

**EMNİYET KEMERİ YÜKSEKLİK AYAR VE
OMUZ AYAR MEKANİZMALARINA SAHİP
TİCARİ ARAÇ SÜRÜCÜ KOLTUKLARININ TASARIMI
VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Yunus DOĞAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EMNİYET KEMERİ YÜKSEKLİK AYAR VE OMUZ AYAR
MEKANİZMALARINA SAHİP TİCARİ ARAÇ SÜRÜCÜ KOLTUKLARININ
TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Yunus DOĞAN
0000-0002-3187-7556

Prof. Dr. Fatih KARPAT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EMNİYET KEMERİ YÜKSEKLİK AYAR VE OMUZ AYAR
MEKANİZMALARINA SAHİP TİCARİ ARAÇ SÜRÜCÜ KOLTUKLARININ
TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Yunus DOĞAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih KARPAT

Otomotiv endüstrisinin son kullanıcısı olan şoförler ve yolcular için önemli bir komponent olan koltuklardaki özellikler önemli ve tercih sebebidir. Bu bağlamda gün geçtikçe koltuklar için yeni opsiyonlar düşünülmesi, tasarlanması ve üretilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır.

Bu çalışmada otobüs ve kamyon için; emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı olan sürücü koltukları tasarlanmış ve ECE-R14'e göre Sonlu Elemanlar Metoduna ile analizleri yapılmıştır.

Dayanıklılık ve maliyet göz önüne alınarak ikinci arkalık iskelet yapısına sahip sürücü koltuğu seçilerek ağırlık azaltma çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, araç koltuğu, sürücü, emniyet kemeri yükseklik ayarı, omuz ayarı, tasarım, analiz, ECE-R14

2021, viii + 48 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN AND FINITE ELEMENT METHOD ANALYSIS OF COMMERCIAL
VEHICLE DRIVER SEATS WITH SAFETY BELT HEIGHT ADJUSTMENT AND
SHOULDER ADJUSTMENT MECHANISM

Yunus DOĞAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fatih KARPAT

The features in the seats, which are an important component for the drivers and passengers, who are the end users of the automotive industry, are important and preferred. In this context, studies on thinking, designing and producing new options for seats are gaining momentum day by day.

In this study, for bus and truck; driver seats with seat belt height adjustment and shoulder adjustment were designed and analyzed using the Finite Element Method according to ECE-R14.

Considering the durability and cost, the driver seat with the second backrest frame structure was selected and a weight reduction study was carried out.

Key words: Automotive, vehicle seat, driver, seat belt height adjustment, shoulder tilt adjustment, design, analysis, ECE-R14

2021, viii + 48 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana destek ve yardımlarını esirgemeyen, her daim yol gösteren hocam Prof. Dr. Fatih Karpat'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam için sağladığı imkanlar ve verdiği destekten dolayı Grammer Koltuk Sistemleri A.Ş.'ye tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Tasarım faaliyetlerinde yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Grammer Koltuk Sistemleri A.Ş. bünyesinde birlikte çalışmaktan memnuniyet duyduğum Altan Polat'a, Kemal Dalgıç'a, Murat Özkan'a, Sabri Güler'e teşekkür ederim.

Analizler konusunda yardım, destek ve katkılarını esirgemeyen Gökhan Şendeniz'e teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman olduğu gibi bu zorlu ve yoğun süreçte de yanımda olan ve manevi desteklerini sınırsızca veren sevgili eşime ve aileme teşekkür ederim.

Yunus DOĞAN
25/08/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM	5
3.1. Materyal	5
3.2. Yöntem	8
3.2.1. M sınıfı araçlar	10
3.2.2. N sınıfı araçlar	10
3.2.3. Koltuk doğrulama testleri	11
4. BULGULAR	16
4.1. Konsept-1'e ait analiz sonuçları	16
4.1.1. %100 Analiz sonuçları	17
4.1.2. %100 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	20
4.1.3. %120 Analiz sonuçları	20
4.1.4. %120 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	23
4.2. Konsept-2'ye ait analiz sonuçları	23
4.2.1. %100 Analiz sonuçları	24
4.2.2. %100 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	27
4.2.3. %120 Analiz sonuçları	28
4.2.4. %120 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	31
4.3. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	32
4.4. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait maliyet analizi	32
4.5. Konsept-2'ye ait ağırlık azaltma çalışmasına ait analiz sonuçları	33
4.5.1. 1'nci çalışma	33
4.5.2. 1'nci çalışma değerlendirilmesi	35
4.5.3. 2'nci çalışma	36
4.5.4. 2'nci çalışma değerlendirilmesi	38
4.5.5. 3'ncü çalışma	38
4.5.6. 3'ncü çalışma değerlendirilmesi	42
4.5.7. 4'ncü çalışma	42
4.5.8. 4'ncü çalışma değerlendirilmesi	45
4.6. Konsept-2'ye ait ağırlık azaltma çalışmalarının karşılaştırılması	45
5. SONUÇ	46
KAYNAKLAR	47

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler **Açıklama**

mm	Milimetre
m	Metre
N	Newton
kN	Kilonewton
g	Gram
kg	Kilogram
Pa	Pascal
kPa	Kilopascal
GPa	Gigapascal
°	Derece
sn	Saniye
dk	Dakika
sa	Saat

Kısaltmalar **Açıklama**

FEM	Finite Element Model (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
-----	--

