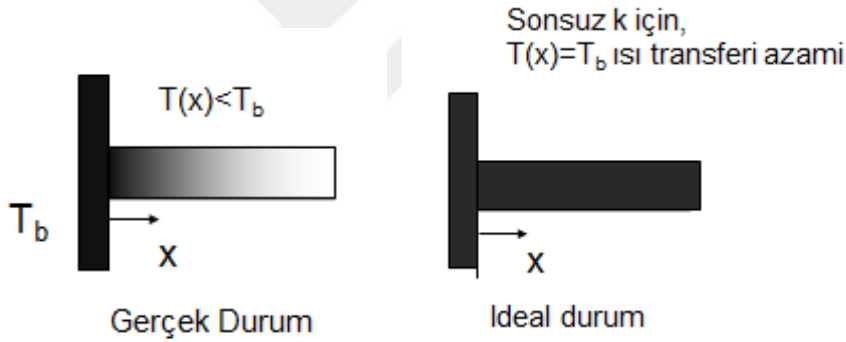
P_{toplaml} toplam verilen enerji (W) ($I_f \times V_f$) 'yi ifade eder. [8]

Fin Tasarımı

Fin verimini tanımlamak için,

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{\text{max}}}$$

$$q_{\text{max}} = hA_f(T_b - T_{\infty})$$



$$q_f = \eta_f q_{\text{max}} = \eta_f hA_f(T_b - T_{\infty})$$

$$q_f = \frac{T_b - T_{\infty}}{1/(\eta_f hA_f)} = \frac{T_b - T_{\infty}}{R_{t,f}}$$

$$R_{t,f} = \frac{1}{\eta_f hA_f}$$

Tek bir kanat için termal resistans elde edilir.

Isı transferinde daha düşük direnç elde etmek için,

$R_{t,b} > R_{t,f}$ or $A_b < \eta_f A_f$ olmalıdır.

Toplam fin verimi,

$$\begin{aligned}q_t &= q_b + Nq_f = hA_b(T_b - T_\infty) + N\eta_f hA_f(T_b - T_\infty) \\&= h[(A_t - NA_f) + N\eta_f A_f](T_b - T_\infty) = h[A_t - NA_f(1 - \eta_f)](T_b - T_\infty) \\&= hA_t[1 - \frac{NA_f}{A_t}(1 - \eta_f)](T_b - T_\infty) = \eta_o hA_t(T_b - T_\infty)\end{aligned}$$

$$\eta_o = 1 - \frac{NA_f}{A_t}(1 - \eta_f)$$

$$q_t = hA_t \eta_o (T_b - T_\infty) = \frac{T_b - T_\infty}{R_{t,o}}$$

$$R_{t,o} = \frac{1}{hA_t \eta_o}$$

Led kullanımında ısıya dönüşen termal enerjinin hesaplanması aşağıdaki bağıntı ile yapılır,

$$P_t = 0.6 \times V_f \times I_f$$

Burada,

P_t thermal güç (W)

V_f Gerilim (V)

I_f Akım (A)'ı ifade etmektedir.

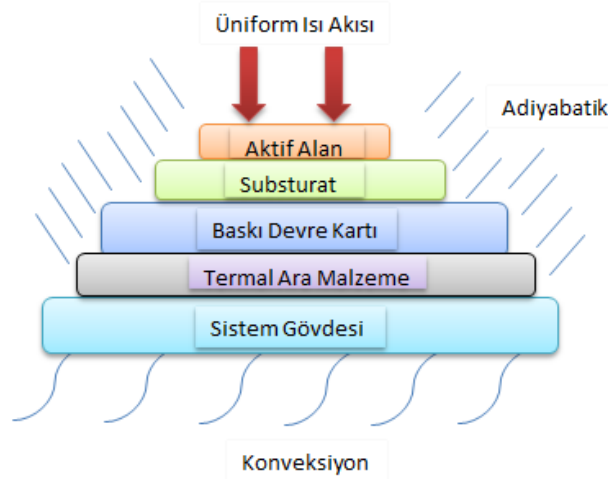
Led sistemleri termal tasarımında sisteme verilen enerjinin %60'ının ısıya dönüştüğü kabul edilir. Isı transferinin yalnızca led tabanındaki termal padden sistem gövdesine kadar konduksiyon ile sistem gövdesinden de ortama konveksiyon ile gerçekleştiği kabulü yapılmıştır. Yüksek güçlü ledler ısıl iletim katsayısı çok düşük lensler ile paketlenildiğinden radyasyon ile ısı transferi ihmal edilir.

Buna göre,

$$P_t = 0.6 \times 3.3V \times 0.7A = 1.4W$$

Isıya dönüşen miktar olarak hesaplayabiliriz.

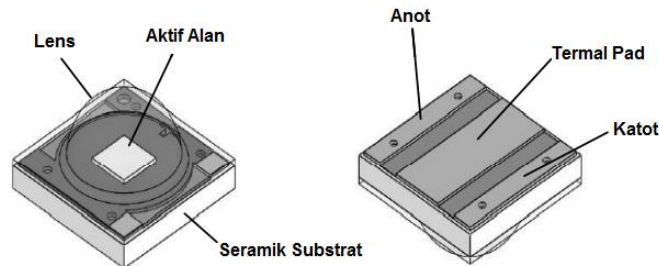
Bu veriler göz önüne alınarak her bir yüksek güçlü ledi sınır koşulları Şekil 6-4'te belirtildiği şekilde modelleyebiliriz. Malzemelerin homojen, izotropik ve termal iletkenliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 6-4 Sistem sınır koşulları

6.1. Taslak Tasarım

Termal tasarım aşamasına öncelikle yüksek güçlü ledlerin katman bazında modellenmesi ve ısı transferi sağlamak için termal yollarının belirlenmesi ile başlanmıştır. Yüksek güçlü ledler katman bazında incelendiğinde yukarıdan aşağıya sıra ile Galyum Nitrit (GaN) ve Alüminum Nitrit (AlN) seramik tabanlı substrat katman bulunmaktadır. Şekil 6-5 led katmanlarının şematik bir gösterimini içermektedir.

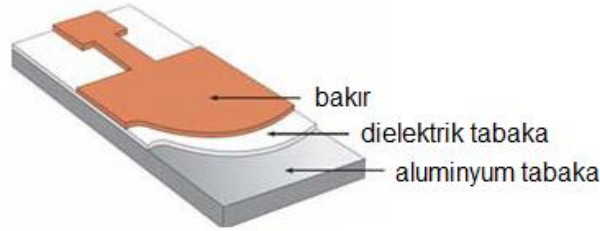


Şekil 6-5 Led katmanlarının ve termal yollarının şematik görünümü [8]

Ledlerin montajlanacağı elektronik kart olan baskılı devre kartı (PCB) ısı transferini arttırmak amacı ile metal tabanlı (MCPCB metal core printed circuit board) tipte seçilmiştir. Bu tip kartlarda Şekil 6-6'da gösterildiği gibi en üstte ısıl iletkenlik katsayısı yüksek bakır tabakası, onun altında elektriksel olarak yalıtkan fakat

termal olarak iletken olan dielektrik tabaka en altta ise yine ısı iletkenliği yüksek olan alüminyum bir tabaka yer alır.

Bu tip devre kartı kullanılan sistemlerde ısı transferi ledin alt tabakasında bulunan termal padden bakır tabakaya, oradan da sırayla diğer tabakalara iletilerek gerçekleşir.

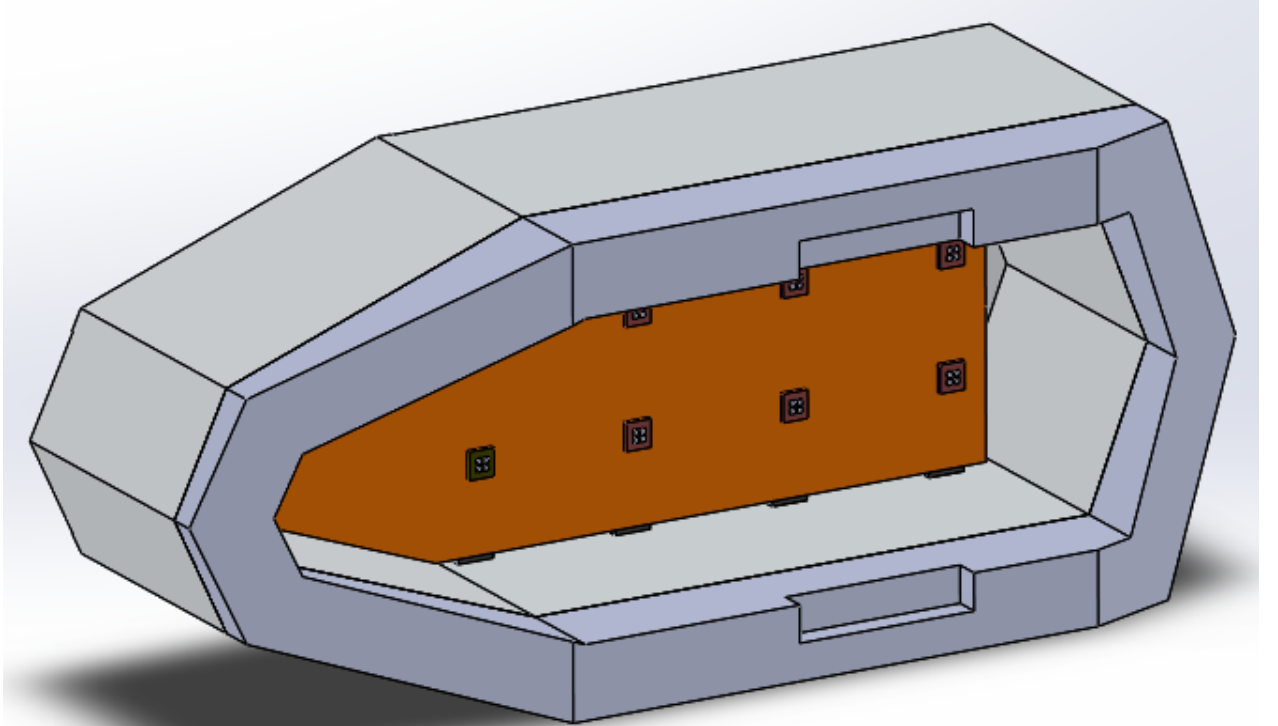
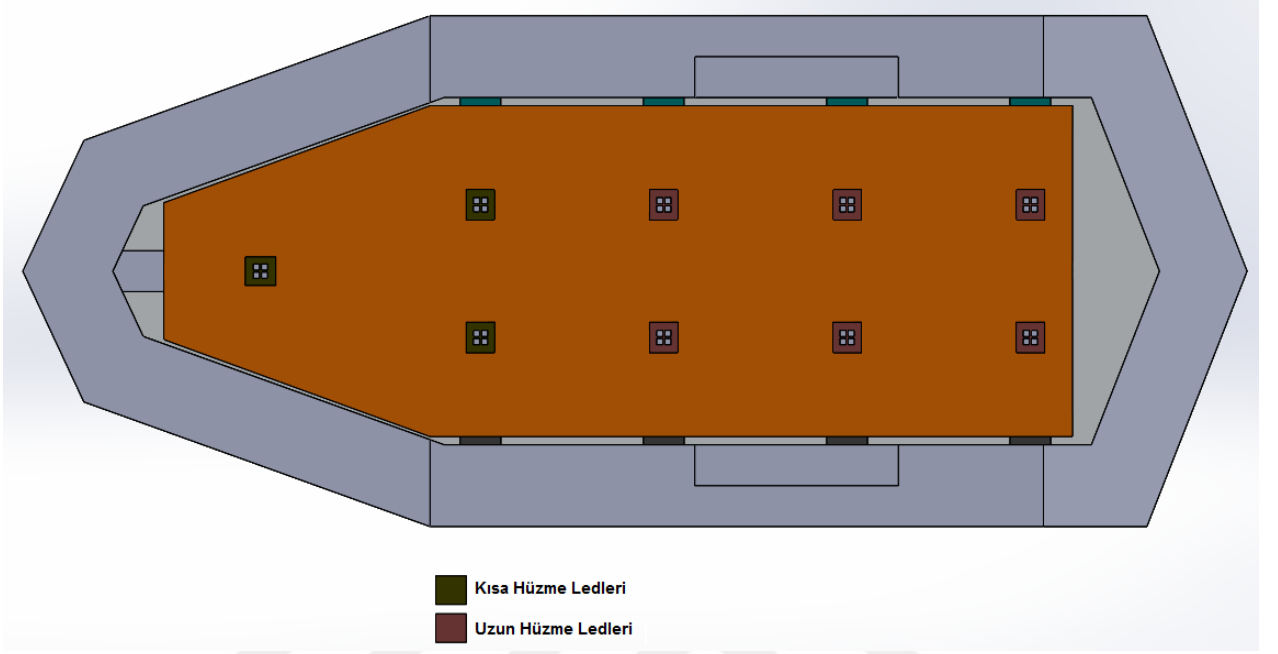


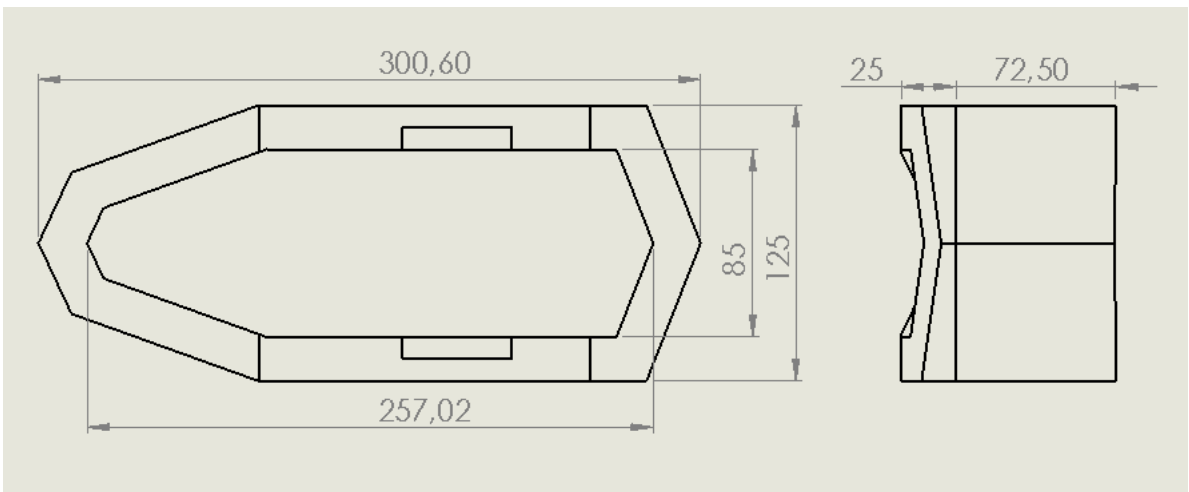
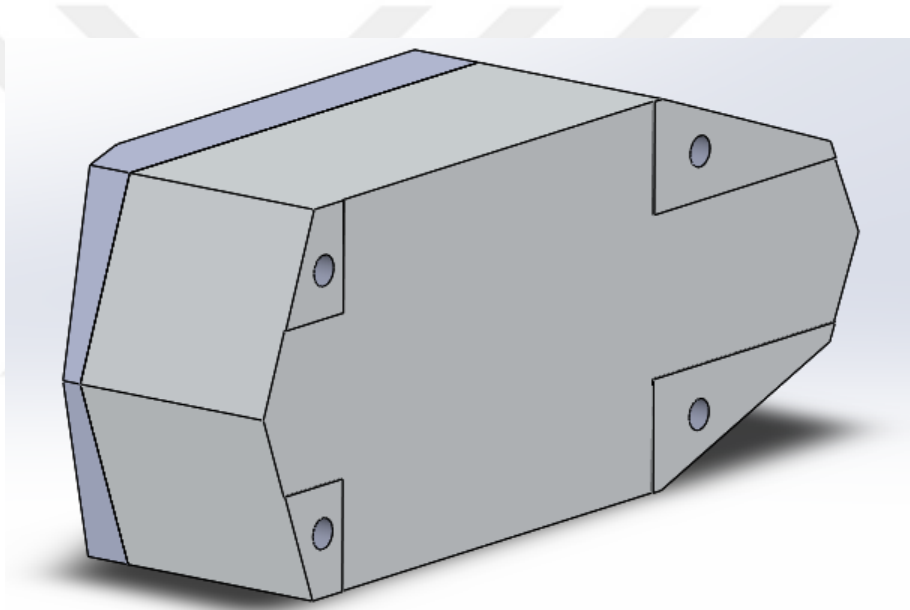
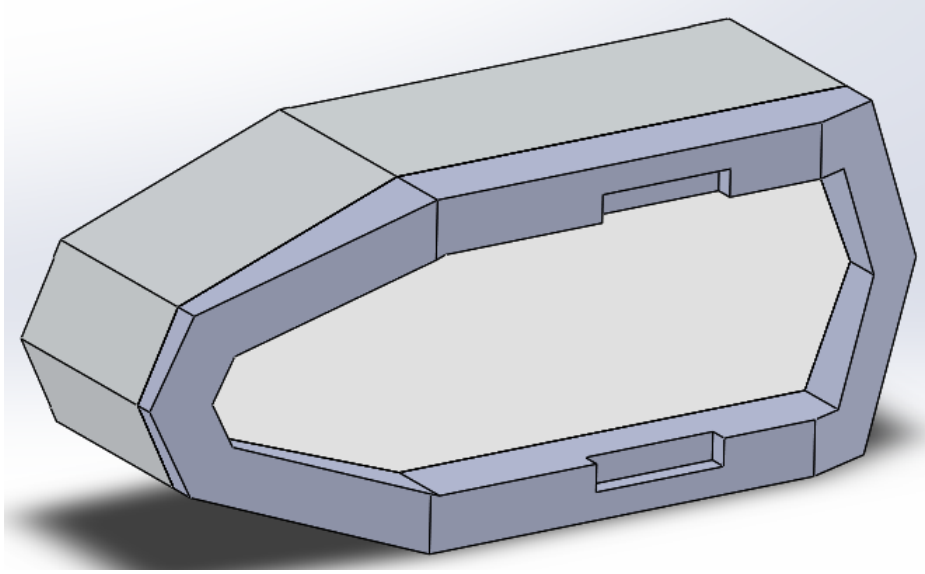
Şekil 6-6 Metal tabanlı baskılı devre kartı şematik görünümü

Elektronik kart ile sistem gövdesi arasında termal iletkenliği yüksek grafit levha kullanılarak ısının hızla sistemden uzaklaştırılması desteklenmiştir. Aynı zamanda soğutucu eleman olarak kullanılacak olan sistemi mekanik olarak paketleyecek gövde malzemesi, yüksek ısı iletkenlik, düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, iyi işlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özellikleri sebebi ile 6061-T6 alüminyum alaşımı olarak seçilmiş ve talaşlı imalat işlemlerinden sonra hem termal iletkenliğinin hem de korozyon direncinin artırılması amacı ile anodize kaplama prosesine tabi tutulması uygun bulunmuştur.

Yapılan optik tasarım sonucu elde edilen çıktılar ile sistem uzun hüzmelerin altı adet, kısa hüzmelerin üç adet yüksek güçlü led ile istelere uygun test noktalarında uygun desende aydınlatma şiddeti değerlerini sağladığı değerlendirilmiştir. Sistemin görsel tasarımı genel hatlarıyla belirlenmiş olup, konseptin oluşturulması sırasında takılabileceği kara araçları incelenmiştir. Detaylı tasarım termal optimizasyon analizleri sonucu şekillenmiştir. Sistem gövdesi ilk aşamada ağırlığı asgari düzeyde tutmak amacı ile yalın olarak öngörülmüş, analizler sonucunda hedef jonksiyon sıcaklığı değerini sağlamadığı sonucunda varıldığından, ısıyı konvekte edecek yüzey alanını arttırmak amacı ile finli yapılar eklenerek hedef değere ulaşılmaya çalışılmıştır. Finli yapılar üretimi kolaylaştırmak adına hazır ekstürde üretilmiş ürünlerden temin edilebilecek geometrilerde, sistem toplam boyut ve ağırlık sınırını aşmayacak şekilde seçilmiştir. Şekil 6-7 uzun ve kısa

hüzme koşullarında yanacal ledlerin sistem üzerindeki yerleşimini ve sistemin oluşturulan ilk taslak tasarım modelini içermektedir.





Şekil 6-7 Led yerleşimleri ve sistemin taslak tasarım mode

7. TERMAL ANALİZ

Simetri koşulları göz önüne alınarak sistemin ½'lik kısmı modellenmiştir. ANSYS *Workbench steady-state thermal* modülü kullanılarak yapılan analizlerde sürülen her bir led çipi yüzeyine 1.4W üniform ısı akısı tanımlanmıştır. Gövdenin hava ile temas eden tüm yüzeylerine 22 °C ortam sıcaklığında, durgun hava, ısı transfer katsayısı sabit konveksiyon tanımlanmıştır ($5e^{-006}W / mm^2 \text{ } ^\circ C$)

Jonksiyon sıcaklığı hedef değer olan 85°C'ye erişene kadar sistemde konveksiyona maruz kalan alan artırılarak analizler sürdürülmüştür.

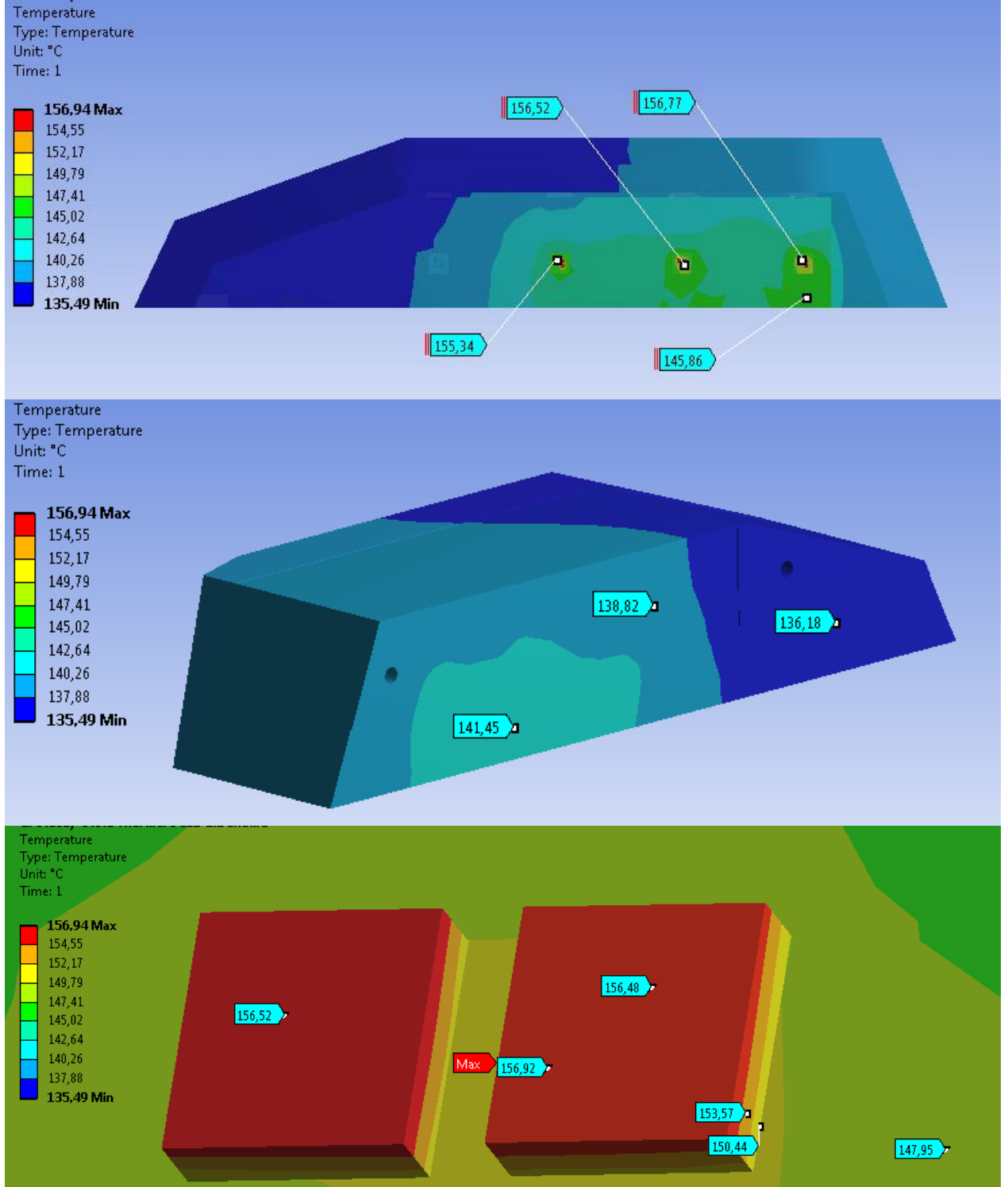
Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri homojen, izotropik ve termal iletkenliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğu kabulleri yapılarak, yoğunluk ve termal iletkenlik değerleri Çizelge 7-1'de verildiği gibi kullanılmıştır.

	Yoğunluk (g/cm ³)	İzotropik Termal İletkenlik (W/mK)
GaN [9]	6,1	65,6
AlN [10]	3,26	180
Bakır C101000 / ISO Cu-FRTP [11]	8,9	390
AL 6061-T6 / ISO AlMg1SiCu [12]	2,77	167
AL 5052-H32 / ISO AlMg2.5 [13]	2,68	138
Grafit / Panasonic EYG [14]	2,25	1950
PCB Dielektrik /Thermagon T-Preg 1KA [15]	1,84	3

Çizelge 7-1 Malzeme özellikleri

Model-1: Uzun hüzme aydınlatma koşulu.

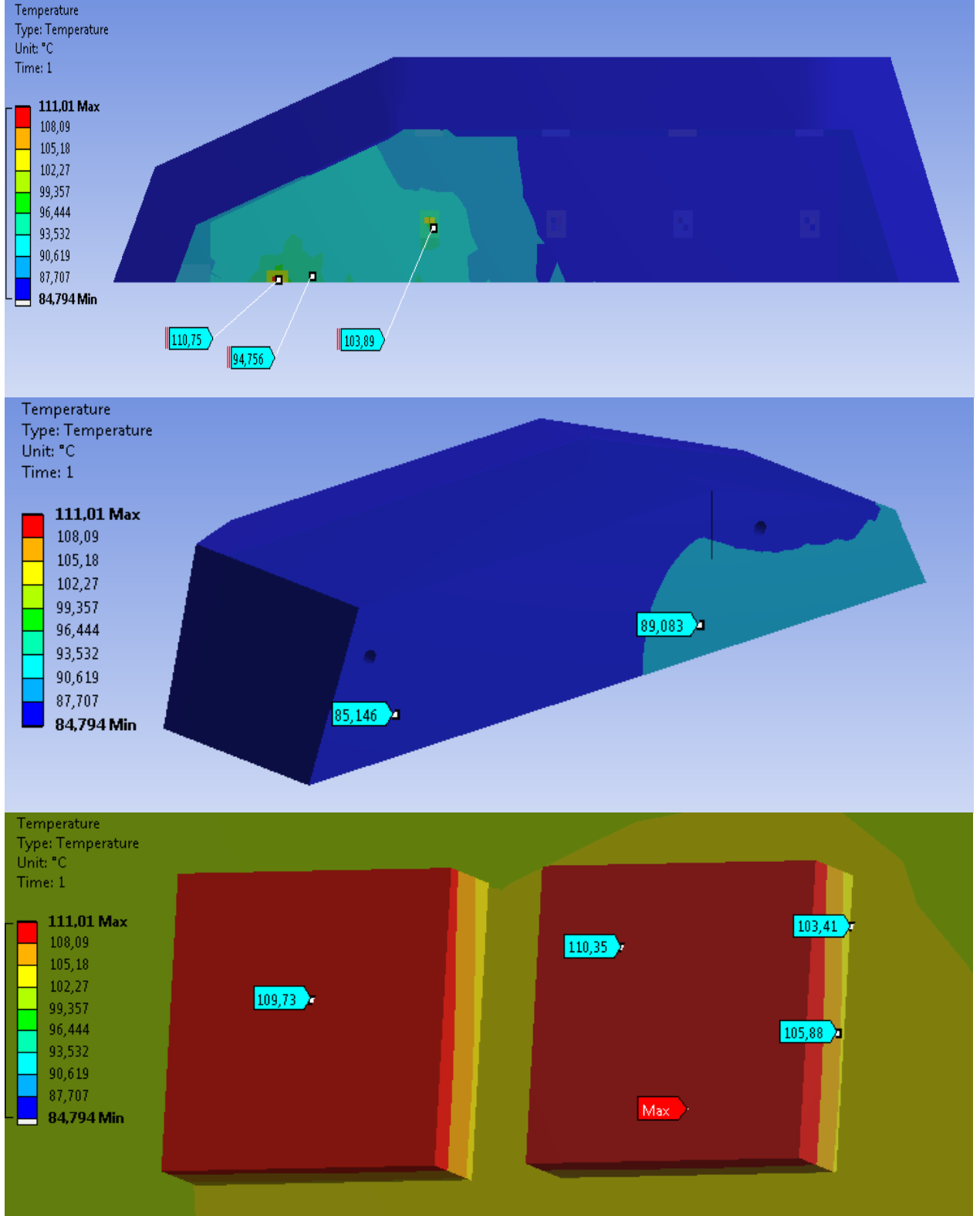
Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-1'de gösterilmiştir.



Şekil 7-1 Model-1 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-1: Kısa hüzme aydınlatma koşulu

Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-2'de gösterilmiştir.

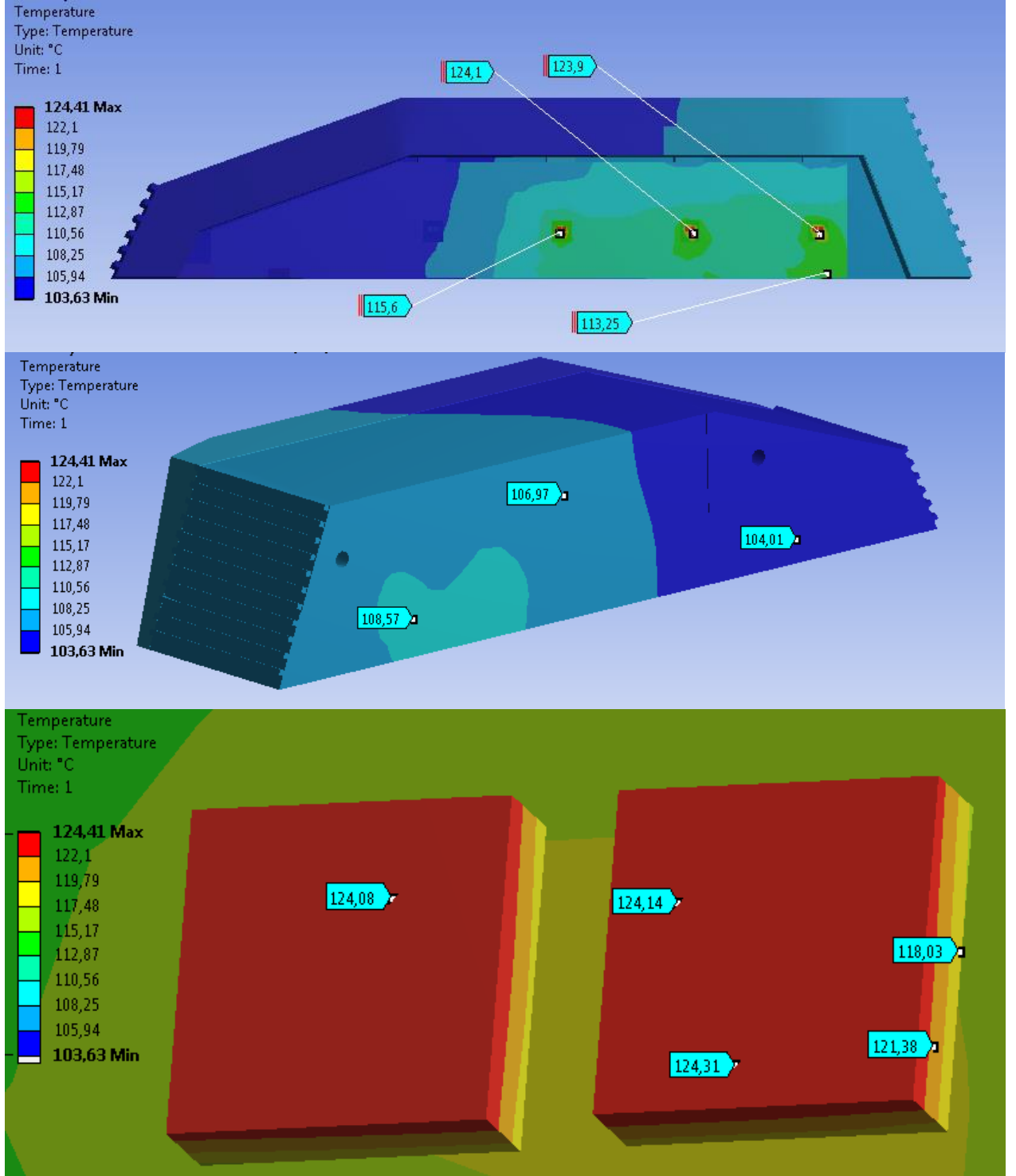


Şekil 7-2 Model-1 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-2: Uzun hüzme aydınlatma koşulu için analiz gerçekleştirilmiştir.

Finli yüzeyler sayesinde konveksiyona maruz kalan alan 1121 mm^2 artırılmıştır.

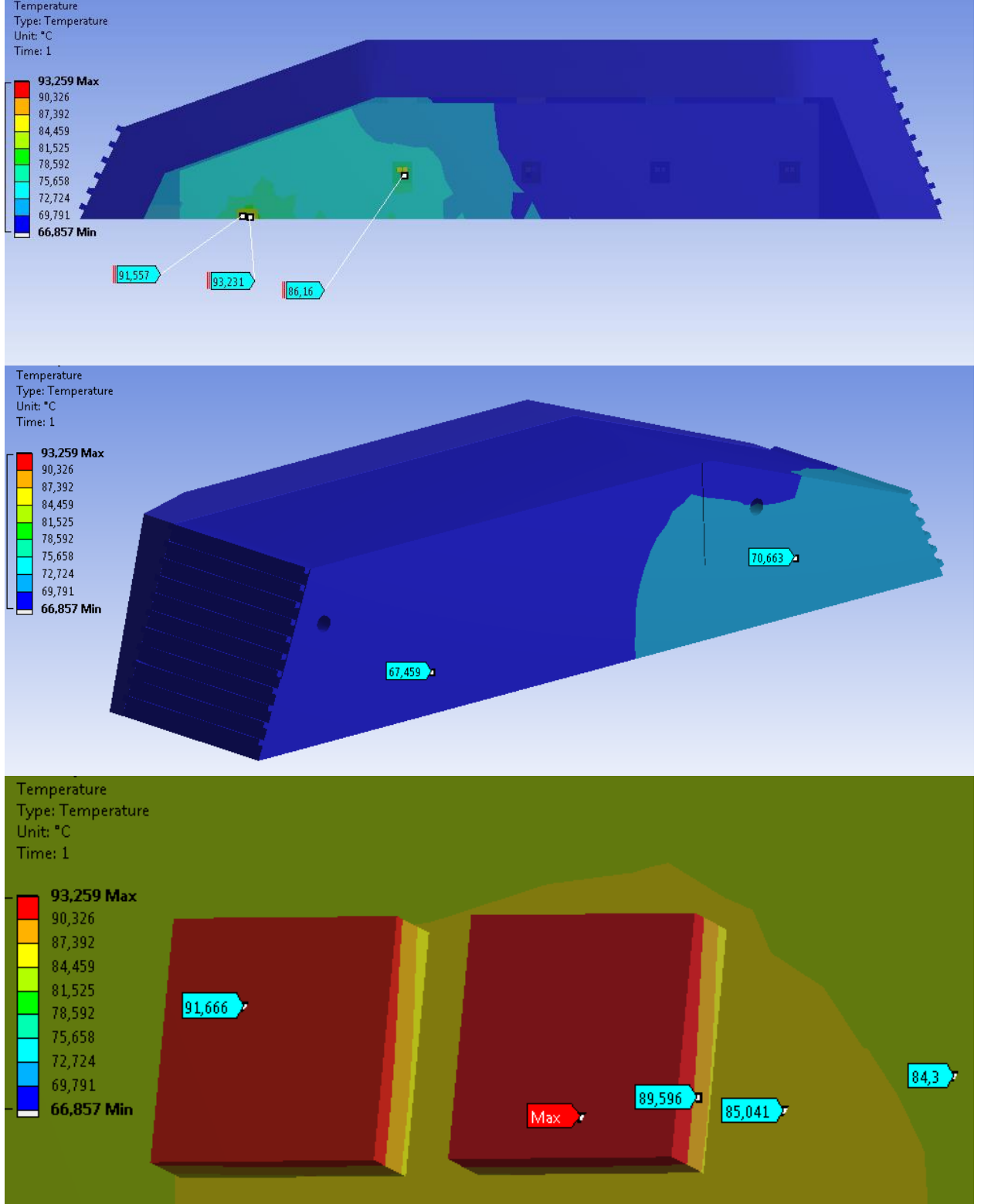
Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-3'de gösterilmiştir.



Şekil 7-3 Model-2 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-2: Kısa hüzme aydınlatma koşulu

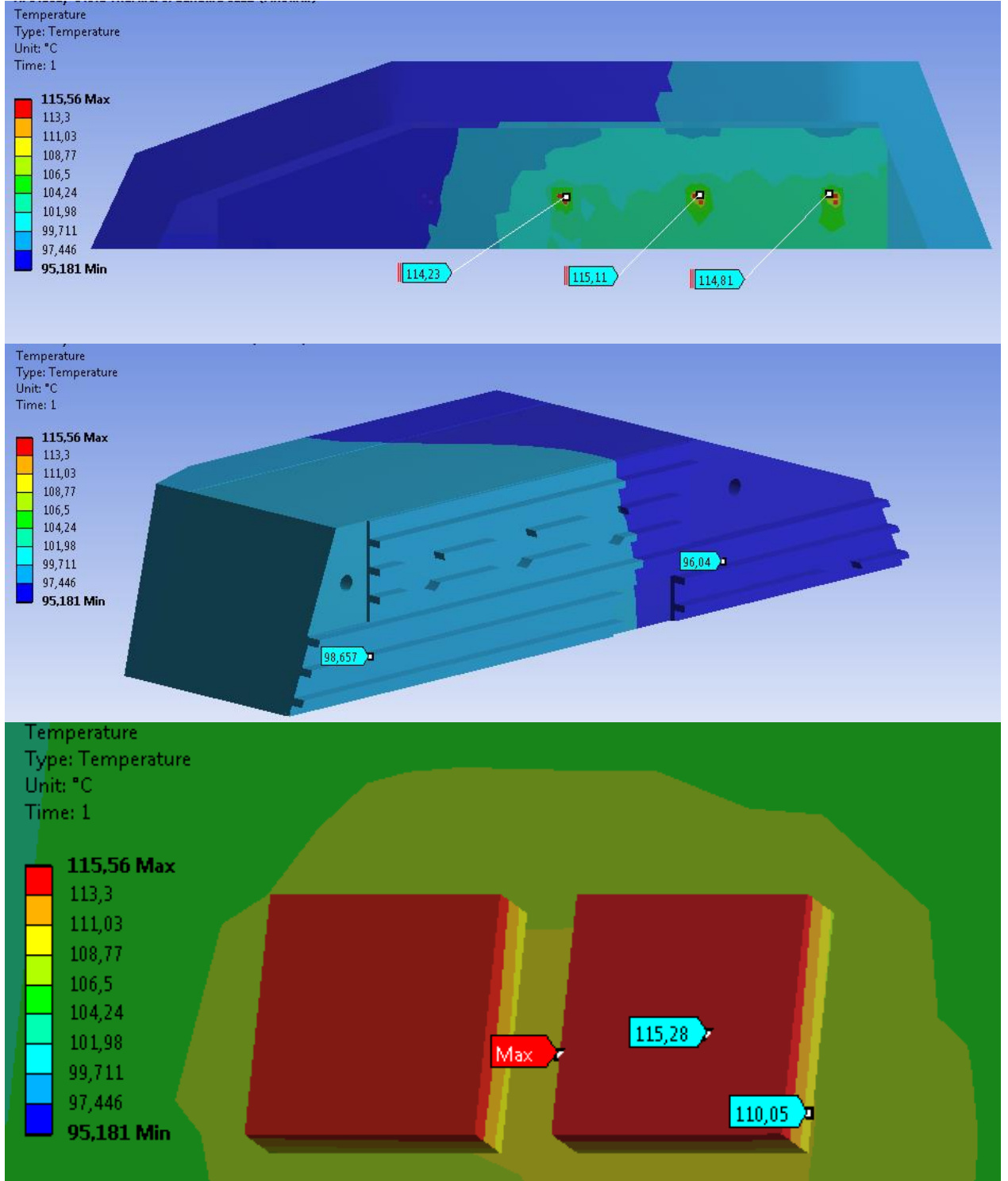
Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-4'te gösterilmiştir.