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı özelliklerine sahip bir koltuk. “Grammer AG”, t.y.	7
Şekil 3.2. Üst ve alt çekme tertibatı belirtilmiş emniyet kemeri çekme testi.....	12
Şekil 3.3. Kuvvet uygulayan pistonların açısı.....	13
Şekil 3.4. Çarpışma testi örneği	14
Şekil 3.5. Arkalık itme testi örneği	14
Şekil 3.6. Arkalık açma ve kapama testi örneği.....	15
Şekil 4.1. Konsept-1’e ait mesh’lenmiş model görüntüsü	17
Şekil 4.2. Konsept-1’e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü .	18
Şekil 4.3. Konsept-1’e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü	18
Şekil 4.4. Konsept-1’in %100 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) A) İzometrik görünüş B) Sağ görünüş C) Sol görünüş D) Arka görünüş E) Oturak taşıyıcı ön detay görünüş F) Oturak taşıyıcı arka detay görünüş G) Arkalık iskeleti izometrik görünüş H) Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş I) Omuz ayar mekanizması detay görünüş	19
Şekil 4.5. Konsept-1’in %100 analizine ait % strain dağılımları A) İzometrik görünüş B) Emniyet kemer sacı ön detay görünüş C) Emniyet kemer sacı arka detay görünüş D) Arkalık iskeleti oturak taşıyıcı bağlantısı detay görünüş	19
Şekil 4.6. Konsept-1’e ait mesh’lenmiş model görüntüsü	21
Şekil 4.7. Konsept-1’e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü .	21
Şekil 4.8. Konsept-1’e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü	22
Şekil 4.9. Konsept-1’in %120 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) A) İzometrik görünüş B) Sol görünüş C) Sağ görünüş D) Arka görünüş E) Oturak taşıyıcı ön detay görünüş F) Oturak taşıyıcı arka detay görünüş G) Arkalık iskeleti izometrik görünüş H) Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş I) Omuz ayar mekanizması detay görünüş	22
Şekil 4.10. Konsept-1’in %120 analizine ait % strain dağılımları A) Emniyet kemer sacı ön detay görünüş B) Emniyet kemer sacı arka detay görünüş C) Arkalık iskeleti oturak taşıyıcı bağlantısı ön detay görünüş D) Arkalık iskeleti oturak taşıyıcı bağlantısı ön detay görünüş	23
Şekil 4.11. Konsept-2’e ait mesh’lenmiş model görüntüsü	24
Şekil 4.12. Konsept-2’e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü	25
Şekil 4.13. Konsept-2’e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü	25
Şekil 4.14. Konsept-2’in %100 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) A) İzometrik görünüş B) Sol görünüş C) Sağ görünüş D) Arka görünüş E) Oturak taşıyıcı ön detay görünüş F) Oturak taşıyıcı arka detay görünüş G) Arkalık iskeleti izometrik görünüş H) Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş I) Omuz ayar mekanizması detay görünüş	26
Şekil 4.15. Konsept-2’in %100 analizine ait % strain dağılımları A) Emniyet kemer sacı ön detay görünüş B) Emniyet kemer sacı arka detay görünüş C) Omuz ayar detay görüntüsü.....	27
Şekil 4.16. Konsept-2’e ait mesh’lenmiş model görüntüsü	29
Şekil 4.17. Konsept-2’e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü	29

Şekil 4.18. Konsept-2'e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü	30
Şekil 4.19. Konsept-2'in %120 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) A) İzometrik görünüş B) Sağ görünüş C) Sol görünüş D) Arka görünüş E) Oturak taşıyıcı ön detay görünüş F) Oturak taşıyıcı arka detay görünüş G) Arkalık iskeleti izometrik görünüş H) Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş I) Omuz ayar mekanizması detay görünüş	30
Şekil 4.20. Konsept-2'in %120 analizine ait % strain dağılımları A) Emniyet kemer sacı ön detay görünüş B) Emniyet kemer sacı arka detay görünüş C) Omuz ayar detay görünüş	31
Şekil 4.21. Sac kalınlığı değiştirilen arkalık iskeletine ait saclar A) Alt iç sol B) Alt iç sağ C) Alt dış sol D) Alt dış sağ	33
Şekil 4.22. Stress dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) Normal model .	34
Şekil 4.23. % Strain dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) Normal model	34
Şekil 4.24. Arkalık deplasmanı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) Normal model	35
Şekil 4.25. Sac kalınlığı değiştirilen arkalık iskeletine ait saclar A) Alt iç sol B) Alt iç sağ C) Alt dış sol D) Alt dış sağ	36
Şekil 4.26. Stress dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) 2'nci çalışma modeli	36
Şekil 4.27. % Strain dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) 2'nci çalışma modeli	37
Şekil 4.28. Arkalık deplasmanı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) 2'nci çalışma modeli	37
Şekil 4.29. Alt iç sacların geometrik karşılaştırması A) Normal model sol B) Normal model sağ C) 3'ncü çalışma modeli sol D) 3'ncü çalışma modeli sağ	39
Şekil 4.30. Alt dış sacların geometrik karşılaştırması A) Normal model sol B) Normal model sağ C) 3'ncü çalışma modeli sol D) 3'ncü çalışma modeli sağ	39
Şekil 4.31. Dişli sacların geometrik karşılaştırması A) Normal model B) 3'ncü çalışma modeli	40
Şekil 4.32. 3'ncü çalışma modelinin stress dağılımı	40
Şekil 4.33. 3'ncü çalışma modelinin % strain dağılımı	41
Şekil 4.34. 3'ncü çalışma modelinin arkalık deplasmanı	41
Şekil 4.35. Alt iç sacların geometrik karşılaştırması A) Normal model sol B) Normal model sağ C) 4'ncü çalışma modeli sol D) 4'ncü çalışma modeli sağ	42
Şekil 4.36. Alt dış sacların geometrik karşılaştırması A) Normal model sol B) Normal model sağ C) 4'ncü çalışma modeli sol D) 4'ncü çalışma modeli sağ	43
Şekil 4.37. Dişli sacların geometrik karşılaştırması A) Normal model B) 4'ncü çalışma modeli	43
Şekil 4.38. 4'ncü çalışma modelinin stress dağılımı	44
Şekil 4.39. 4'ncü çalışma modelinin % strain dağılımı	44
Şekil 4.40. 4'ncü çalışma modelinin arkalık deplasmanı	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. M sınıfına ait araçların farkları	10
Çizelge 3.2. N sınıfına ait araçların farkları	11
Çizelge 3.3. M1, M2 ve M3 sınıfı araçlar için 2 noktalı emniyet kemer çekme testi kuvvetleri	12
Çizelge 3.4. M1, M2 ve M3 sınıfı araçlar için 3 noktalı emniyet kemer çekme testi alt blok kuvvetleri	13
Çizelge 3.5. M1, M2 ve M3 sınıfı araçlar için 3 noktalı emniyet kemer çekme testi üst blok kuvvetleri	13
Çizelge 4.1. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	32
Çizelge 4.2. Maliyet analizi	33
Çizelge 4.3. Konsept-2'ye ait ağırlık azaltma çalışmalarının karşılaştırılması.....	45