Şekil 7-4 Model-2 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-3: Uzun hüzme aydınlatma koşulu

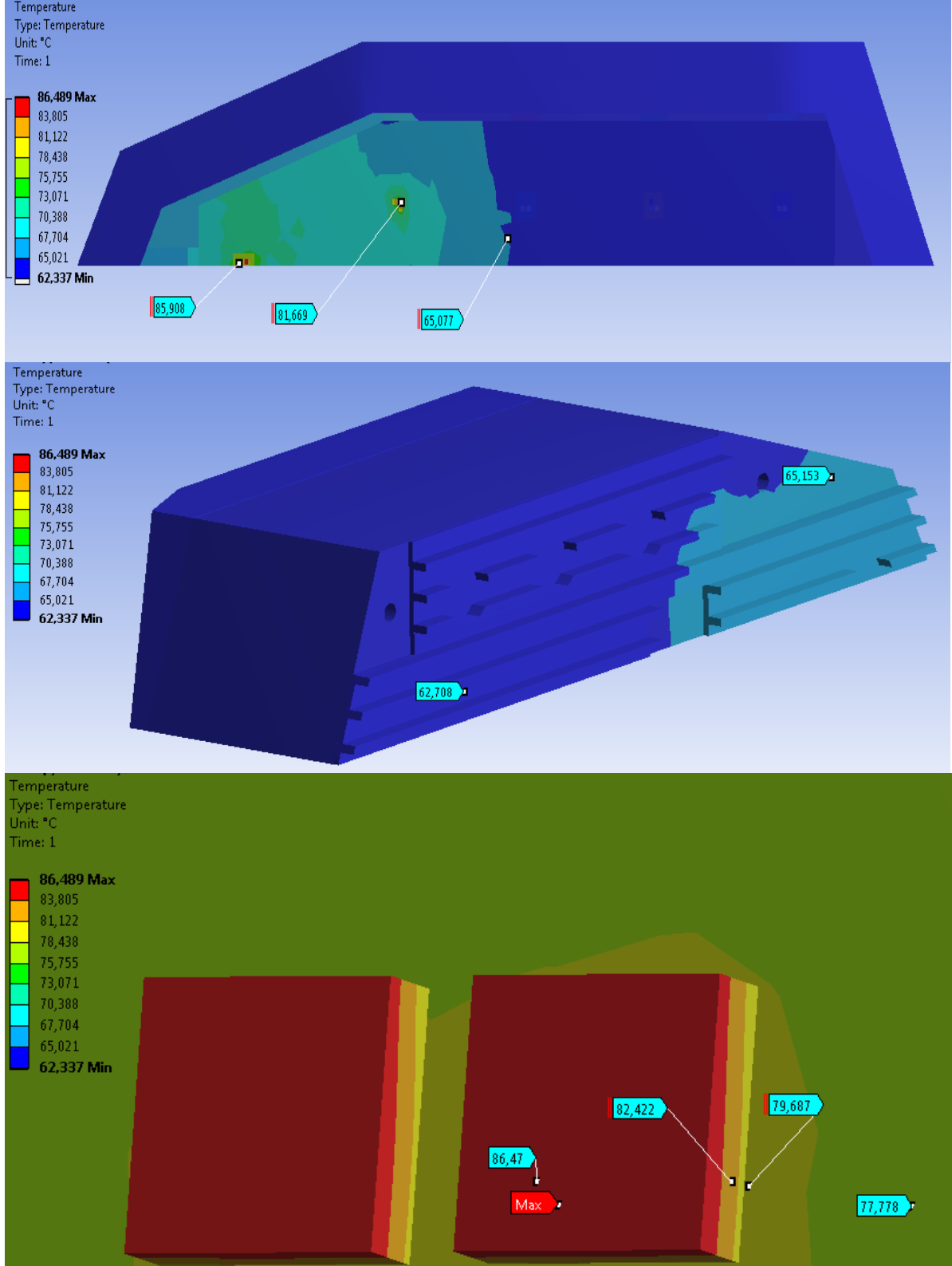
Finli yüzeyler sayesinde konveksiyona maruz kalan alan 12533 mm² daha arttırılmıştır. Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-5'te gösterilmiştir.



Şekil 7-5 Model-3 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-3: Kısa hüzme yanma koşulu fin 5mm

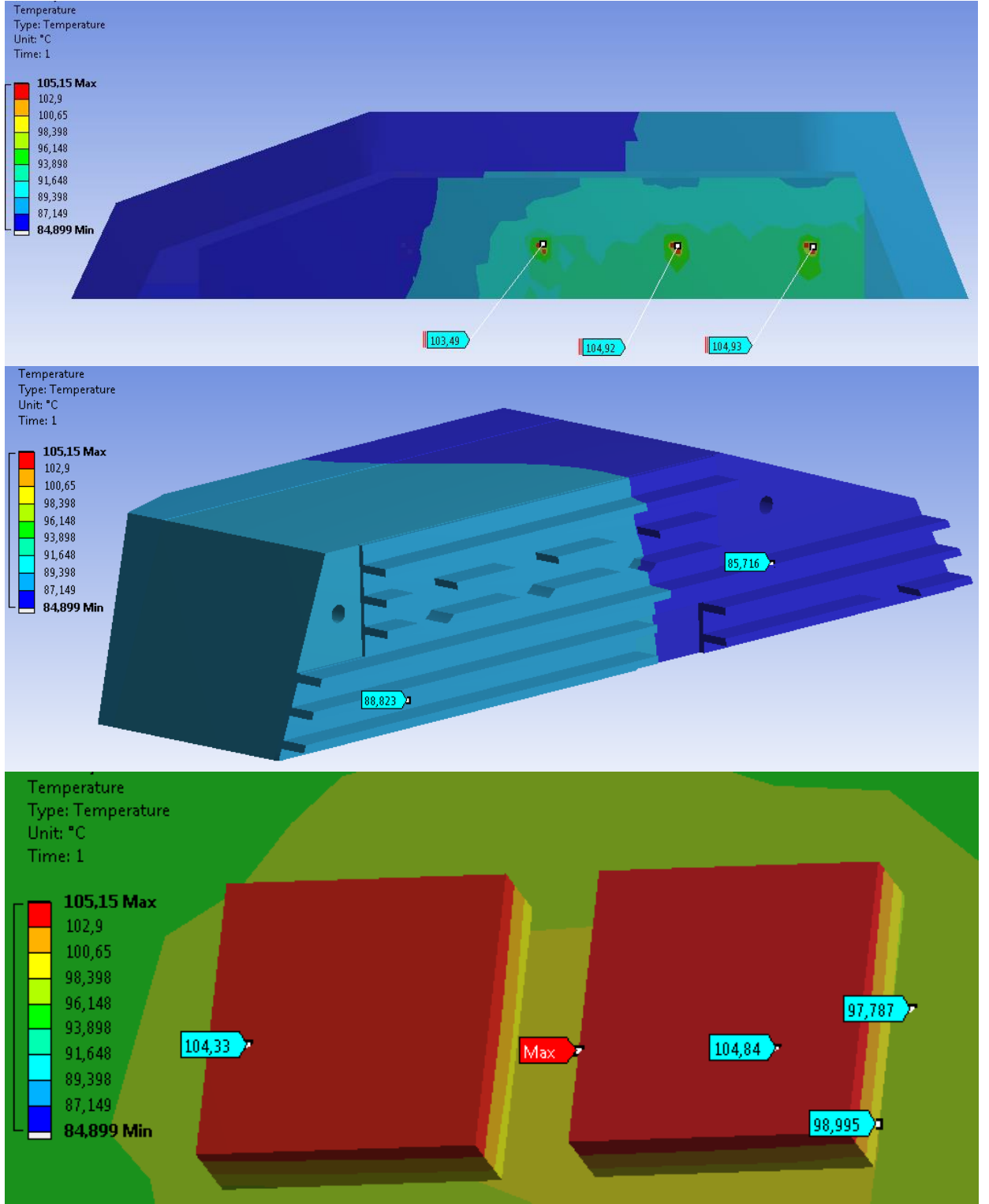
Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-6'da gösterilmiştir.



Şekil 7-6 Model-3 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-4: Uzun hüzme yanma koşulu

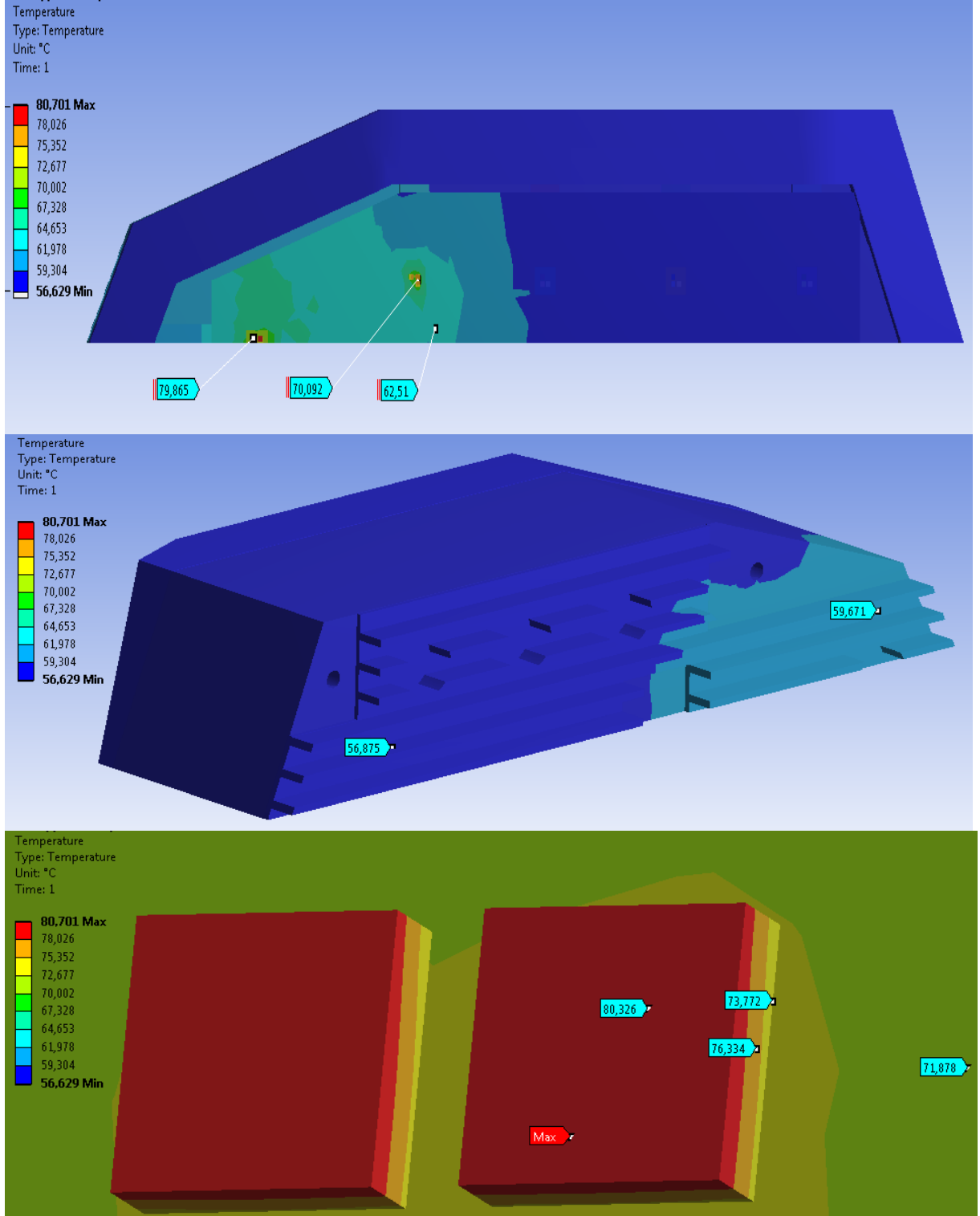
Finli yüzeyler sayesinde konveksiyona maruz kalan alan 13123 mm² daha arttırılmıştır. Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-7'de gösterilmiştir.



Şekil 7-7 Model-4 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-4: Kısa hüzme yanma koşulu

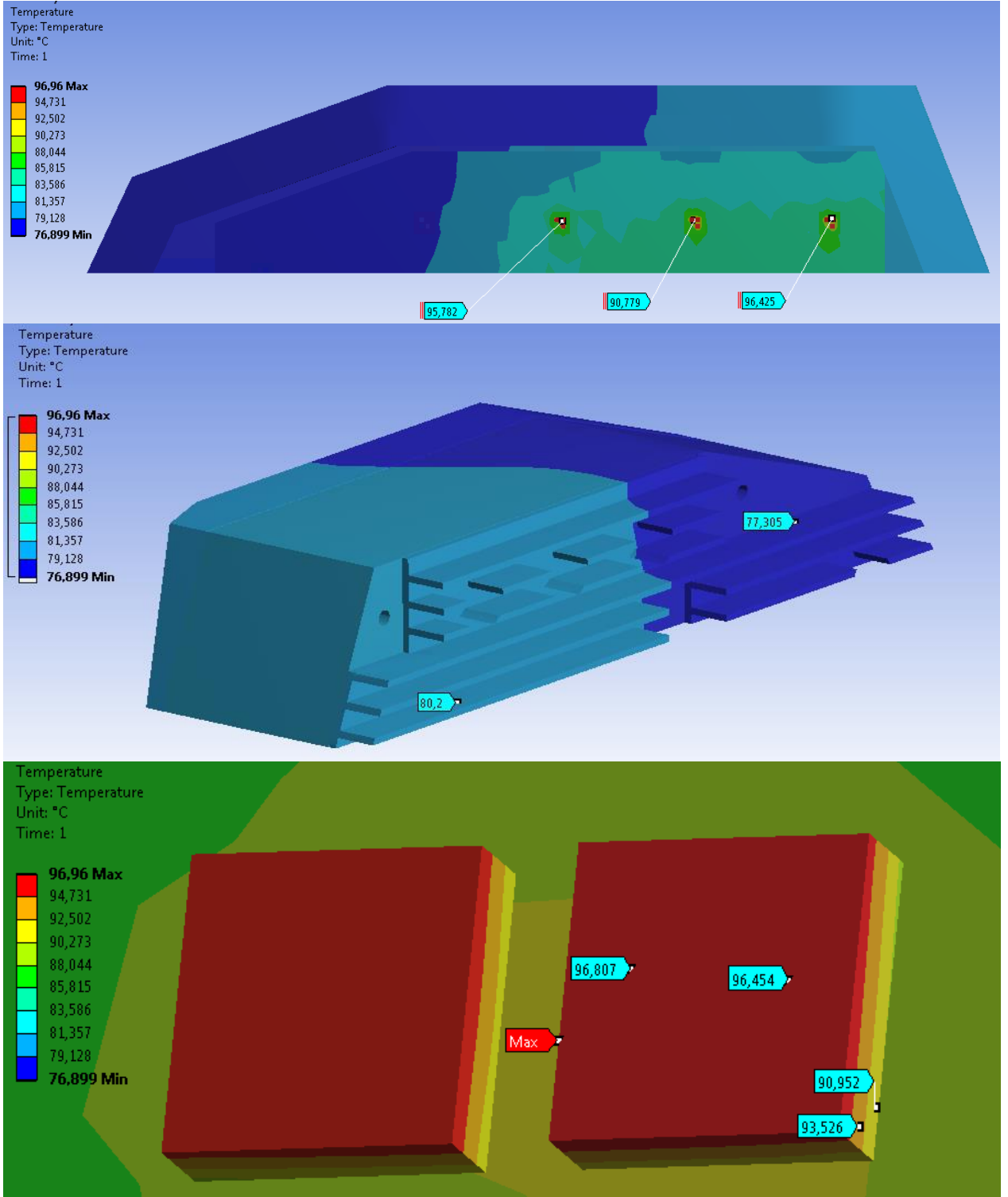
Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin altında kalabilmiştir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-8'de gösterilmiştir.



Şekil 7-8 Model-4 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-5: Uzun hüzme yanma koşulu

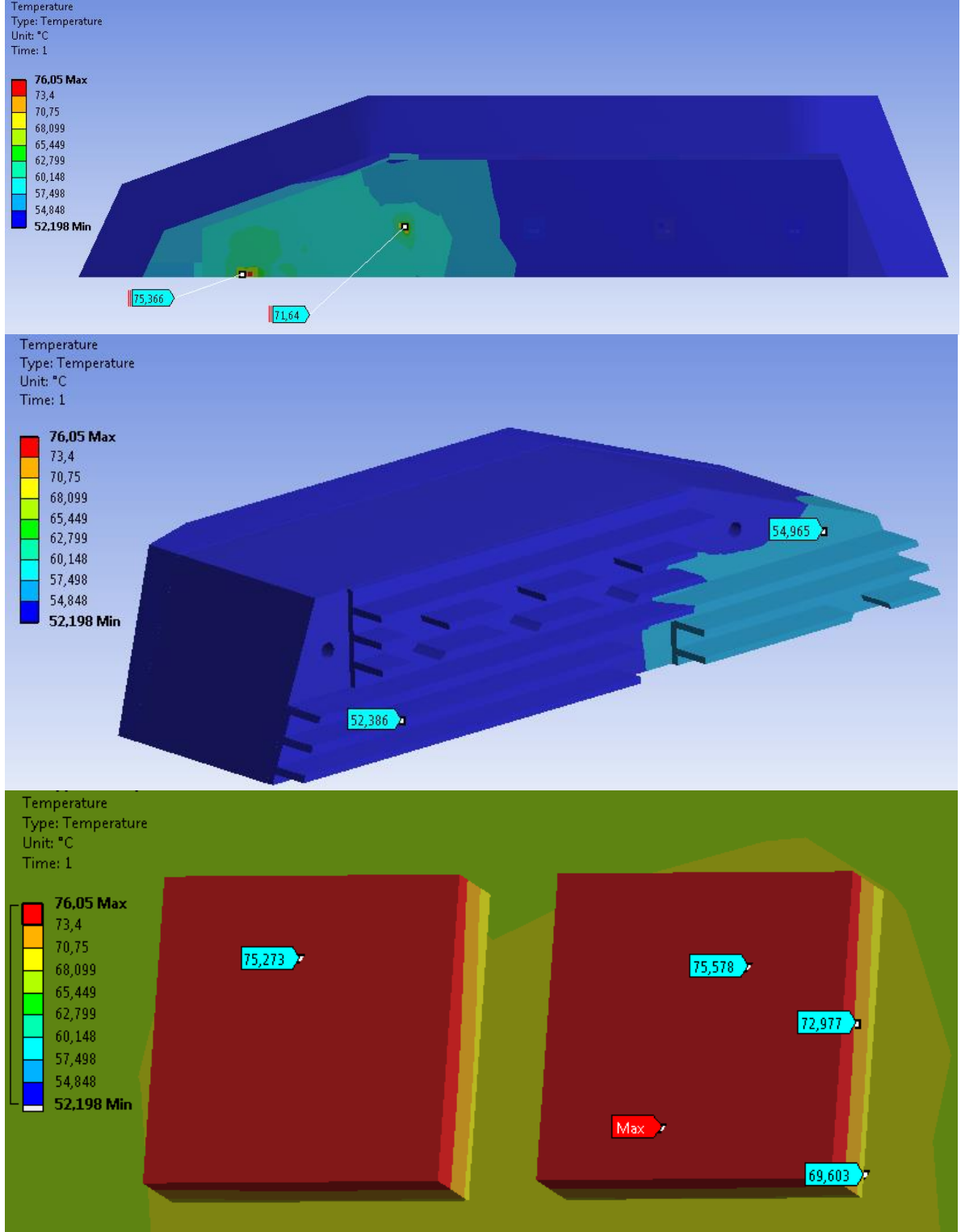
Finli yüzeyler sayesinde konveksiyona maruz kalan alan 13123 mm² daha arttırılmıştır. Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin üzerindedir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-9'da gösterilmiştir.



Şekil 7-9 Model-5 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-5: Kısa hüzme yanma koşulu

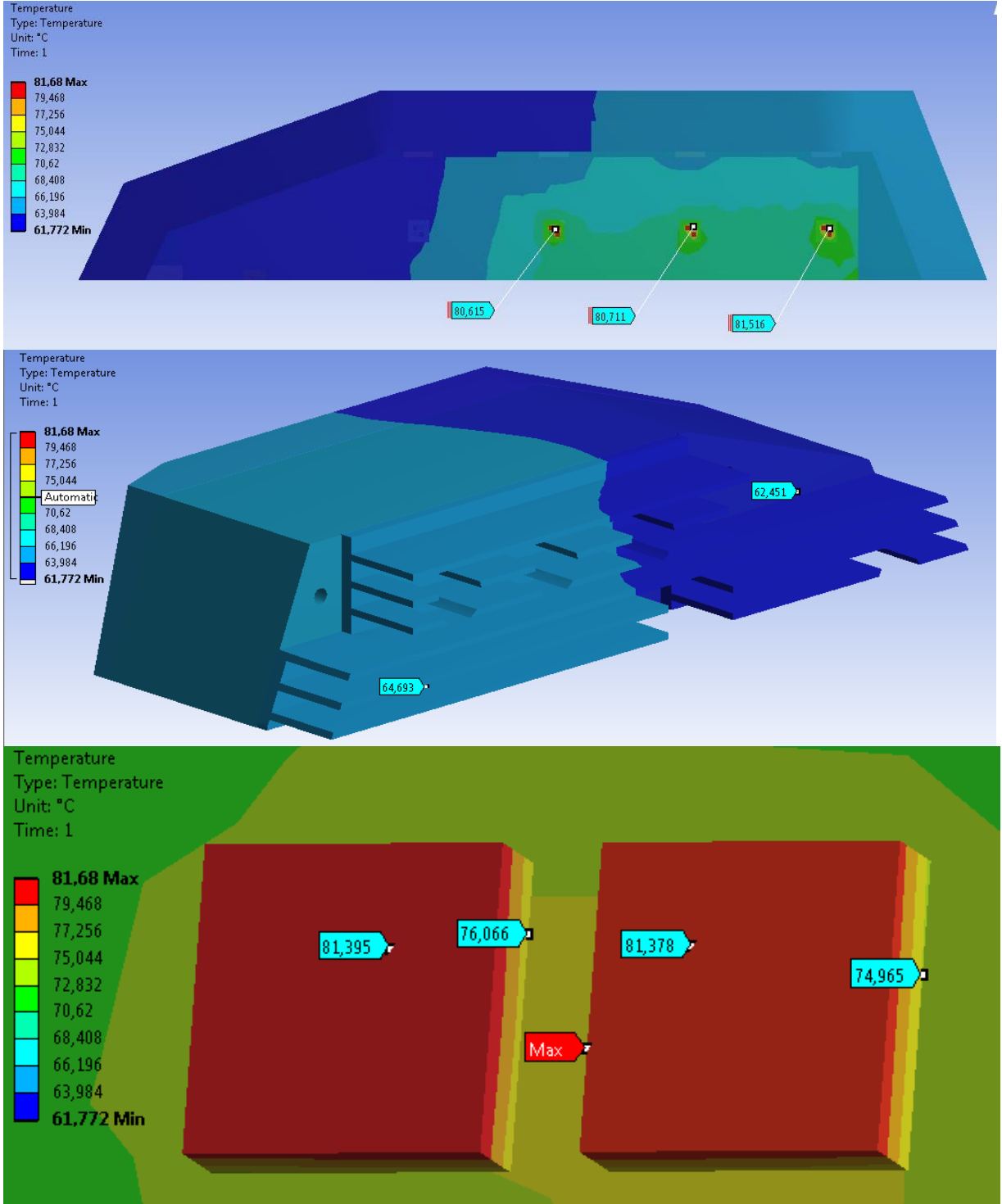
Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin altında kalabilmiştir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-10'da gösterilmiştir.



Şekil 7-10 Model-5 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

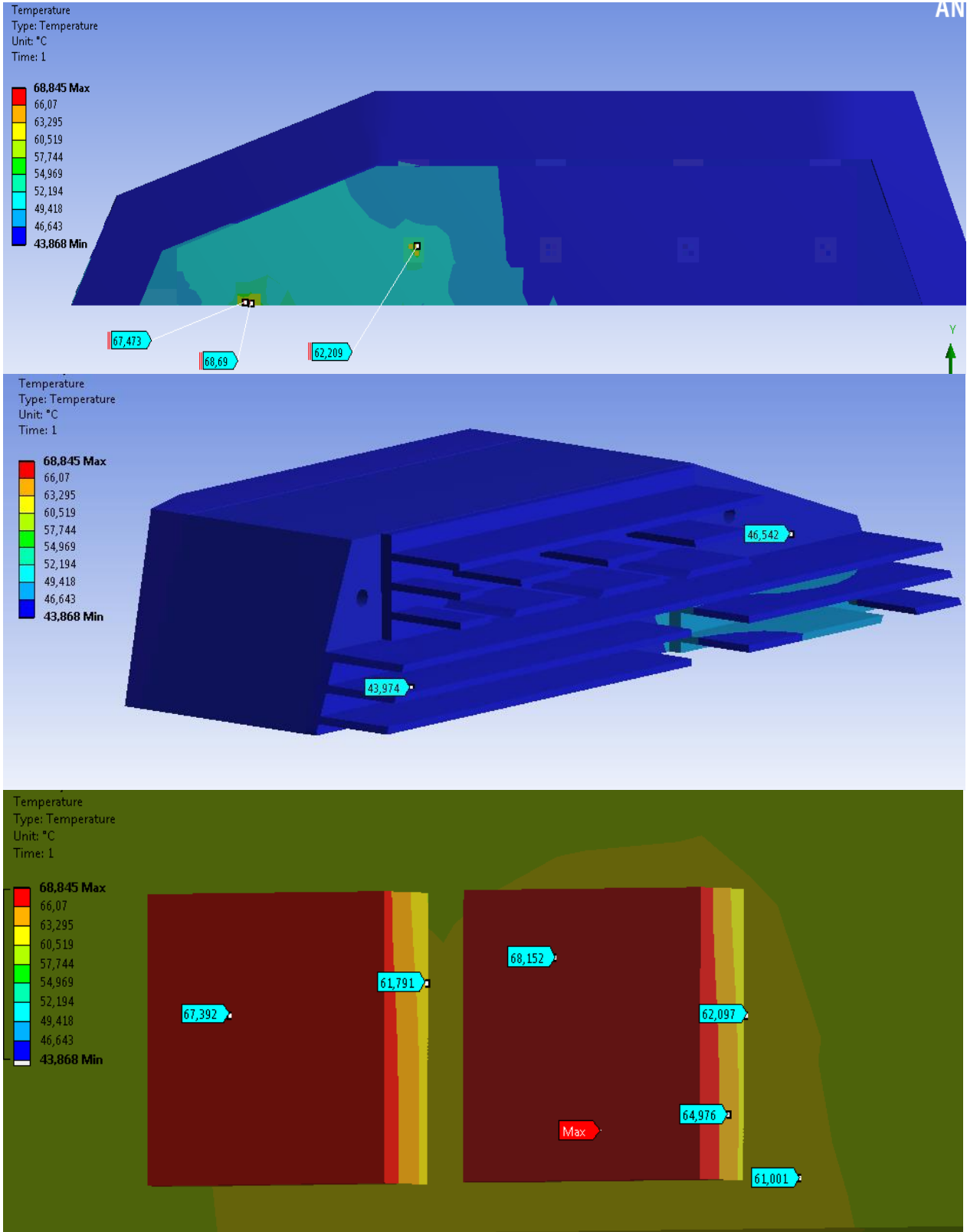
Model-6: Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin altında kalabilmiştir.

Finli yüzeyler sayesinde konveksiyona maruz kalan alan 39367 mm² daha artırılmıştır. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-11'de gösterilmiştir.



Şekil 7-11 Model-6 uzun hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

Model-6: Led jonksiyon sıcaklığı hedef değerin altında kalabilmiştir. Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 7-12’de gösterilmiştir.



Şekil 7-12 Model-6 kısa hüzme aydınlatma koşulu analiz sonucu sıcaklık değerleri

8. YAPISAL ANALİZ

Lineer elastik malzemeler için genel üç boyutlu bir gerilim-gerinim yasası ifade edebilmek için her bir gerilim komponenti ile gerinim komponenti arasında lineer bir ilişki olduğu kabul edilir.

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= C_{11}e_x + C_{12}e_y + C_{13}e_z + 2C_{14}e_{xy} + 2C_{15}e_{yz} + 2C_{16}e_{zx} \\
 \sigma_y &= C_{21}e_x + C_{22}e_y + C_{23}e_z + 2C_{24}e_{xy} + 2C_{25}e_{yz} + 2C_{26}e_{zx} \\
 \sigma_z &= C_{31}e_x + C_{32}e_y + C_{33}e_z + 2C_{34}e_{xy} + 2C_{35}e_{yz} + 2C_{36}e_{zx} \\
 \tau_{xy} &= C_{41}e_x + C_{42}e_y + C_{43}e_z + 2C_{44}e_{xy} + 2C_{45}e_{yz} + 2C_{46}e_{zx} \\
 \tau_{yz} &= C_{51}e_x + C_{52}e_y + C_{53}e_z + 2C_{54}e_{xy} + 2C_{55}e_{yz} + 2C_{56}e_{zx} \\
 \tau_{zx} &= C_{61}e_x + C_{62}e_y + C_{63}e_z + 2C_{64}e_{xy} + 2C_{65}e_{yz} + 2C_{66}e_{zx}
 \end{aligned} \tag{8.1}$$

C_{ij} 'nin malzeme parametresi olduğu bu eşitlikleri matris formatında aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{16} \\ C_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{61} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \\ 2e_{xy} \\ 2e_{yz} \\ 2e_{zx} \end{bmatrix} \tag{8.2}$$

Bu ilişkiler ayrıca standart tensör notasyonu ile ifade edilebilir

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}e_{kl} \tag{8.3}$$

Daha genel bir form ile isotropi koşulunu sağlayacak şekilde aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

$$\sigma_{ij} = \lambda e_{kk} \delta_{ij} + 2\mu e_{ij} \tag{8.4}$$

Ve bireysel olarak aşağıdaki skalar eşitlikler olarak gösterilebilirler,

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= \lambda(e_x + e_y + e_z) + 2\mu e_x \\
\sigma_y &= \lambda(e_x + e_y + e_z) + 2\mu e_y \\
\sigma_z &= \lambda(e_x + e_y + e_z) + 2\mu e_z \\
\tau_{xy} &= 2\mu e_{xy} \\
\tau_{yz} &= 2\mu e_{yz} \\
\tau_{zx} &= 2\mu e_{zx}
\end{aligned} \tag{8.5}$$

Burada,

λ Lamé sabiti

μ kesme modülü yada rijitlik modülüdür.

Eşitlik (8.4) ve (8.5) genelleştirilmiş lineer izotropik malzemeler için Hooke Yasası olarak adlandırılır.

$$E = \mu(3\lambda + 2\mu) / (\lambda + \mu) \quad \text{elastik modülü} \tag{8.6}$$

$$\nu = \lambda / [2(\lambda + \mu)] \quad \text{poisson oranı} \tag{8.7}$$

yerine konduğunda, aşağıdaki altı skalar eşitlik olarak da ifade edilebilirler. [16]

$$\begin{aligned}
e_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\
e_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] \\
e_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \\
e_{xy} &= \frac{1+\nu}{E} \tau_{xy} = \frac{1}{2\mu} \tau_{xy} \\
e_{yz} &= \frac{1+\nu}{E} \tau_{yz} = \frac{1}{2\mu} \tau_{yz} \\
e_{zx} &= \frac{1+\nu}{E} \tau_{zx} = \frac{1}{2\mu} \tau_{zx}
\end{aligned} \tag{8.8}$$

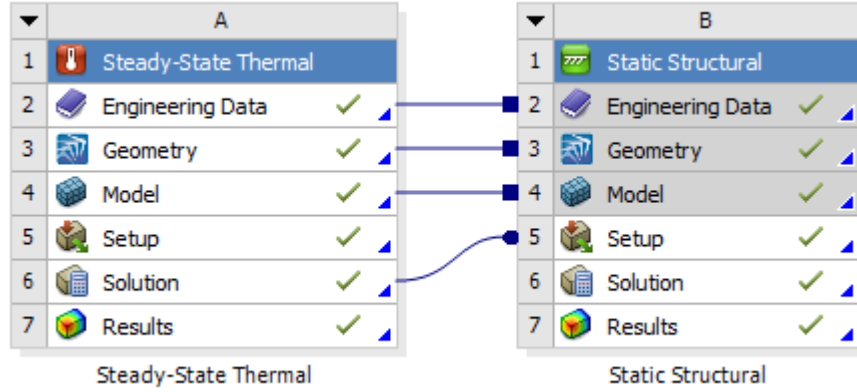
Çok eksenli gerilim için akma kriteri olarak Von Mises teorisinden bahsetmek gerekir.

Von Mises kriteri, sapma geriliminin ikinci katsayısının k^2 ile gösterilen belli bir değeri aşması durumunda akmanın başlayabileceğini ifade eder. Von Mises kriterinin matematiksel ifadesini aşağıdaki bağıntı ile yazabiliriz. [17]

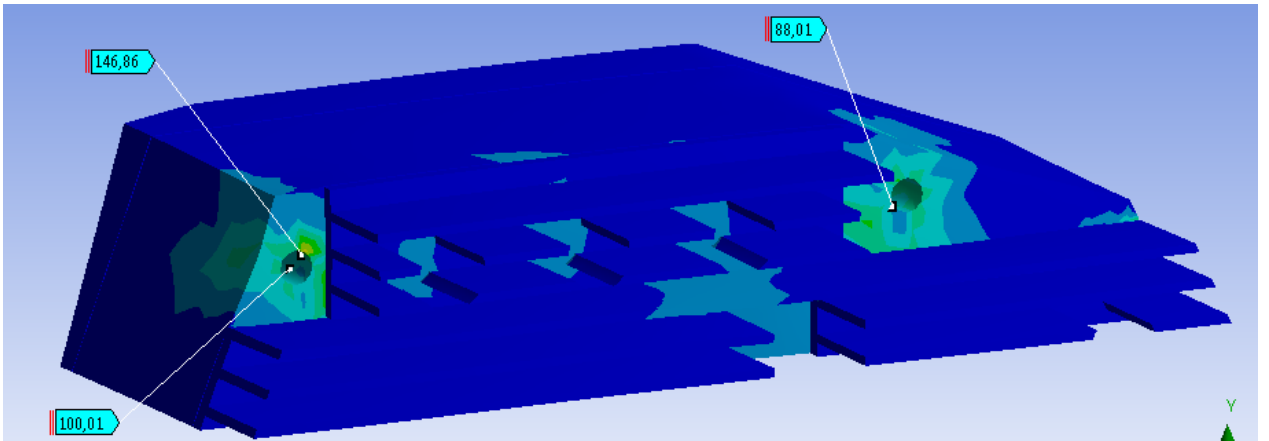
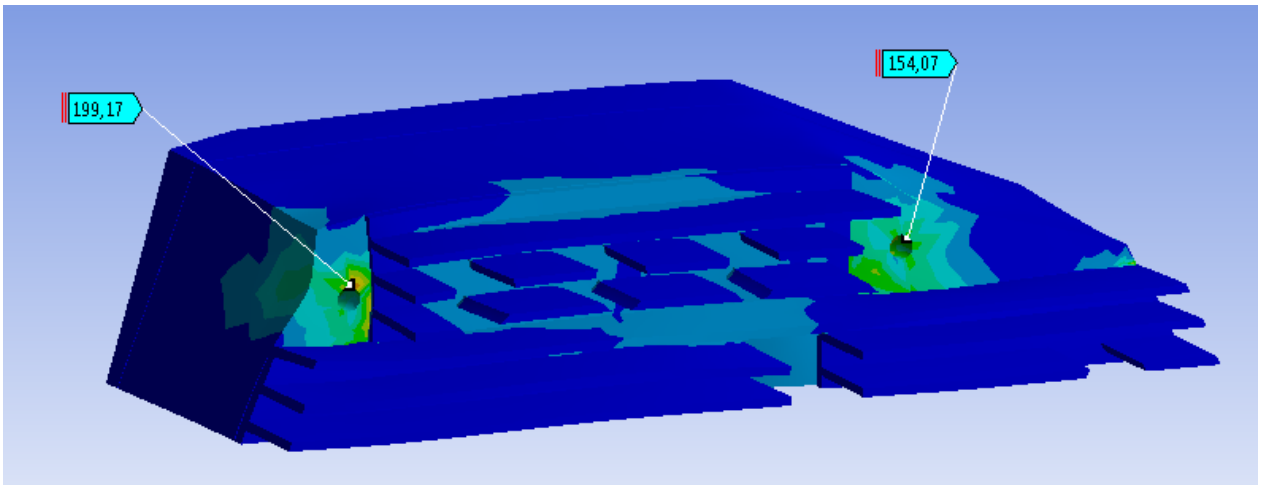
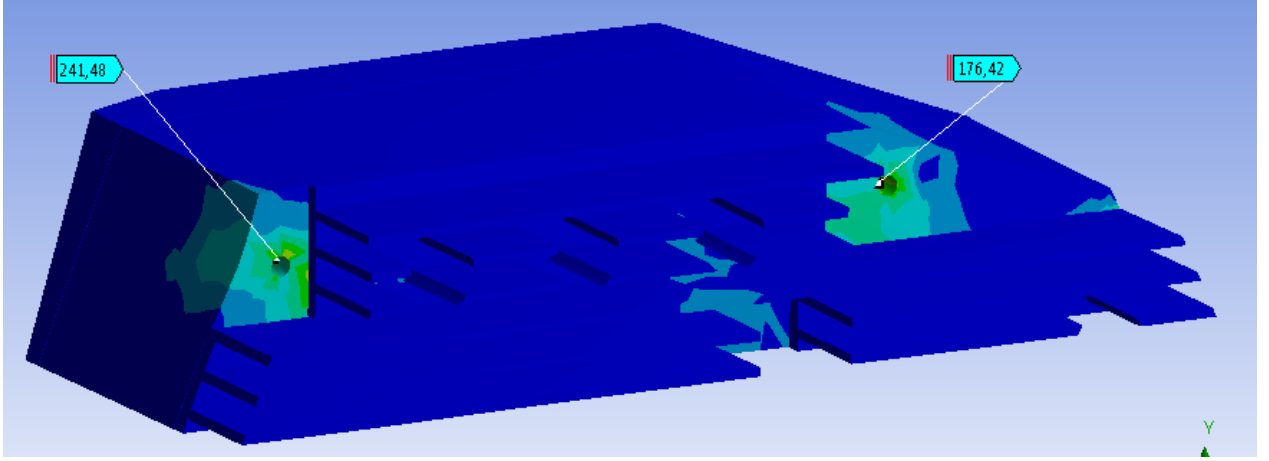
$$f(J_2) = J_2 - k^2 = 0$$

$$J_2 = \frac{1}{6} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]$$

Sistemin bağlantı arayüzü kontrolü *ANSYS Workbench static structural* modülü yardımıyla, termal analiz sonucunda elde edilen sıcaklıkların, yapısal analize aktarılmasıyla yapılmıştır. Azami eşdeğer gerilme değerleri gövde malzemesinin çekme dayanımı göz önüne alınarak noktasal bölgelerde de olsa yüksek olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle civata bağlantı arayüzleri büyütülerek analizler tekrarlanmıştır ve gerilme değerleri asgari seviyeye düşürülmüştür. Şekil 8-1 ANSYS analiz termal ve yapısal analiz modüllerindeki veri transferi durumunu, Şekil 8-2 ise yapısal analizler sonucu elde edilen eşdeğer gerilme değerlerini göstermektedir.