1. GİRİŞ

Bu çalışmada otobüs ve kamyonlarda sürücü için en önemli ara yüz komponentleri arasında yer alan sürücü koltuklarına emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı özelliklerinin tasarlanması, analizler ile doğrulanması ve maliyet analizi ele alınmıştır.

Otomotivin sözlük anlamı “motorlu taşıt yapımıyla uğraşan endüstri kolu” dur. Bu sektör içerisine doğrudan son kullanıcı için araç üreten firmaların olduğu gibi, araç içinde bulunan alt parçaları da üreten yan sanayilerde vardır. Bu alt parçalar arasında sürücünün direkt olarak temasta olduğu ergonomisini doğrudan etkilediği ve konforunun en üst düzeyde istenen parçalardan birisi sürücü koltuğudur. Sürücü koltukları ise emniyet kemeri gibi regülasyonlardan gelen yasal gerekliliklere ek olarak konforu arttıran çeşitli özellikleri ile bu isteklere cevap vermeye çalışmaktadır. Bu özellikler arasında, yoldaki engebelerden gelen titreşimleri sönmlemek için süspansiyon mekanizması, yükseklik, eğiklik ve ileri geri ayarı, klima ve kalorifer, sürücünün sırt ve böbreklerinin bulunduğu alanları desteklemek için şişirilebilir komponentler, kolçaklar gibi parçalar yer almaktadır. Bunlara ek olarak bu teze konu olan emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı da bu listeye dahildir. Sürücünün, koltuk üzerindeki emniyet kemerinin omuz hizasında bulunan emniyet kemeri birinci noktasının z ekseninde yukarı ve aşağı yönlü ayarlanabilmesine emniyet kemeri yükseklik ayarı, koltuğun arkalık kısmının belirlenmiş bir yükseklikteki y eksenindeki açısını ayarlayabilmeye omuz ayarı olarak adlandırılmaktadır. Bu iki özellik temel koltuk özelliklerinden ayrılarak üst düzey koltuklara bulunmakta ve araç üreticilerinin sürücü konforunu arttırmak istemesi ile son yıllarda talep görmektedir.

Bu tez çalışmasının ana hedefi; otobüs ve kamyon sürücü koltukları için emniyet kemeri yükseklik ayar ve omuz ayar mekanizmalarının tasarlanıp ECE-R14 testi için analizler ile doğrulanmasıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sürücü koltuğu günümüzde üretilen araçların aracı kullanan sürücü ile doğrudan temasta bulunduğu önemli bileşenlerden birisidir. Otomotiv sektöründe sürekli ilerleyen ve gelişen trendler, özellikler, modern dokunuşlar koltuklarda da aynı hızla ilerletilmelidir. Otomotivin dünya tarihine kıyasla görece kısa tarihçesinde üretilen araçlar hızla gelişip değişmektedir. Buna bağlı olarak sadece sürücünün oturma ihtiyacına karşılık veren sürücü koltukları da değişim hızına ayar uydurup üzerinde çeşitli bileşenler barındırmaya, sürücüye konfor ve ergonomi sunmaya başlamıştır. Kavramsal tasarım bir tasarımda önemli rol oynamaktadır.

Deveci ve Durmuş (2019) tarafından yapılan çalışmada koltuk kızıklarının tasarımında farklı senaryolar oluşturulmuş, ECE R-14 emniyet kemeri bağlantıları regülasyonuna göre performansları incelenmiştir. Çalışmada yürütülen tüm analiz ve testlerin sonuçları regülasyon gerekliliklerine göre değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden kesit kalınlığının tek başına azaltılması gerinim değerlerini artırmıştır. Ancak malzemesi S700MC olan senaryolarda malzemeye bağlı mukavemet artışı, azalan kesit kalınlığına bağlı mukavemet düşüşünü karşılamıştır. Diğer bir değişken olarak kesitin simetrik veya asimetrik olması, sonuçlarda sadece % 8 pozitif etkisi olmuştur.

Erkul (2020) tarafından yapılan çalışma kapsamında potansiyel kuvvete karşı daha dayanıklı olan ikinci sıra üçlü yolcu koltuğu geliştirilmiştir. Üç noktalı kemer bağlantı mekanizması uygulanmış ve ankrajlardan ikisi BIW üzerine, diğeri ise koltuk üzerine yerleştirilmiştir.