Şekil 8-1 Termal analiz sonuçlarının yapısal analizlere aktarılması



Şekil 8-2 Bağlantı arayüzündeki gerilim değerlerinin kontrolleri

9. MODAL ANALİZ

Modal analiz, titreşim uyarımı altında yapıların dinamik özelliklerinin incelenmesidir.

Modal analiz yada mod-süperpozisyon metodu, deplasman paternlerini karakterize etmek için serbest titreşim mod şekillerini belirleyen bir lineer dinamik tepki prosedürüdür. Mod şekilleri bir yapının doğal olarak yer değiştireceği konfigürasyonları ifade eder. Modal bir analiz bize yapının uygulanan enerjinin tamamını absorbe ettiği frekansı ve bu frekans değerine karşılık gelen mod şeklini belirtir. Bir tasarımcının sistemin doğal frekanslarının, sistemi uyarayan titreşim frekansları ile çakışmadığını görmesi ve böylece emniyet standartlarını temin etmesi açısından kritik önem taşır.

Modal ve titreşim analizlerinde genel hareket denklemleri çözümü yapılarak sonuca ulaşılır.

$$[m]\ddot{x}(t) + [c]\dot{x}(t) + [k]x(t) = f(t)$$

Burada,

m kütle matrisi

c sönüm matrisi

k katılık matrisini

f kuvveti, x ise yer değiştirmeyi belirtir.

Bu denklem, $f(t)$ harici olarak uygulanan bir kuvvetle, kütle m üzerinde etkili olan tüm kuvvetlerin toplamının sıfıra eşit olması gerektiğini belirtir.

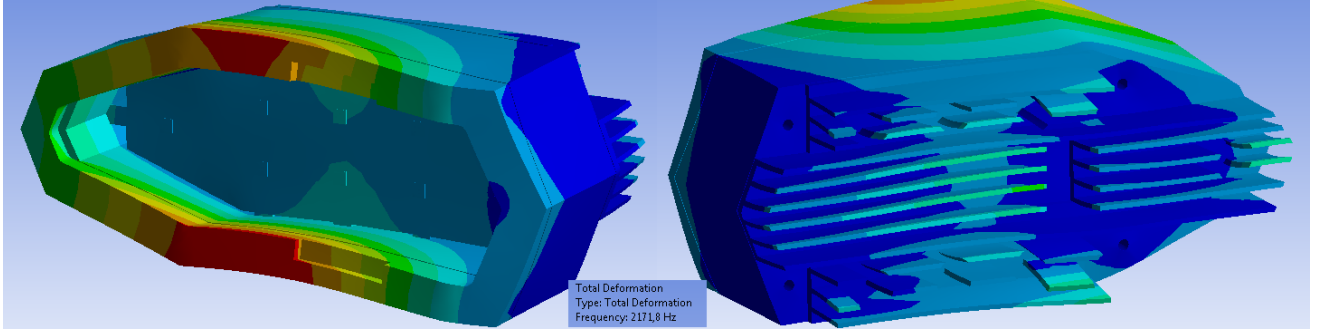
Sönümlü doğal frekans $f_d = \omega_d / 2\pi$

Sönümsüz doğal frekans $f_n = \omega_n / 2\pi$ bağıntıları ile ifade edilir.

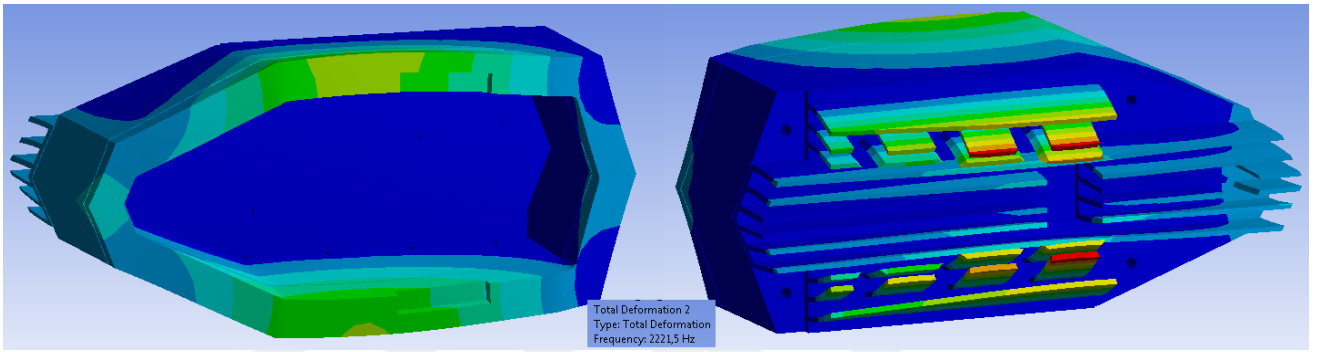
Burada $\omega_n = \sqrt{k/m}$, dir.

ANSYS Workbench Modal modülü ile yapılan analiz sonucu sistemin ilk iki modu incelenmiş ve bulunan frekanslar ile bu frekanslarda oluşan mod şekilleri aşağıda verilmiştir. Buna göre sistemin gereksinim bandı olan 5-500 Hz içerisinde doğal frekansı bulunmamaktadır.

Mod-1: 2171,8 Hz



Mod-2: 2221,5 Hz

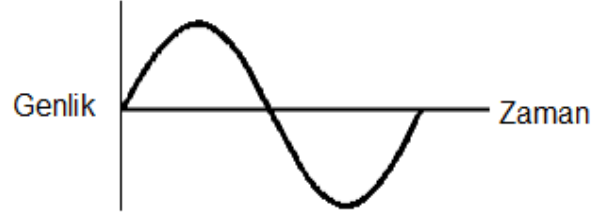


Şekil 9-1 Sistemin ilk iki moduna ait frekans değerleri ve mod şekilleri

10. SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Mekanik titreşimler sistemlerin denge konumu civarlarında yapmış oldukları salınım hareketleridir. Oluşan dış kuvvetlere sistemin cevap verme özelliği ile oluşurlar. Gürültü, malzemelerde yüksek gerilme, aşınma ve yorulmaya sebebiyet verebilirler.

Herhangi bir titreşim, hareketin büyüklüğünün yer değiştirme, hız veya ivme açısından ifade edildiği, hareketin zaman ile ilişkisine göre tanımlanır. Sinüsoidal titreşim en basit harekettir ve doğrudan matematiksel denklemlerle tam olarak tanımlanabilir. Şekil 10.1, sinüzoidal bir titreşimin genlik zaman grafiğini gösterir ve sinüzoidal titreşimin döngüsel ve tekrarlayıcı olduğunu gösterir. Başka bir deyişle, frekans ve genlik (veya zaman ve genlik) tanımlanmışsa, hareket zamanın herhangi bir noktasında tahmin edilebilir.



Şekil 10-1 Sinüsoidal hareketin genlik-zaman grafiği

Rasgele bir titreşim, mutlak değeri zamanın herhangi bir noktasında tahmin edilemez olan titreşimdir. Sinüsoidal titreşimin tersine, iyi tanımlanmış bir periyodiklik yoktur, zamanın herhangi bir noktasında genlik, zaman içinde başka herhangi bir noktada birbiri ile ilişkili değildir. Şekil 10.2 Rastgele titreşimin genlik zaman geçmişi göstermektedir, anlaşılacağı gibi periyodikliğin eksiliği belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 10-2 Rastgele titreşimin genlik-zaman grafiği

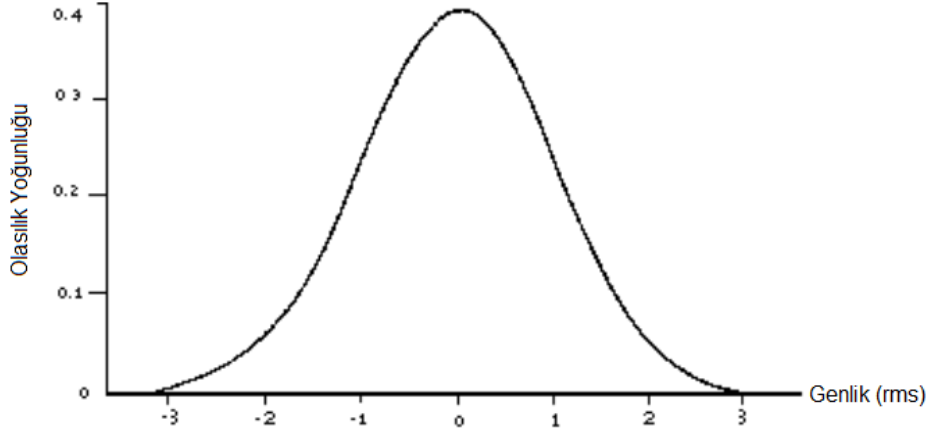
Rasgele bir titreşimin anlık genliği matematiksel olarak tam bir zaman fonksiyonu olarak ifade edilemese de, belirli bir genliğin meydana gelme olasılığını istatistiksel bir temelde belirlemek mümkündür.

Sabit bir süreci karakterize etmek için, muhtemel zaman geçmişlerinin bir araya getirilmesi gerekir, burada genlik, uyarım frekans aralığı üzerinden ölçülür. Bu aşamada, ilgili üç parametre şunlardır: frekans, zaman ve genlik. Bu bilgi, istatistiksel anlamda rastgele bir süreci analiz etme yeteneği sağlayacaktır. Rasgele titreşimin karakterizasyonu tipik olarak, filtrenin bant genişliği ile bölünen, bir filtre tarafından geçirilen bazı büyüklüklerin ortalama kare değerini gösteren Güç Spektral Yoğunluğu (PSD) veya İvme Spektral Yoğunluğunun (ASD) bir frekans spektrumu ile sonuçlanır. Böylece, Güç Spektral Yoğunluğu, güç dağılımının frekans aralığı üzerinden dağılımını tanımlar.

Rastgele titreşimde, belirli bir değeri aşan bir yanıt olasılığını tahmin etmek istatistiki olarak istenebilir.

En yaygın kullanılan olasılık dağılımı Normal (Gaussian) dağılımıdır. Normal dağılım için olasılık yoğunluğu fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir,

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{X_{rms}}\right)^2}$$



Şekil 10-3 Normal dağılım için olasılık yoğunluğu fonksiyonu

Şekil 10-3'te anlık değerin rms değerine oranının meydana gelme olasılığı gösterilmektedir. Denklemdaki X ve X_{rms} değerleri hız, ivme, yer değiştirme ve bunların türevleri olabilir.

Olasılıklar sıfır ile bir arasında pozitif sayılardır ve bir yüzde olarak ifade edilebilir. Örneğin, X / X_{rms}'in büyüklüğünün +1 ile -1 arasında olması olasılığı, Şekil 10-3'te gösterilen eğrinin altındaki alana eşittir. Bu alan 0,68'dir. Bu, gerçek genliğin % 68 olasılık olduğu anlamına gelir. X / X_{rms} değeri +1 ve -1 arasında olmalıdır. Bu genellikle "tek sigma" olasılığı olarak adlandırılır. Karşılık gelen iki sigma ve üç sigma olasılığı sırasıyla 0,95 ve 0,997'dir. [20]

Toplam hasar durumu, rastgele çalışma durumundaki yapının hasar modlarından biridir; bu, mikro hasarların toplamı durumudur. Sistemin yorgunluk hasarı toplam bir hasar değerine eriştiğinde gerçekleşir.

Rastgele olmayan titreşim ve sabit gerilme genliği için, yorulma hasarı, belirlenecek malzemenin S-N eğrisine göre hesaplanır. Rastgele titreşim için, her bir çevrim toplam hasara neden olur. Rastgele titreşim ortamında, yorgunluk hesaplaması nispeten karmaşıktır, çünkü yapının tepkisi rastgele bir miktardır. Mühendislikte Steinberg tarafından önerilen üç aralıklı yöntem yaygın olarak

kullanılmaktadır. Toplam hasar teorisi σ_i yük altındaki n_i adet döngünün meydana getirdiği hasar aşağıdaki şekilde ifade edilir. [21]

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i}$$

Basitleştirilmiş hesaplama için, Steinberg'in Gauss dağılımına dayanılarak ileri sürdüğü yöntemi, üç aralıklı yorulma hasarı için hesaplama yönteminde, 3 sigmadan fazla gerilmenin sadece% 0.27'sinde meydana geldiği ve herhangi bir hasara neden olamayacağı kabul edilir. [22]. Bu nedenle, yorulma hesanında Miner's yasasını kullanılarak, gerilme üç seviyede ele alınır ve genel hasar hesaplama formülü şu şekilde yazabilir,

$$D = \frac{n_{1s}}{N_{1s}} + \frac{n_{2s}}{N_{2s}} + \frac{n_{3s}}{N_{3s}}$$

n_{1s} Gerilme genliğinin 1 sigma seviyesine eşit veya daha az olduğu döngü sayısı
($0,683Tv_0^+$)

n_{2s} Gerilme genliğinin 2 sigma seviyesine eşit veya daha az olduğu döngü sayısı
($0,271Tv_0^+$)

n_{3s} Gerilme genliğinin 3 sigma seviyesine eşit veya daha az olduğu döngü sayısı
($0,0433Tv_0^+$)

v_0^+ istatistiki ortalama frekans

N_{1s}, N_{2s}, N_{3s} ise 1,2 ve 3 sigma gerilme seviyeleri için karşılık gelen döngülerdir.

[23]

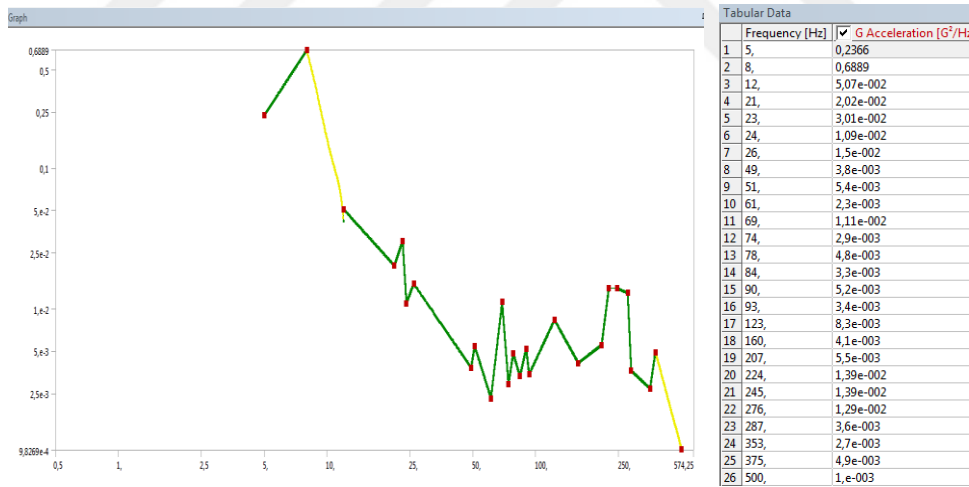
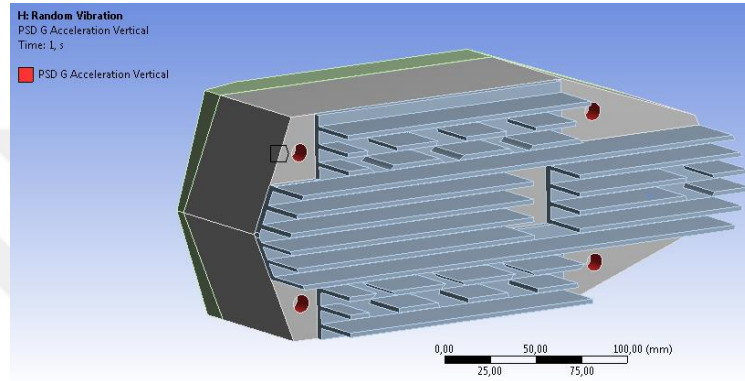
Yapının yorulma ömrü ise aşağıdaki ifade ile elde edilir,

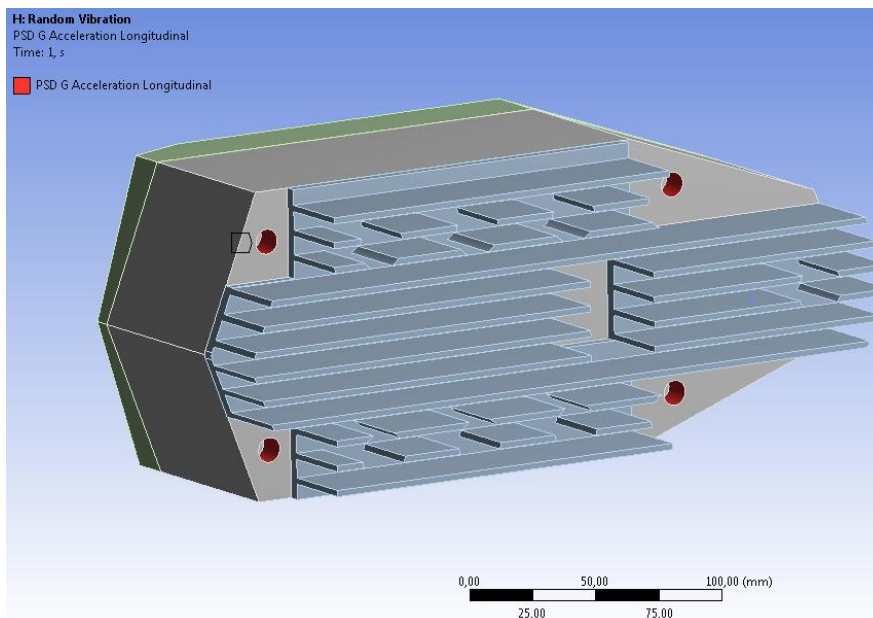
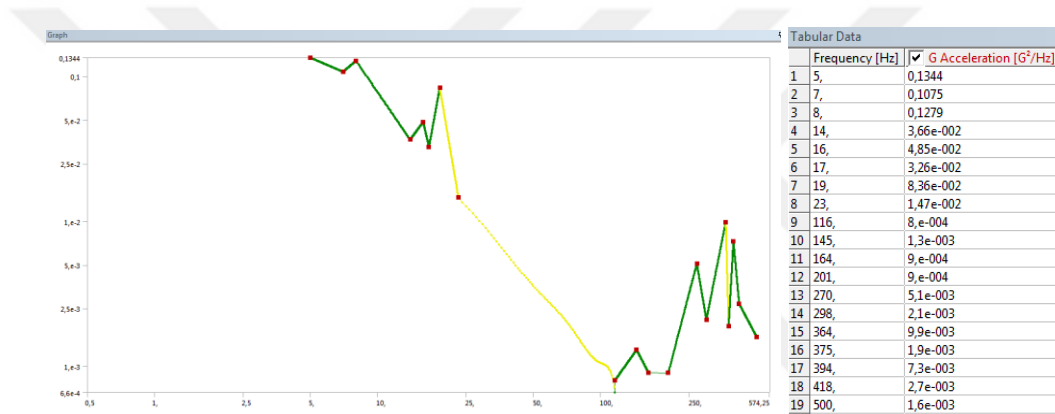
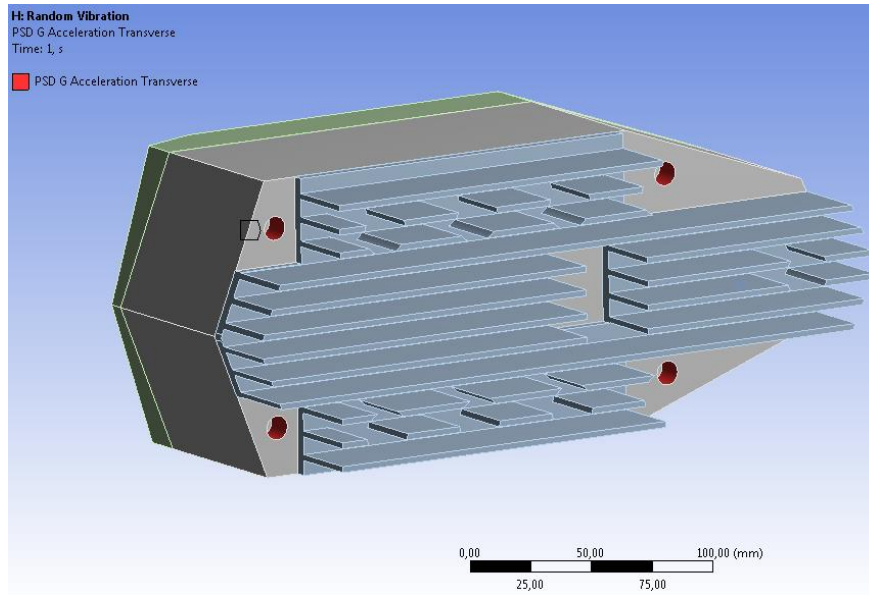
$$T = 1 / \left(\frac{0,683v_0^+}{N_{1s}} + \frac{0,271v_0^+}{N_{2s}} + \frac{0,0433v_0^+}{N_{3s}} \right) \quad [21]$$