Carcone ve Keir (2006) tarafından yapılan çalışmada, oturarak yapılan ofis çalışmalarında bel desteğinin biyomekanik değişkenler ve konfor üzerindeki etkilerine dair yeni bilgiler sağlamıştır. Ek bir sırtlığın eklenmesi, ortalama sırtlık basıncını, ortalama tepe sırtlık basıncını ve sırtlıktaki ortalama temas alanını önemli ölçüde azaltmıştır. Ek olarak, test edilen 3 cm'lik bir bel yastığı, bel desteği sağlamış ve bel omurgasının düzleşmesini önlemiştir. Katılımcılar, antropometriden bağımsız olarak

küçük bel yastığı (3 cm kalınlığında) veya yalnızca tamamlayıcı sırtlığı tercih etmişler, bu da optimal miktarda bel desteği olduğunu düşündümüştür. Bu koşullar aynı zamanda daha düşük sırtlık basıncına, daha büyük koltuk yüzeyi temas alanına, ancak daha küçük sırtlık temas alanına sahiptir. Bu ilişkileri daha uzun süreler ve farklı oturma koşulları altında anlamak için gelecekteki çalışmalara ihtiyaç vardır.

Carrigan, Nuthi, Pande, Wijesundara, Chung, Grindle, Brown, Gebrosky ve Cooper (2019) tarafından yapılan çalışmaya göre, oturarak edinilmiş basınç ülseri riskinin azaltılmasına yardımcı olmak için oturma ara yüzündeki yükleme büyüklüğü ve süresi sorunlarını ele almak için sensörlü bir hava hücresi tabanlı koltuk minderleri sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, antropomorfik bir model ve bir insan denek kullanılarak doğrulanan basınç haritalama, yeniden dağıtım ve boşaltma yeteneğine sahiptir. Sistem, bir hava hücresi dizi yastığı, bir pnömatik kontrol ünitesi ve bir grafik kullanıcı arayüzünden oluşur. ISO yük sapma testi, minderlerin yükleme tepkisinin ticari hava hücreli koltuk minderleriyle karşılaştırılabilir olduğunu doğrulamıştır.

Thanikaikarasan, Masthanvali ve Velmurugan (2020) tarafından yapılan çalışmada ABS, Poliüretan ve Naylon malzemeler kullanılarak hazırlanan koltuk burçlarının titreşim büyüklüğü ve koltuk yapısı, CATIA yazılımı ile modal analiz kullanılarak analiz edilmiştir.

Prabhakar, Lakshminarayanan, Muhammed, Vishnu ve Varghese (2020) tarafından yapılan çalışmada baz alınan araba inovasyonunda insan tesellisi ön planda olduğu için, yığın ve titreşim kullanımından kaynaklanan ve kendine özgü davranışını veren CATIA V5 kullanılarak koltuk modelinin üretimi ve muayenesi pratik olarak tamamlanmıştır. Keyfi uyarma gibi güçler uygulanmış, yeterliliği ve tekrarı fark ettikten sonra, burada titreşim yuvasında neden olan titreşimi ve kargaşayı azaltmak için yaklaşımlar önerilmiştir. Çeşitli uyarma güçleri uygulanmış ve bükülme uyarıları nedeniyle etkileri azaltmak için daha ileri yöntemler için not edilmiştir. Düzenli olarak içe doğru motor titreşimi sadece burada inceleme için düşünülmüştür.

Yılmaz, Doğan ve Karpata (2019) tarafından yapılan çalışmada simetrik ve asimetrik dişli bimetale düz dişlilerin statik ve dinamik davranışı sayısal olarak incelenmiştir. İlk olarak, bir 3B tasarımı programı (CATIA) kullanılarak ie dönük ve trokoid eğrilerin matematiksel denklemlerine dayalı olarak katı ve bimetale dişlilerin 3B modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra FEA yazılımı (ANSYS) ile dişin çekme tarafındaki diş kök gerilmeleri ve toplam deformasyonları elde edilmiş ve kuvvetin toplam deformasyona bölünmesi ile tek diş sertlik değerleri hesaplanmıştır.

Doğan ve Karpata (2018) sonlu elemanlar analizi kullanılarak simetrik ve asimetrik diş profillerinin çatlak başlangıç noktası ve zamanla değişen ađ rijitliği hesaplanmıştır.

Doğan, Yüce ve Karpata (2021) tarafından yapılan çalışmada, jant kalınlığı ve tahrik tarafı basıncı açısının dişli kökü eğilme gerilmesi ve yorulma çatlağı yayılma ömrü üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Çatlakların başlangıç noktalarını belirlemek için statik yapısal gerilme analizleri yapılmıştır.

Karpata, Yüce ve Doğan (2019) tarafından yapılan çalışmanın validasyon işlemi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler ANSYS Workbench'te tekrarlanmış ve elastik deformasyonlar hesaplanmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçların genel olarak tutarlı olduğu bulunmuştur. Sonuçlar, tahrik tarafı basıncı açısının 20'den 35'e artmasıyla tek diş sertliğinin yaklaşık %38 arttığını göstermiştir.

Yüce, Karpata, Yavuz, şendeniz ve Aksoy (2013) alışmalarında, M3 sınıfı yolcu otobüslerinde kullanılan yolcu koltuklarının yüksek mukavemetli elik malzeme kullanılarak hafifletilmesi anlatılmıştır. Bu doğrultuda tasarlanan koltukların sonlu elemanlar metodu yardımıyla analizleri yapılmış, gerilme ve deformasyon miktarlarına göre tasarıma müdahale edilmiştir. Analizleri geçen koltuk yapısının prototip imalatı gerçekleştirilmiş ve ECE normlarına uygun olarak güvenlik testlerine tabi tutulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Koltuk insanların üzerine oturabileceği ve bu esnada dinlenebileceği, bekleyebileceği veya çalışabileceği bir araçtır. Çeşitli amaçlar için sayısız koltuk türü vardır. Bunlardan bazıları araçlarda kullanılan koltuklardır. Araç koltukları o aracı kullanmak veya o araç ile seyahat etmek için kullanılır. Araç ile seyahat eden insanlar yolcu koltuğunu kullanırken, aracı kullanan sürücü ise sürücü koltuğunu kullanır. Sürücü koltuğunu diğer koltuklardan en önemli fark ise o aracın hareket etmesini veya kontrol edilmesini sağlayan kişinin direkt olarak sürücü koltuğu ile temas içinde olmasıdır. Araçta birçok komponent sürücü için dolaylı olarak var olsa da sürücü koltuğu sürücünün aracı kullanabilmesi için alması gereken pozisyonu sağlamak ile görevlidir. Sürücü aracın içerisine girdiği andan itibaren sürücü koltuğu ile temastadır. Bundan dolayı sürücü koltukları görevi olan sürücüyü belirli pozisyonda tutmakla birlikte sürücünün rahat ve konforlu kalmasını sağlamaktır.

Sürücünün oturması için bir oturma parçası yeterli olsa da sürücü koltuklarında konforu sağlayan birçok etken bulunmaktadır. Bunların başında insan vücudu için optimum sertlikte bir oturma gelir. Bunu yine aynı konfora sahip arkalık takip eder. Bu iki ana parçadan sonra koltukta konforu sağlayan ve arttıran birçok opsiyon mevcuttur. Bu opsiyonlardan bazıları; esneme, oturma derinlik ayarı, ileri geri ayarı, eğiklik ayarı, sertlik ayarı, yükseklik ayarı, yatay esneme, hızlı indirme, arkalık ayarı, sırt yastığı, böbrek yastığı, kolçak, kalorifer, klima, aktif gergili 3 noktalı emniyet kemeri, aktif gergisiz 3 noktalı emniyet kemeri, 2 noktalı emniyet kemeri, elektrikli emniyet kemeri, döner adaptör, mikrofon, titreşim motoru ve varlık sensörüdür.

Esneme, aracın hareketi esnasında oluşan titreşimleri en aza indirerek sürücüye pürüzsüz bir sürüş konforu katar. Oturma derinlik ayarı, sürücünün oturduğu oturma parçasının belirli miktarlarda ileri geri hareket etmesini sağlayarak sürücünün vücuduna göre şekillendirmesine yardımcı olur. İleri geri ayarı, koltuğun araca sabitlendiği noktadan direksiyon veya kumanda koluna doğru ileri geri hareket etmesini sağlayan

kızak sistemidir. Eğiklik ayarı, sürücünün oturduğu oturak parçasını zemine olan açısını ayarlama opsiyonudur. Sertlik ayarı, sürücünün ağırlığına göre yoldan gelen titreşimlerin engellenmesini ayarlayabilme opsiyonudur. Yükseklik ayarı, koltuğun zeminden yüksekliğini ayarlayabilme opsiyonudur. Yatay esneme, koltuğun sürüş yönüne dik olarak salınım yapmasına olanak sağlayan sistemdir. Hızlı indirme, koltuğun yükseklik ayar için kullandığı havanın hızlı bir şekilde tahliyesine imkan veren ve sürücünün hızlı bir şekilde aracı terk etmesini sağlayan sistemdir. Arkalık ayarı, sürücünün sırt kısmının temas ettiği arkalık parçasının açısını ayarlamaya yarayan opsiyondur. Sırt yastığı, sürücünün sırt kısmına denk gelen kısmın şişirilip desteklenmesini sağlayan opsiyondur. Böbrek yastığı, sürücünün böbrek kısmına denk gelen kısmın şişirilip desteklenmesini sağlayan opsiyondur. Kolçak, sürücünü kol ve dirseklerini koyabileceği opsiyondur. Kalorifer, araç içi ısıtma sisteminden bağımsız olarak koltuğun ısıtılmasını sağlayan opsiyondur. Klima, araç içi klima sisteminden bağımsız olarak sürücünün soğutulmasını sağlayan opsiyondur. Aktif gergisiz üç noktalı emniyet kemeri, yasal olarak bulunması ve kullanması zorunlu olan sürücüyü kaza anında yerinden ayrılarak başka alanlara çarpmasını engelleyen zorunlu parçadır. Aktif gergili üç noktalı emniyet kemeri, kaza esnasında içerisindeki mekanizma sayesinde sürücüyü bulunduğu noktada tutmanın yanında kemer sıkılığını arttırarak sürücüyü koltuğa çekerek hareketini kısıtlar. İki noktalı emniyet kemeri, üç noktalı emniyet kemerinin zorunlu olmadığı araçlarda veya koltuklarda kullanılan sürücüyü belden tutan emniyet kemeridir. Elektrikli emniyet kemeri, sürücünün emniyet kemerini takıp takmadığını içerisindeki elektronik anahtar ile araca bildiren ve araçtan sinyal vb. alınmasını sağlayan opsiyondur. Döner adaptör, sürücünün araçtan çıkışını kolaylaştıran, kabin içerisinde koltuğu döndürmeyi sağlayan parçadır. Mikrofon, sürücünün araç içi veya araç dışı iletişimini sağlayan opsiyondur. Titreşim motoru, sürücünün yoldaki şeritler dışına çıkması ile araçtan gelen sinyal ile aktif hale gelen ve oturak içerisindeki titreşim motorları ile sürücünün uyarıldığı sistemdir. Varlık sensörü, sürücünün koltukta bulunup bulunmadığını ve buna göre çeşitli uyarıların araç tarafından sağlandığı opsiyondur.

Bu opsiyon ve özelliklere ek olarak, bu teze konu olan emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı da bu listeye dahildir.

Koltuk üzerindeki emniyet kemerinin omuz hizasında bulunan emniyet kemeri birinci noktasının z-ekseninde yukarı ve aşağı yönlü ayarlanabilmesine emniyet kemeri yükseklik ayarı denir. Bu özellik sayesinde farklı boylara sahip sürücülerin tek bir yükseklikteki noktadan değil ayarlanabilir bir mekanizma ile boylarına uygun şekilde ayarlayabilir.