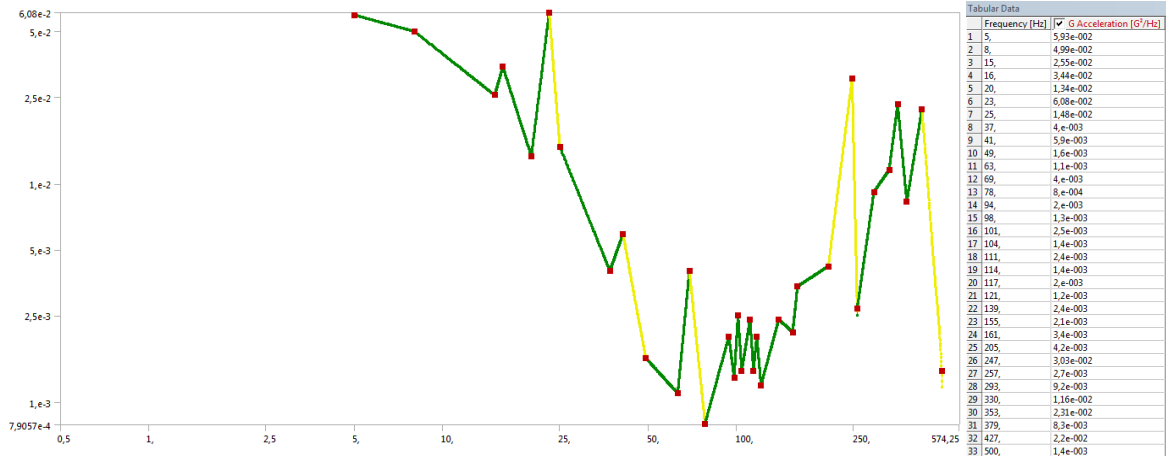
Ön far sistemi rastgele titreşim maruziyeti ANSYS workbench Random Vibration modülü kullanılarak incelenmiştir. Frekansa bağlı, güç spektral yoğunluğu(PSD G Acceleration) AECTP-400-3 Standardı gereği Çizelge 5.2'de verilen değerlerde Şekil 10.4'te görüleceği gibi, sistemin araç ile bağlantı arayüzü üzerinden

sabitlenerek her üç eksen için ayrı ayrı uygulanmıştır. Sistem üzerine belirli noktalarda yerleştirilen cevap araçları ile (responce PSD tools) alınan cevaplar okunmuş, eşdeğer gerilme seviyeleri 1 sigma, 2 sigma ve 3 sigma seviyesi için incelenmiş ve yorulma ömrü değeri elde edilmiştir. Sistem, frekans etki spektrumu 500 Hz'e kadar her üç eksen için 40 dakika olacak şekilde uyarılmıştır, bu durum sistemin 805km mesafe katetme koşulunu simgelemektedir.

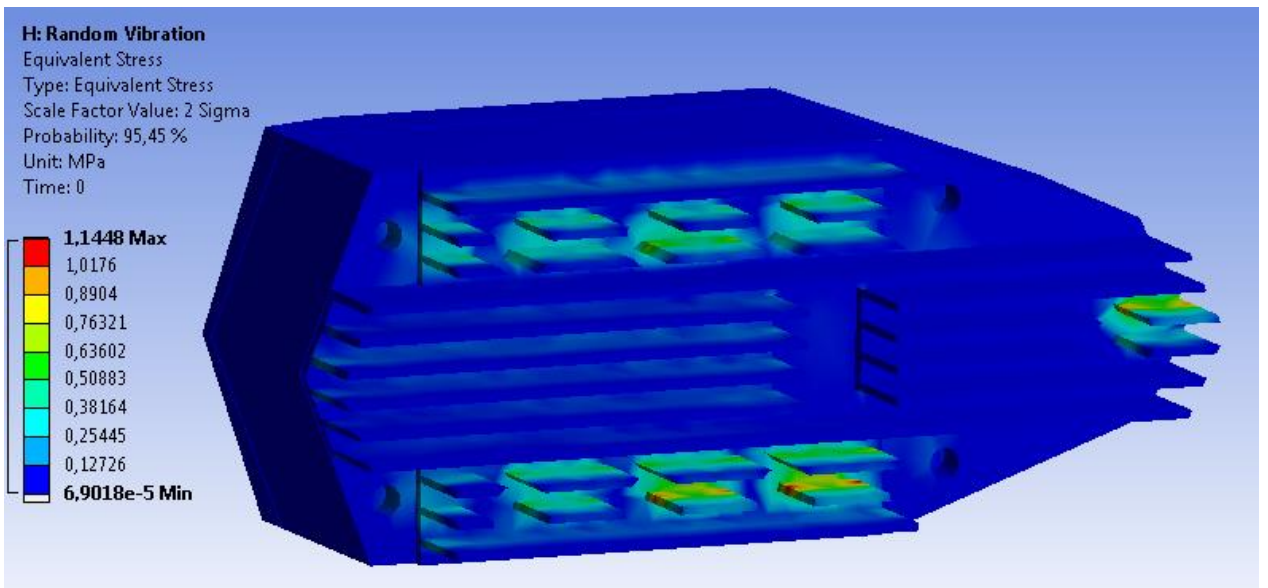
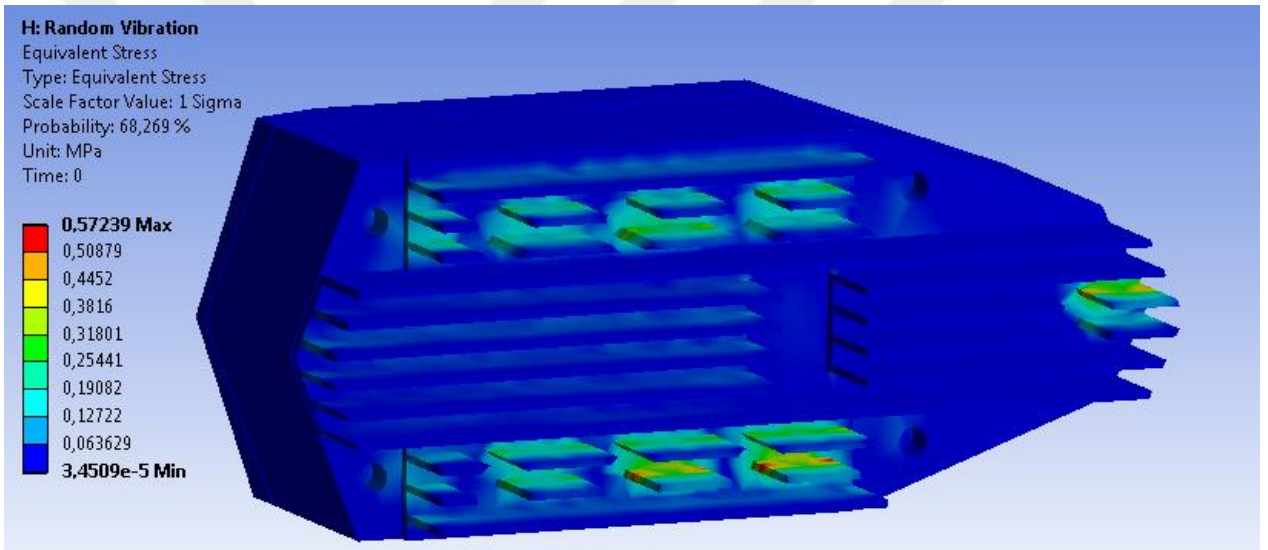
Şekil 10.5'te sistemin 5-500 Hz frekans bandında uyarılması sonucu incelenen gerilim değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

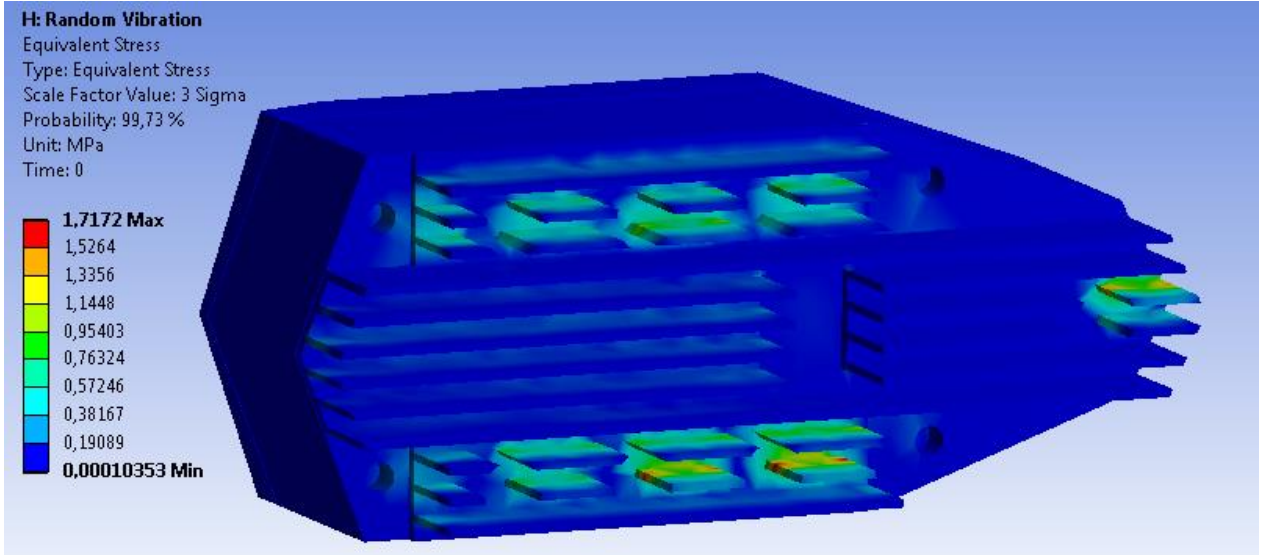






Şekil 10-4 Her üç eksen için frekansa bağlı güç spektral yoğunluğunun sisteme uygulanması

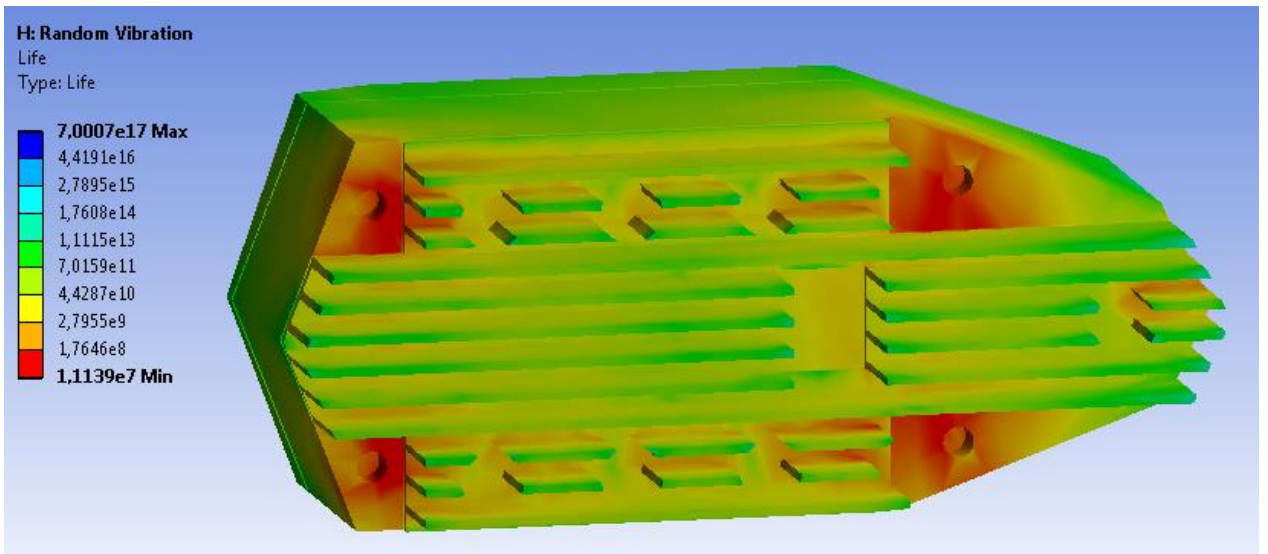


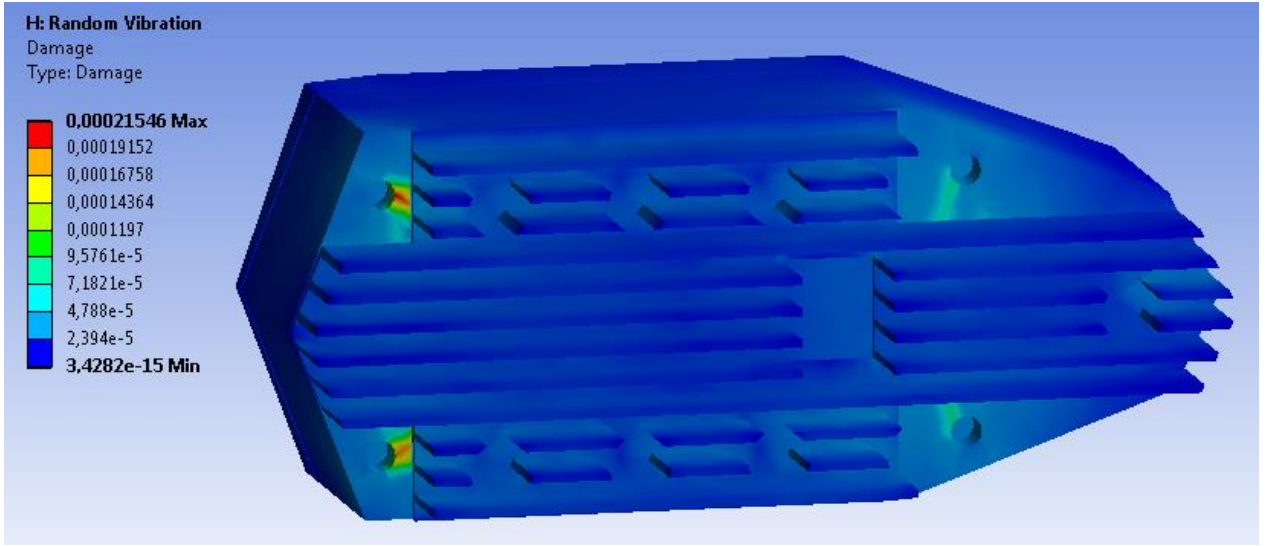
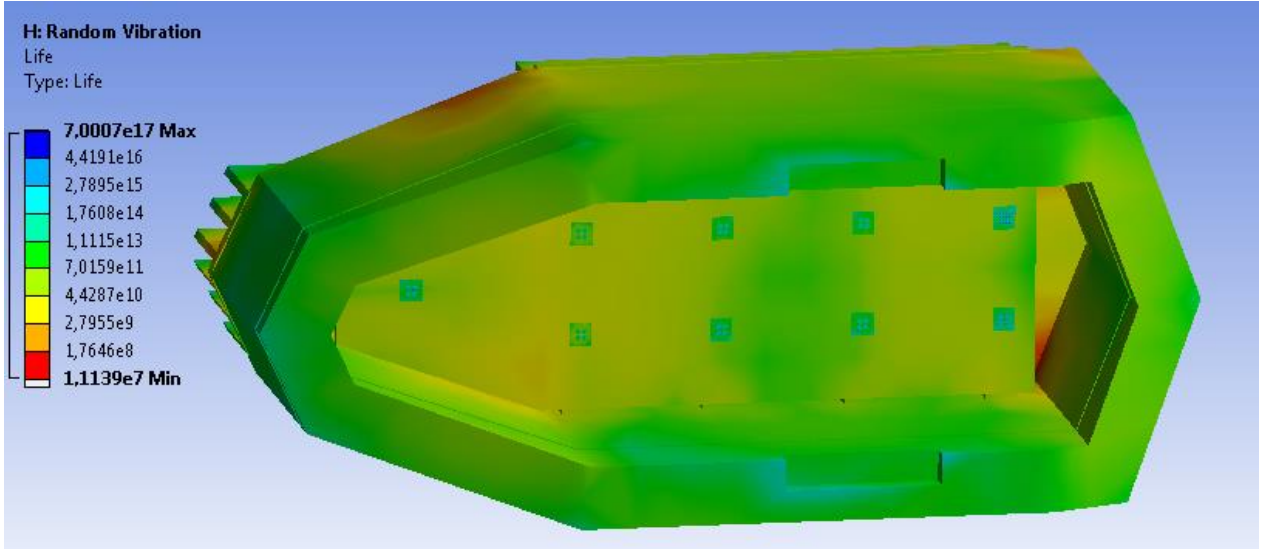


Şekil 10-5. 1,2 ve 3 Sigma Gerilim Değerleri

Şekil 10.6'da sistemin 5-500 Hz frekans bandında AECTP-400-3 Standardı gereği Çizelge 5.2'de verilen değerlerde 40 dk uyarılması sonucu Steinberg metodu kullanılarak elde edilen hasar ve yorulma ömrü değerleri elde edilmiştir. Bu koşullara maruz kalan sistemin sonsuz ömürlü olduğu kabul edilebilir.