Şekil 3.1. Emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı özelliklerine sahip bir koltuk. “Grammer AG”, t.y.

Koltuğun arkalık kısmının belirlenmiş bir yükseklikteki y-eksenindeki açısını ayarlayabilmeye omuz ayarı olarak adlandırılmaktadır. Bu özellik ile arkalık parçasının blok olarak açısının ayarlanmasına ek olarak bir noktadan daha açılı ayarlaması yapılmasına olanak sağlayarak sürücü için en ergonomik arkalık geometrisi oluşturmaktadır.

Bu iki özellik temel koltuk özelliklerinden ayrılarak üst düzey koltuklara bulunmakta ve araç üreticilerinin sürücü konforunu arttırmak istemesi ile son yıllarda talep görmektedir. Bu talepler neticesinde koltuk üreticileri bu opsiyonları mevcut koltuklarına uygulamak için çalışmalar başlatmıştır.

Üretilebilirlik ve maliyet karşılaştırması yapabilmek için hali hazırda emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı bulunmayan bir koltuk referans alınarak iki farklı tasarım yapılmıştır. Birinci tasarım pres kalıp yöntemi ile elde edilen alt parçaların çok olduğu, dolayısıyla yatırım maliyetinin çok olacağı öngörülen; ikinci tasarım ise lazer – abkant üretim yöntemi ile elde edilen alt parçaların ağırlıkta olduğu, dolayısıyla yatırım maliyetinin az olacağı öngörülen tasarımlardır. Bu iki tasarım da aynı H-Point ölçülerine sahip ve emniyet kemer noktalarının konumları aynıdır.

3.2. Yöntem

Teze konu olan emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı özelliklerinin tasarım çalışmaları bilgisayar destekli tasarım (CAD - Computer Aided Design) programı kullanılarak yapılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım bir ürünün tasarlanmasına, daha sonra değiştirilmesine veya analizi için çıktı almaya yarayan yazılım bütünüdür. Tasarım esnasında temel geometri komutları kullanarak tasarım yapılır, ölçülendirdikten sonra istenilen şekli elde etmek için katı modele veya yüzeye çevrilir. Birkaç parametre değiştirilerek tasarım tümüyle değiştirilebilir bu da el ile tasarlayıp çizmekten çok daha kısa sürede gerçekleştirilebilir. Otomotiv, savunma gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarlanmak istenen parçayı üç boyutlu tasarladıktan sonra iki boyutlu olarak teknik resmi kolayca elde edilebilir.

Bilgisayar destekli tasarımın temel kullanım amaçları şunlardır;

- Verimliliği arttırmak; üretilecek ürünün, montaj bileşenlerinin ve bunların ilişkilerinin zihinde canlandırılmasına yardımcı olarak gerekli zamanı kısaltır. Verimliliğin artışıyla hem ekonomik hem zaman anlamında kazanım sağlanır.

- Kalite artışı; bilgisayar destekli tasarım ile çalışarak birden çok alternatif kolayca göz önüne alıp tasarlayarak içlerinden mühendislik olarak en kalitelisini seçme olanağı sağlar. İki boyutlu teknik resimlerde çizim hataları minimuma inerek standartlara uygun çizim elde edilir.

- Veri tabanı oluşturabilme; tasarımda kullanılan malzeme, özel tablolar gibi sürekli kullanılan parametreleri kaydederek her parça için oluşturmak yerine veri tabanından seçerek kullanılabilir.

- Projelendirme; tasarlanan ürünleri dokümanle ederek proje dosyası oluşturulabilir. Bu dokümanlar geleneksel yöntemler ile hazırlanmış dokümanlardan daha temiz ve hatasız olacağından proje dokümanları hassas ve kaliteli olur.

Bilgisayar destekli tasarımı yapılan emniyet kemeri yükseklik ayarı ve omuz ayarı bulunan sürücü koltuğunun arkalık iskeleti sonlu elemanlar analizi yöntemi (FEM – Finite Element Model) ile analiz edilmiştir. Analizde ECE-R14 regülasyonunun sınır şartları kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ya da sonlu elemanlar metodu, mühendislik ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir. FEM, özellikle yapı statiği, ısı aktarımı, akışkanlar mekaniği, kütle aktarımı ve elektrik potansiyeli problemlerinde kullanılır; yöntem, özellikle iki veya üç boyutlu kısmi diferansiyel denklemleri ve sınır değer problemlerinin çözümünde uygulanır.

FEM, esasta geniş bir sistemi sonlu eleman adı verilen daha küçük bileşenlere ayırır: bu, denklemin çözüldüğü uzayın ayrıklaştırılarak küçük bölgelere bölünmesi ile gerçekleştirilir. Sınır değer probleminin bu formülasyonu sonucu bir cebirsel denklem sistemi elde edilir. bu sistem daha sonra Rayleigh–Ritz veya Galerkin metodu gibi değişkenli metodlar ile çözülür. Bu metodlarda sonuçlar temel fonksiyonlar (basis function) cinsinden elde edilir: diğer bir deyişle bu fonksiyonlar kullanılarak asıl çözümün interpolasyonu yapılır.

Bir sistemin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi sonlu elemanlar analizi (FEA) olarak bilinmektedir. Yöntem ilk kez 1940'lı yıllarda öne sürülmüş ve 1950'li yıllarda uçak tasarımlarında kullanılmaya başlanmıştır.

Teze konu olan yükseklik ayarı ve emniyet kemeri yükseklik ayarı opsiyonları M3 ve N3 sınıfı araçlarda kullanılan sürücü koltukları için tasarlanmıştır. Bu iki sınıfın dahil olduğu M ve N sınıfları şu şekilde tanımlanmıştır.

3.2.1. M sınıfı araçlar

En az dört tekerlekli ve yolcu taşımada kullanılan motorlu araçlardır.