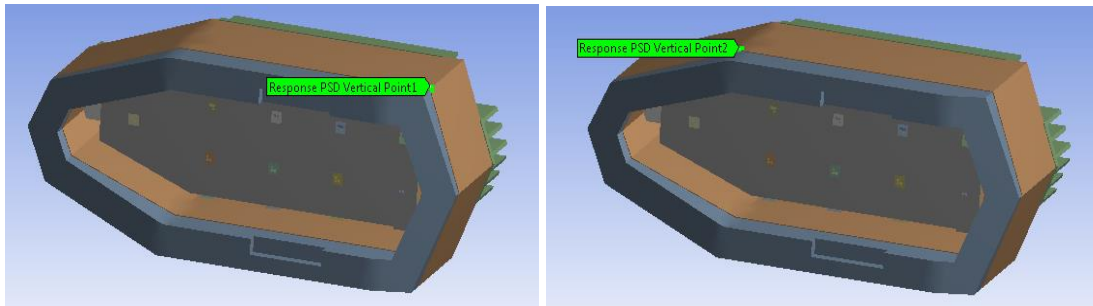
Domain	
Domain Type	Frequency
Options	
Method Selection	Steinberg
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
Coordinate System	Solution Coordinate System
Definition	
Exposure Duration	2400, s

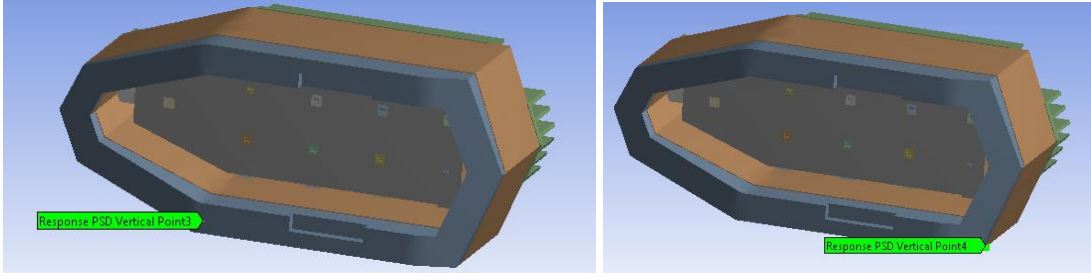




Şekil 10-6. Steinber Metodu ile elde edilen ömür hasar ve ömür değerleri

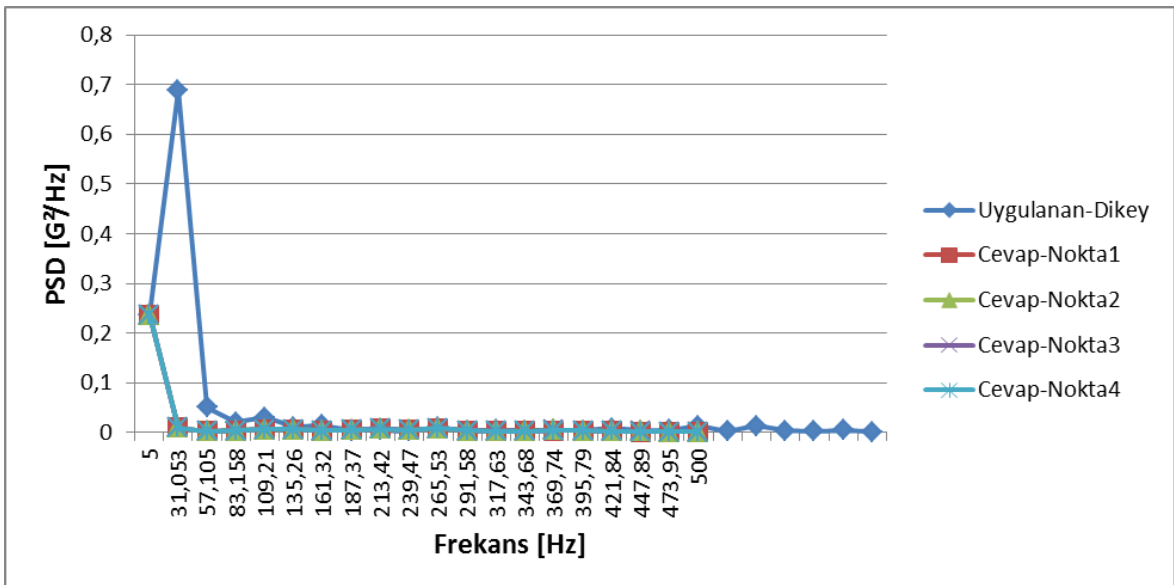
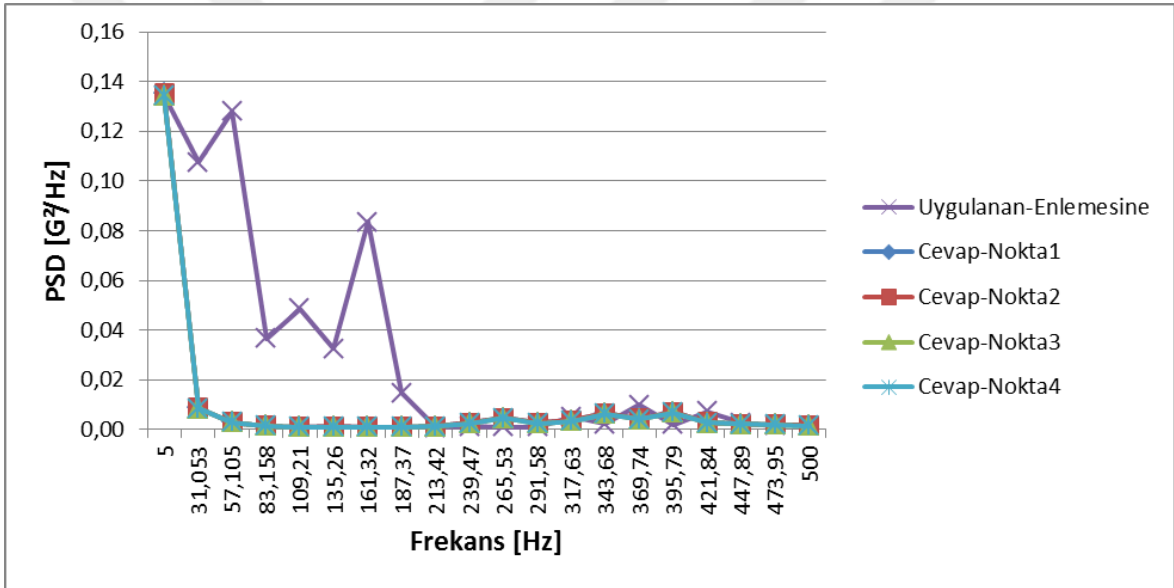
Şekil 10.7'de rastgele titreşim ile uyarılma sonucu sistem üzerinden okunan ivme cevap değerleri noktalarının konumlarını göstermektedir.

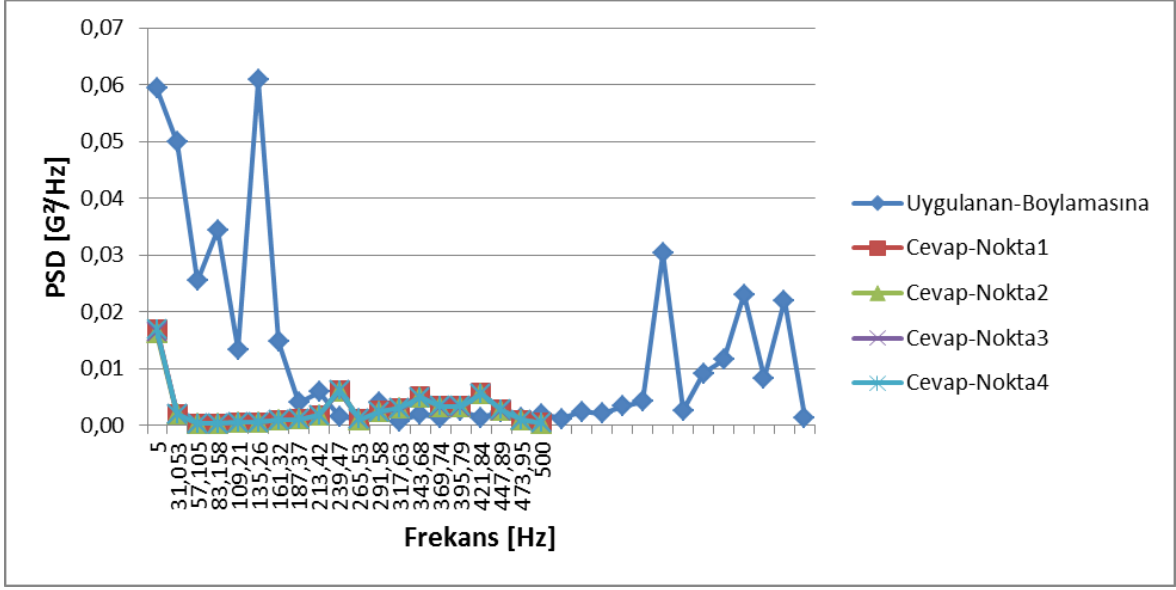




Şekil 10-7. Sistem cevabı okunan noktaların gösterimi

Çizelge 10.1’de sistem uygulanan ivme spektral yoğunluğunun sistem üzerinden alınan ivme cevap değerleri ile kıyaslanması ile sistemin geçirgenliği gözlemlenerek, herhangi bir ek sönüm faktörü ihtiyacı duyulmadan araç ile bağlantı arayüzünün uygunluğu simüle edilmiştir.

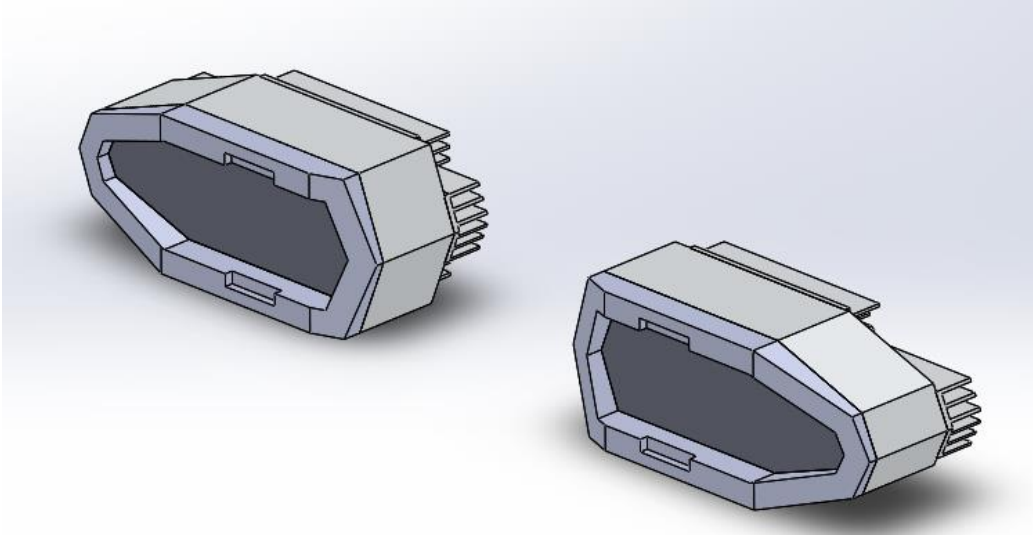
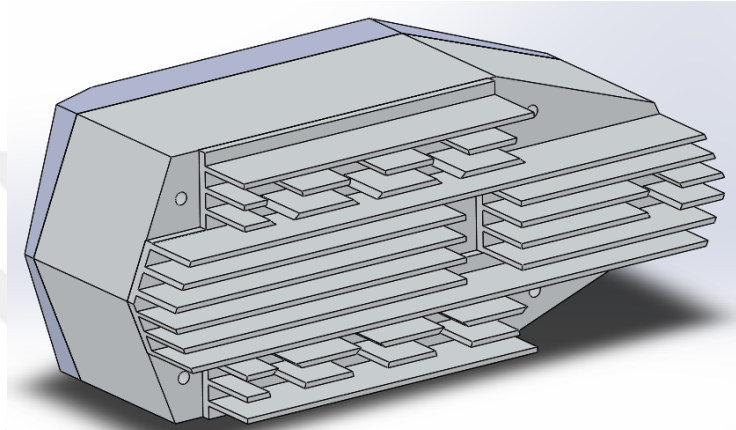
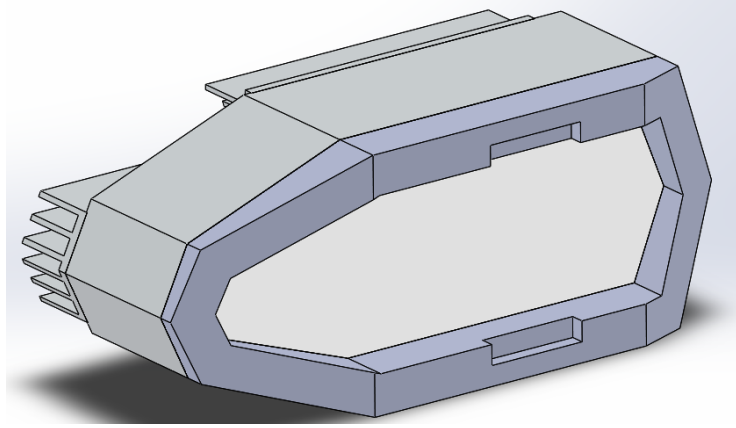




Çizelge 10-1 Sırayla er üç eksen için rastgele titreşim analizi sistem cevabı

11. NİHAİ TASARIM

Termal analiz çıktılarına göre led jonksiyon sıcaklığını hedef değerin altında tutabilen gövde tasarımı olan Model-6 uygun bulunmuş ve termal tasarım nihai halini almıştır. Bu aşamada prototip imalatı yaptırılarak, testlere geçilmiştir. Sistem tasarımı sağ ve sol farlar birbiri ile eş kompleler olacak şekilde yapılmış, araç üzerine simetrik olarak takıldığında bir araç için ön far takımı işlevi görecektir. Şekil 7-13 nihai modelin CAD ortamında oluşturulmuş halini, Şekil 7-14 ise talaşlı imalat yöntemi ile üretilmiş nihai modele ait prototipin elektronik ve optik komponentleri ile entegre edilerek çalışır hale getirilmiş görüntüsünü içermektedir. Tüm gövde parçaları AL6061-T6 hammaddeden talaşlı imalat yöntemi ile üretilmiş ve siyah anodize kaplama prosesine tabi tutulmuştur. Nihai tasarıma ait gövde kompleksi teknik resmi Ek-1'de verilmiştir.



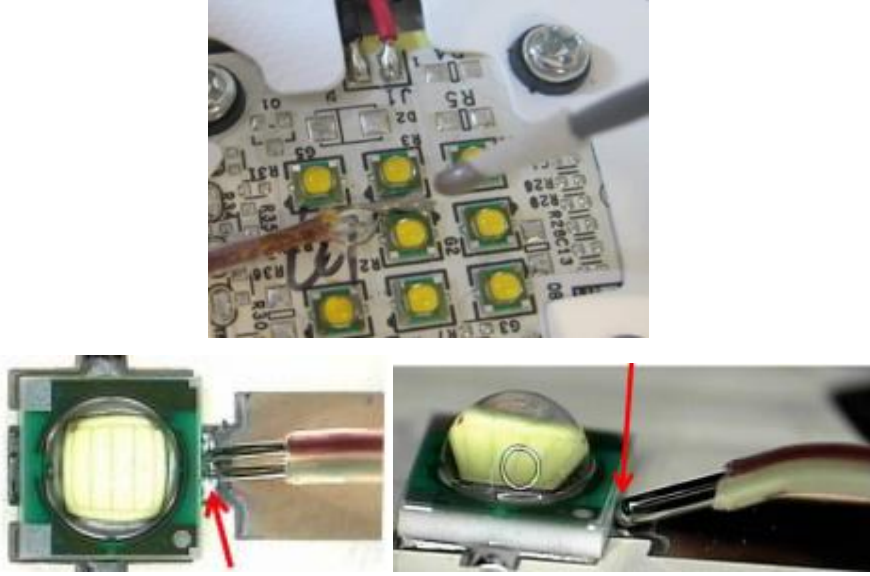
Şekil 11-1 CAD ortamında modelleme



Şekil 11-2 Çalışır haldeki sistem prototipi

12. TESTLER ve KIYASLAMALAR

Yapılan analizlerin doğrulanması amacı ile prototip imalatı yaptırılan sistem birinci test yöntemi olarak led üreticisinin önerdiği sıcaklık ölçüm noktalarından termokulp ile sıcaklık ölçümleri alınarak jonksiyon sıcaklığı hesaplanmıştır. Sistem önce kısa hüzmeye aydınlatma koşulu olan üç ledin sürülme durumunda çalıştırılmış, kararlı sıcaklığa ulaşıncaya kadar beklenmiş ve ölçümler alınmış, sonrasında azami sıcaklık üreteceği mod olan uzun hüzmeye modunda altı led sürülüp çalıştırılarak kararlı sıcaklığa ulaşıncaya kadar beklenmiş ve led üretici firmanın önerdiği Şekil 11-1'de belirtilen ölçüm noktalarından K tipi termokupllar ile ölçümler alınarak jonksiyon sıcaklıkları hesaplanmış ve analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır. Ölçümler sırasında okunan sıcaklık değerinin 5dk boyunca 1 °C değişmeyecek şekilde stabil hale gelmesi beklenmiştir. Termokupl tellerinin ölçüm noktasına elektriksel olarak iletken bir epoksi reçine ile sabitlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 12-1 Önerilen sıcaklık ölçüm noktaları [18]

Ölçüm noktalarından elde edilen sıcaklık değerleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak jonksiyon sıcaklığı değerine çevirilebilecektir.

$$T_j = T_{\text{ön}} + \theta_{tr} \times P_{\text{toplaml}} \text{ yada } T_j = T_{\text{ön}} + \theta_{tr} \times I_f \times V_f$$

T_j jonksiyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\text{ön}}$ ölçüm (birleşim) noktası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

θ_{tr} komponentin termal direnci ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

P_{toplaml} toplam verilen enerji (W) ($I_f \times V_f$) 'yi ifade eder. [18]

Uzun hüzme yanma koşulunda her 3 led üzerinden alınan ölçüm sonuçlarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş olup Şekil 11-2'de verilen analiz sonuçlarıyla minör sapmalar ile birlikte tutarlı olduğu gözükmemektedir.

$$T_{jUH-N1} = 77.3 + 3(^{\circ}\text{C}/\text{W}) \times 3.3\text{V} \times 0.7\text{A}$$

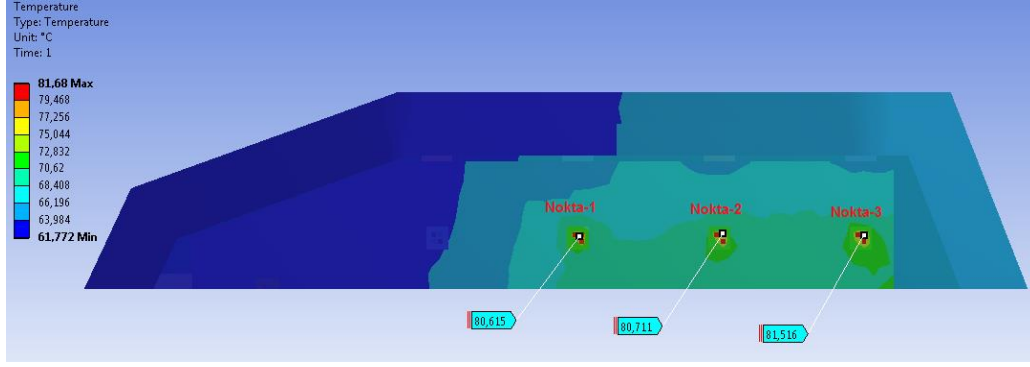
$$T_{jUH-N1} = 84.23^{\circ}\text{C}$$

$$T_{jUH-N2} = 78.1 + 3(^{\circ}\text{C}/\text{W}) \times 3.3\text{V} \times 0.7\text{A}$$

$$T_{jUH-N2} = 85.03^{\circ}\text{C}$$

$$T_{jUH-N3} = 78.3 + 3(^{\circ}\text{C}/\text{W}) \times 3.3\text{V} \times 0.7\text{A}$$

$$T_{jUH-N3} = 85.23^{\circ}\text{C}$$



Şekil 12-2 Model6 Uzun hüzme analiz sonuçları

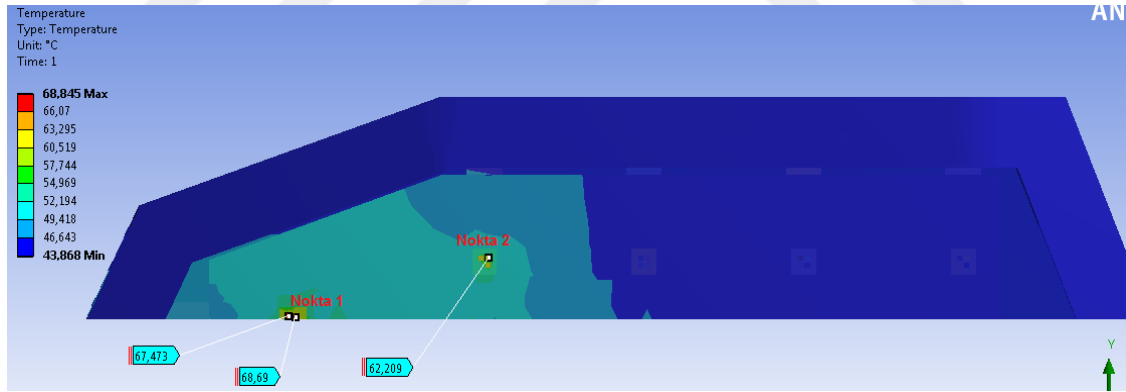
Kısa hüzme yanma koşulunda her 2 led üzerinden alınan ölçüm sonuçlarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş olup Şekil 11-3'te verilen analiz sonuçlarıyla minör sapmalar ile birlikte tutarlı olduğu gözükmemektedir.