M1 sınıfı: Yolcu taşımada kullanılan ve sürücü dahil en fazla 9 oturma yeri olan motorlu araçtır.

M2 sınıfı: Yolcu taşımada kullanılan, sürücü dahil 9'dan fazla oturma yeri olan ve azami ağırlığı 5 tonu aşmayan motorlu araçtır.

M3 sınıfı: Yolcu taşımada kullanılan, sürücü dahil 9'dan fazla oturma yeri olan ve azami ağırlığı 5 tonu aşan motorlu araçtır.

Çizelge 3.1. M sınıfına ait araçların farkları

M SINIFI				
Sınıf	Taşıma Türü	Tekerlek Sayısı	Sürücü Dahil Oturma Kapasitesi	Azami Ağırlık (Ton)
M1	Yolcu	>4	≤9	
M2	Yolcu	>4	>9	<5
M3	Yolcu	>4	>9	>5

3.2.2. N sınıfı araçlar

En az dört tekerlekli ve yük taşımada kullanılan motorlu araçlardır.

N1 sınıfı: Yük taşımada kullanılan ve azami ağırlığı 3,5 tonu aşmayan motorlu araçtır.

N2 sınıfı: Yük taşımada kullanılan ve azami ağırlığı 3,5 tonu aşan, ancak 12 tonu aşmayan motorlu araçtır.

N3 sınıfı: Yük taşımada kullanılan ve azami ağırlığı 12 tonu aşan motorlu araçtır.

Çizelge 3.2. N sınıfına ait araçların farkları

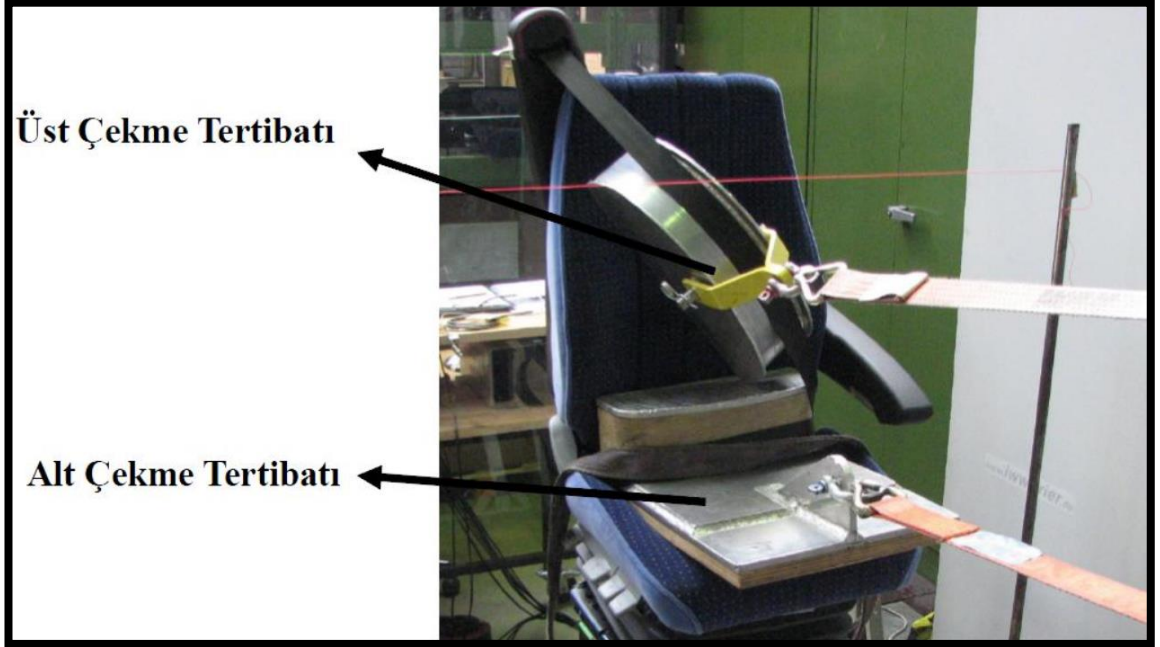
N SINIFI			
Sınıf	Taşıma Türü	Tekerlek Sayısı	Azami Ağırlık (Ton)
N1	Yük	>4	<3,5
N2	Yük	>4	>3,5 - <12
N3	Yük	>4	>12

3.2.3. Koltuk doğrulama testleri

Üretilen araçların son kullanıcıya satışı gerçekleşebilmesi için yapılması gereken testler bulunmaktadır. Bu yasal testlere ek olarak bazı araç üreticileri bu testlerde sağlanması gereken koşulların üzerinde dayanım talep etmektedir. Bu tez içerisinde ECE-R14 testi için hem %100 hemde %120 olarak kuvvetler belirlenmiş ve analizleri yapılmıştır. Analizlerden sonra koltuğun satışını gerçekleştirebilmek için yapılması gereken bazı testler şöyledir.

Emniyet kemeri çekme testi (ECE-R14)

Kaza anında koltuğa gelen kuvvetleri simüle eden testtir.



Şekil 3.2. Üst ve alt çekme tertibatı belirtilmiş emniyet kemeri çekme testi

Test girdileri

ECE-R14 testi uygulanacak koltuğa (Çizelge 3.3.), (Çizelge 3.4.) ve (Çizelge 3.5.)’te gösterilen hesaplamalar neticesince belirlenen kuvvetler uygulanır.