$$T_{jKH-N1} = 63.1 + 3(^{\circ}C / W) \times 3.3V \times 0.7A$$

$$T_{jKH-N1} = 70.03^{\circ}C$$

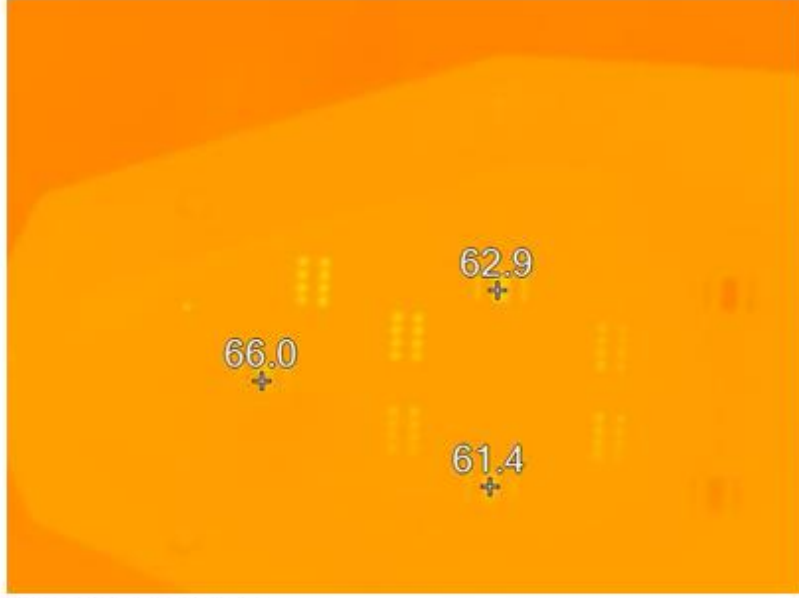
$$T_{jKH-N2} = 57.2 + 3(^{\circ}C / W) \times 3.3V \times 0.7A$$

$$T_{jKH-N2} = 64.13^{\circ}C$$



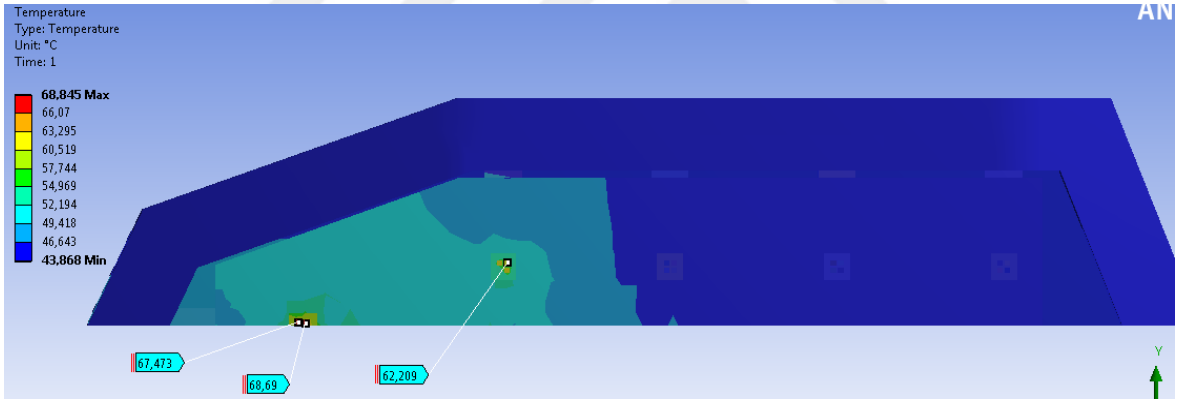
Şekil 12-3 Model6 Kısa hüzme analiz sonuçları

İkincil bir test yöntemi olarak kızılötesi termal kamera ile ölçümler alınıp analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sistem, sırası ile kısa ve uzun hüzme modunda çalıştırılarak kararlı sıcaklığa ulaşana kadar beklenmiştir. Her iki modda çalışma koşulu için kızılötesi termal kamera ile alınan Şekil 11-4, 11-5 ve 11-6 ile verilen ölçümler Model-6 analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır. Ölçüm sonuçlarının analiz sonuçlarıyla minör sapmalar ile uyduğu görülmüştür.

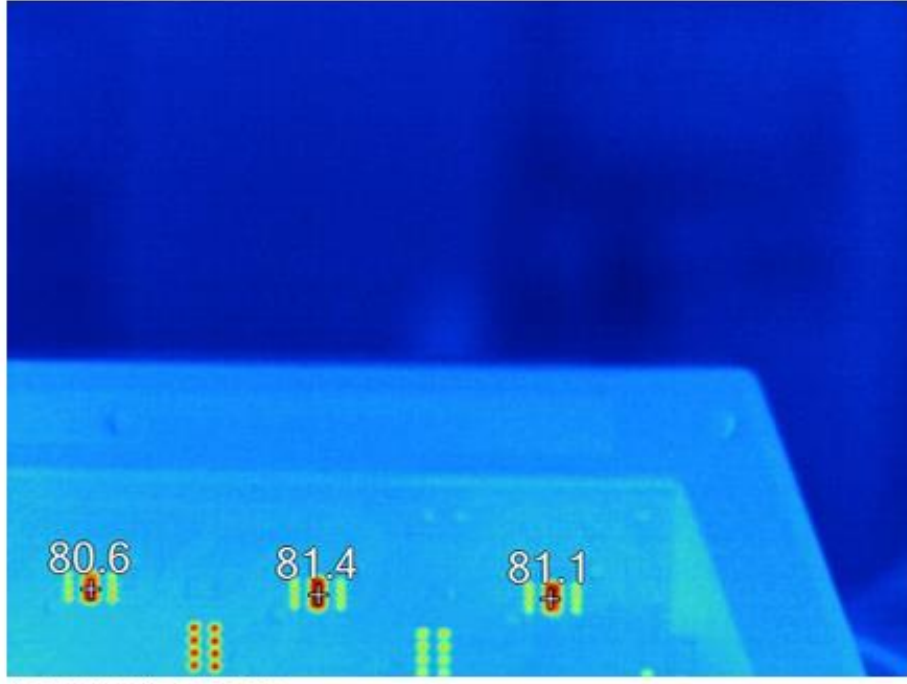


IR000276.IS2

Şekil 12-4 Kısa hüzme modu çalışma koşulu için termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri

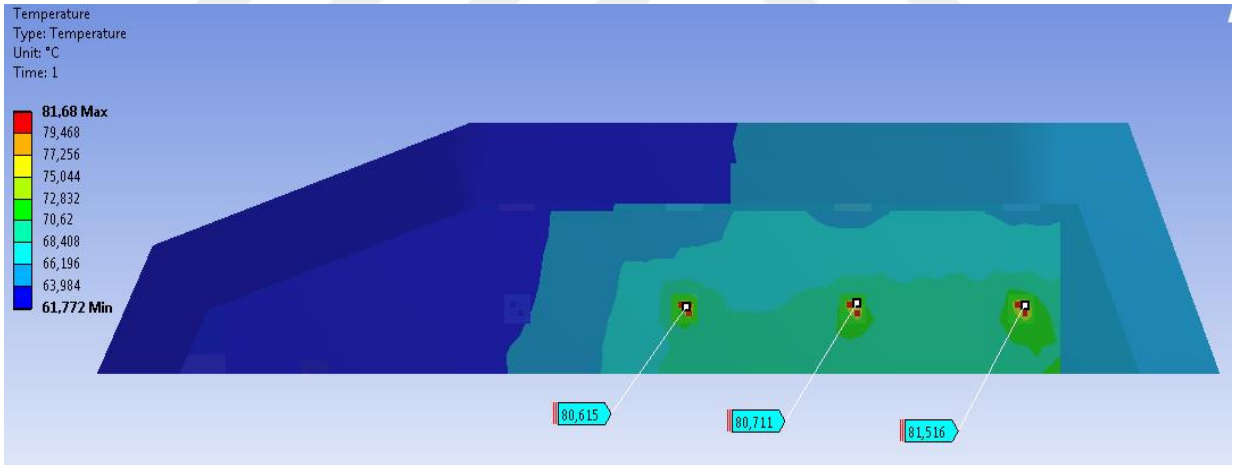


Şekil 12-5 Kısa hüzme modu analiz sonuçları

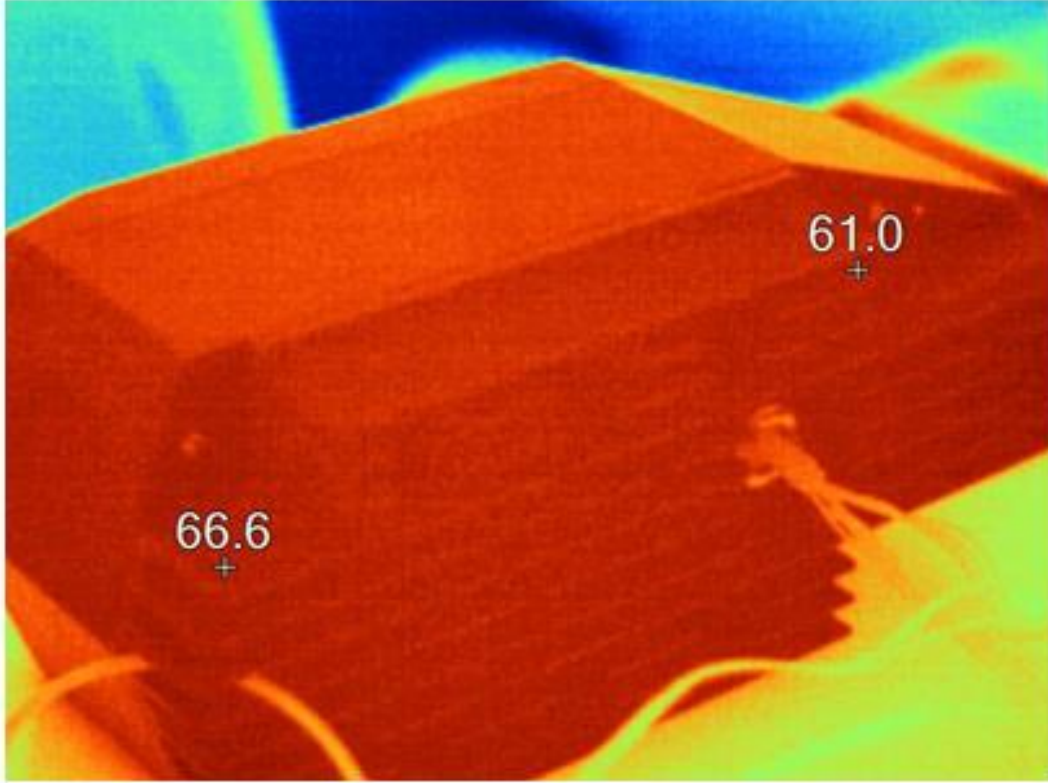


IR000279.IS2

Şekil 12-6 Uzun hüzme modu çalışma koşulu için termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri

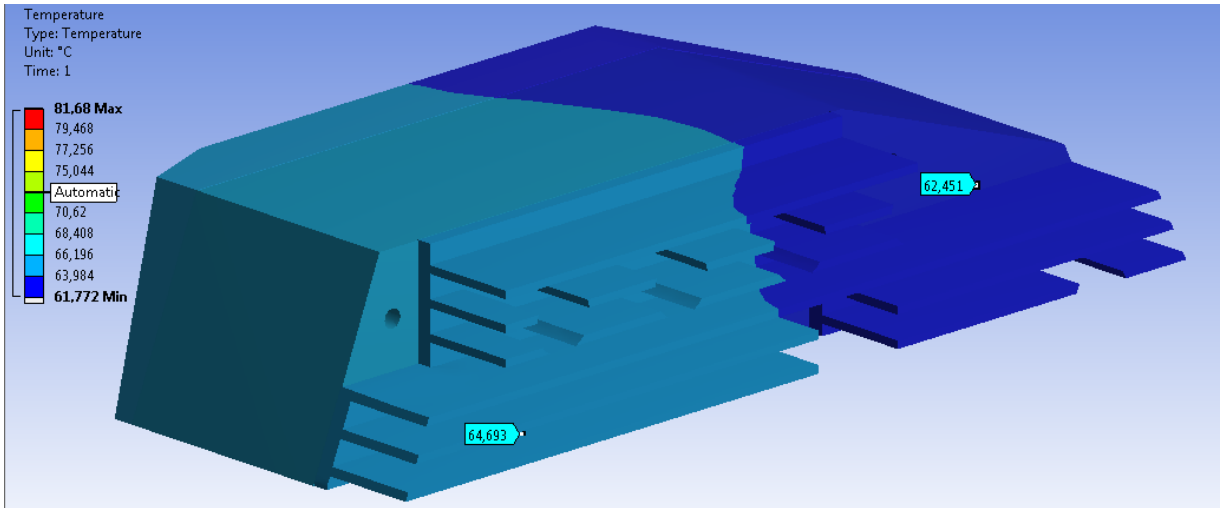


Şekil 12-7 Uzun hüzme modu analiz sonuçları



IR000277.IS2

Şekil 12-8 Uzun hüzme modu çalışma koşulu için termal kamera ile ölçülen gövde sıcaklık değerleri



Şekil 12-9 Uzun hüzme modu analiz sonuçları

İki farklı yöntem ile yapılan test sonuçlarının analiz sonuçları ile kıyaslamasını içeren yüzde hata değerleri Çizelge 12-1'de verilmiştir.

	Uzun Hüzme			Kısa Hüzme	
	Nokta1	Nokta2	Nokta3	Nokta1	Nokta2
Analiz Sonucu Sıcaklık (°C)	80,62	80,71	81,52	68,69	62,21
Analiz Sonucu Sıcaklık (K)	353,77	353,86	354,67	341,84	335,36
1. Test Yöntemi Sıcaklık (°C)	80,60	81,40	81,10	66,00	62,90
1. Test Yöntemi Sıcaklık (K)	353,75	354,55	354,25	339,15	336,05
% Hata	0,004	0,195	0,117	0,787	0,206
2. Test Yöntemi Sıcaklık (°C)	84,23	85,03	85,23	70,03	64,13
2. Test Yöntemi Sıcaklık (K)	357,38	358,18	358,38	343,18	337,28
% Hata	1,022	1,221	1,047	0,392	0,573

Çizelge 12-1 Analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin test sonuçları ile kıyaslanması

13. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında askeri tip kara araçları için güvenlik unsuru haline gelen ön far sistemi tasarımı regülasyonlarca belirlenmiş olan aydınlatma desenine uygun opto-mekanik bir sistem kompleksi olarak gerçekleştirilmiştir. Gövde tasarımı estetiğin yanı sıra, termal analizler yardımı ile led jonksiyon sıcaklığını optimum seviyede tutacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem kompleksinin entegre olacağı araç ile bağlantı arayüzü yapısal analizler ile kontrol edilerek gerilim değerleri malzeme dayanım sınırlarını aşmayacak şekilde revize edilmiştir. Sistemin maruz kalacağı yüksek titreşim profilinin etkilerini incelemek için modal ve rastgele titreşim analizleri yapılmış, sistemin maruz kalacağı titreşim frekans bandında bir doğal frekansının bulunmadığı görülmüş ayrıca, sistem uygulanan ivme spektral yoğunluğunun sistem üzerinden alınan ivme cevap değerleri ile kıyaslanması ile sistemin geçirgenliği gözlemlenerek, herhangi bir ek sönüm faktörü ihtiyacı duyulmadan araç ile bağlantı arayüzünün uygunluğu simüle edilmiştir. Sistemin 5-500 Hz frekans bandında AECTP-400-3 Standardı gereği Çizelge 5.2'de verilen değerlerde 40 dk uyarılması sonucu Steinberg metodu kullanılarak elde edilen hasar ve yorulma ömrü değerleri elde edilmiştir. Bu süre sistemin 805km mesafe katetme koşulunu simule etmektedir.

Yapılan analizler sonucunda istelere uygun hale getirilen tasarım için prototip imal ettirilip, testler gerçekleştirilerek analiz sonuçları ile kıyaslama yapıp doğrulanmıştır. Test sonuçlarının kullanılan ekipmanların hassasiyeti ve gürültü gibi çevresel faktörlerden kaynaklı olduğu düşünülen minör sapmalar ile analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Ledli askeri far sistemine yönelik yapılacak gelecek çalışmalar için sistem kompleksinin daha kompakt ve hafif bir tasarım ile optimize edilmesi önerilmektedir.



14. KAYNAKLAR

- [1] LED Academy by OMS Lighting Ltd. **Haziran 2018**
- [2] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şube Bülteni Yıl:17 Sayı:181, Led Katı Halile Aydınlatma, Ömer Can **Haziran 2005**
- [3] LED Academy by OMS Lighting Ltd., Led Thermal, **Haziran 2018**
- [4] <https://www.superbrightleds.com/> ,**Haziran 2018**
- [5] FMVSS 571.108 Federal Motor Vehicle Safety Standards: Lamps, Reflective devices, and Associated Equipments
- [6] <http://www.wiki-zero.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvSGVhZGxhbXA>, **Haziran 2018**
- [7] AECPT-400-3 Mechanical Environmental Tests, January 2006
- [8] Thermal Management of Cree Xlamps LEDS Application Note CLD-AP05 Rev 3H
- [9] Matweb Material Propertie Data, Ceramic, Nitride, Semiconductor, Gallium Nitride, GaN
- [10] Accuratur Ceramic Corporation, Aluminum Nitride Material Properties
- [11] Matweb Material Propetie Data, Metal; Nonferrous Metal; Copper Alloy; Wrought Copper
- [12] Matweb Material Propetie Data, Metal; Nonferrous Metal; Aluminum Alloy; 6000 Series Aluminum Alloy
- [13] Matweb Material Propetie Data, Metal; Nonferrous Metal; Aluminum Alloy; 5000 Series Aluminum Alloy
- [14] Panasonic PGS Graphite Sheets Datasheet 09 Oct 2016
- [15] Thermagon Inc. T-lam System Datasheet Nov 1st 2004
- [16] Elasticity,Theory,Applications and Numerics Martin H. Sadd. Academic Press
- [17] <https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/cok-eksenli-gerilim-icin-akma-kriterleri-von-mises-kriteri/>, **Haziran 2018**
- [18] Solder Point Temperature Measurement of Cree Xlamp Leds CLD-AP157 REV 1C
- [19] ANSYS Workbench A Tutorial Approach Sham Tickoo

- [20] Random Vibration An Overview, Barry Controls, Hopkinton, MA
- [21] Structural Fatigue Life Prediction Based on ANSYS Random Vibration Analysis, song Tao, Bin Chen, Xing-Jun Fan, College of Basic Education, National University of Defence Technology, Changsha, 4th Annual International Conference on Material Science and Engineering (ICMSE 2016)
- [22] Dave S. Steinberg, Vibration Analysis for Electronic Equipment, Wiley, 2000. 213-214.
- [23] Research of the Predict Method of Random Vibration Cumulative Fatigue Damage Life Based on the Finite Element Analysis, Wang Chengcheng, Li Chuanri, Xu Fei, and Guo Ying, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering Vol:6, No:12, 2012

16. ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Bilge YANIK BEKAR
Doğum Yeri : Mamak
Medeni Hali : Evli
E-posta : bilge7891@gmail.com
Adresi : İçerenköy Mah. Muhtaroğlu Sok. Yasemin Sitesi No:4/A D:5
Ataşehir/İSTANBUL

Eğitim

Lise : Etimesgut Anadolu Lisesi
Lisans : Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği (İngilizce)
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Makine Mühendisliği
Doktora :

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : Çok İyi

İş Deneyimi

Kale Araştırma Geliştirme A.Ş. - Mekanik Tasarım Mühendisi (Ocak 2018 - halen)

Neta Elektronik Ltd. - Mekanik Tasarım Mühendisi (3 yıl)

MyLaser Ltd. - Mekanik Tasarım Mühendisi (3 yıl)

Deneyim Alanları

Mekanik Tasarım, Sistem Tasarımı, Otomotiv, Havacılık

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 08/06/2018

Tez Başlığı : ASKERİ ARAÇ ÖN FAR SİSTEMİ OPTO-MEKANİK TASARIM VE ANALİZİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 59 sayfalık kısmına ilişkin, 08/06/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

08/06/2018 İmza

Adı Soyadı: Bilge Yanık Bekar
Öğrenci No: N10122439
Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Programı: Tezli Yüksek Lisans
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Ü. Emir Kutluay