Çizelge 3.3. M1, M2 ve M3 sınıfı araçlar için 2 noktalı emniyet kemeri çekme testi kuvvetleri

Araç Sınıfı	Kemer Çekme Kuvveti (N)
M1	22 250 N + 20 x koltuk kütlesi (kg) x 9,81 (m/s ²)
M2	11 100 N + 10 x koltuk kütlesi (kg) x 9,81 (m/s ²)
M3	7 400 N + 6,6 x koltuk kütlesi (kg) x 9,81 (m/s ²)

Çizelge 3.4. M1, M2 ve M3 sınıfı araçlar için 3 noktalı emniyet kemer çekme testi alt blok kuvvetleri

Araç Sınıfı	Kemer Çekme Kuvveti (N)
M1	13 500 N + 20 x koltuk kütlesi (kg) x 9,81 (m/s ²)
M2	6 750 N + 10 x koltuk kütlesi (kg) x 9,81 (m/s ²)
M3	4 500 N + 6,6 x koltuk kütlesi (kg) x 9,81 (m/s ²)

Çizelge 3.5. M1, M2 ve M3 sınıfı araçlar için 3 noktalı emniyet kemer çekme testi üst blok kuvvetleri

Araç Sınıfı	Kemer Çekme Kuvveti (N)
M1	13 500 N
M2	6 750 N
M3	4 500 N

Fiziksel test sonucunda yapıda oluşan kalıcı deformasyonlar ve lokal biçimde oluşan kopmalar regülasyona uygunluğu engellemektedir. Test sonucunda yapının bütünlüğünü koruması istenmektedir. Test koşullarında yükler en kısa zamanda(0,2sn) maksimuma ulaşır, bu maksimum yükte yapının bu yüklere dayanması gerekmektedir. Kuvvetler piston vasıtasıyla $10^{\circ} \pm 5^{\circ}$ açıyla uygulanmaktadır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Kuvvet uygulayan pistonların açısı

Çarpışma testi (ECE-R17/R80)

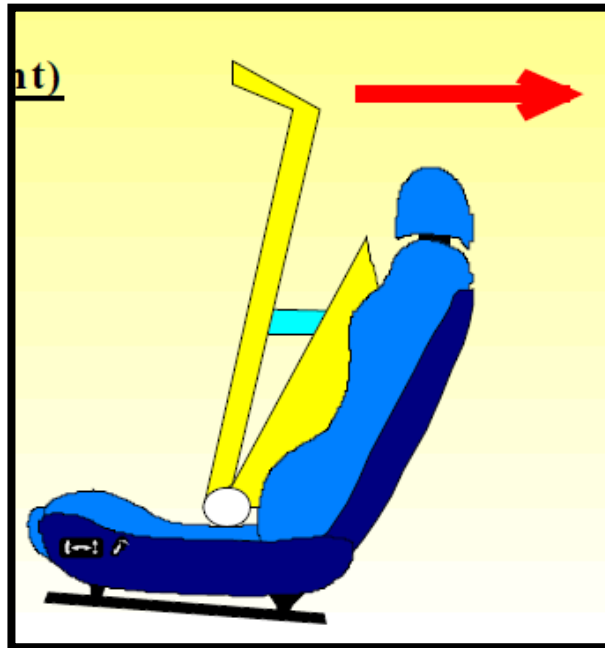
Aracın kaza esnasında çarpışmasını simüle eder testtir.



Şekil 3.4. Çarpışma testi örneği

Arkalık itme testi (ECE-R17/25)

Koltuğun arka iskeletinin dayanımını ölçmek için arkadan itme şeklinde yapılan testtir.



Şekil 3.5. Arkalık itme testi örneği

Arkalık açma ve kapama testi

Arkalık iskeletinin ve buna bağlı komponentlerin belirli frekansta çevrim sayısı ile sürücü simüle edilerek açılıp kapatılmasıdır.



Şekil 3.6. Arkalık açma ve kapama testi örneği

4. BULGULAR

Tasarımı tamamlanan iki konsept arkalık iskelet sistemine sahip koltuklar belirli kriterler göz önüne alınarak analizler yapılmıştır. Bu analizler ECE-R14 test gereksinimlerine göre yapılmıştır.

Analizler HyperWorks 2019.1 programında yapılmıştır. Zamana bağlı olarak analizler yapıldı. Meshleme HyperMesh programında yapıldı. Meshleme için metal parçaların orta yüzeyleri alınarak dikdörtgen meshler atılmıştır. Köşelere veya zor bölgelere üçgen mesh te atılmıştır. Bu meshlerin kenar uzunlukları yaklaşık 7 mm dir ve tamamı iki boyutludur. Bloklara atılan meshlerin kenar uzunlukları ortalama 20 mm dir. Her bir analiz için tüm koltuğa yaklaşık 66.000 mesh atılmıştır. ECE-R 14 çekme testi için alt ve üst pistonlardan koltuk çekilmektedir. Bu pistonları da modelleyerek kuvvet değerleri belirlenmiştir. Bu pistonların testlerde bağlandığı bloklar da analiz için modellenmiştir. Analiz süresi 0,3 sn maksimum kuvvete ulaşma ve 0,3 sn maksimum kuvvette kalma olarak toplam 0,6 sn gerçekleşmiştir. Koltuk zemine 6 noktadan sabitlenmiş ve bu noktalar rijit eleman olarak tanımlanmıştır. Piston kuvvetlerinin açıları da sınır şartı olarak 10 derece olarak tanımlanmıştır. Komponentlerin birbirini analiz esnasında görüp tanınması için tip-7 kontakt bağlantısı kurulmuştur. Birbirine dik kenarların analiz esnasında birbirine girmemesi için 'edge contact' kullanılmıştır. Zemin rijit kabul edilmiştir.

Tasarlanan iki konseptte göre analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

4.1. Konsept-1'e ait analiz sonuçları

ECE-R14 regülasyonuna göre yapılan analizler yasal gereklilik olarak belirlenen kuvvetlerin %100'ü ile analiz edildikten sonra bazı araç üreticilerinin özel isteği olarak belirlenen bu kuvvetlerin % 120'si ile de analiz edilmiştir.

4.1.1. %100 Analiz sonuçları

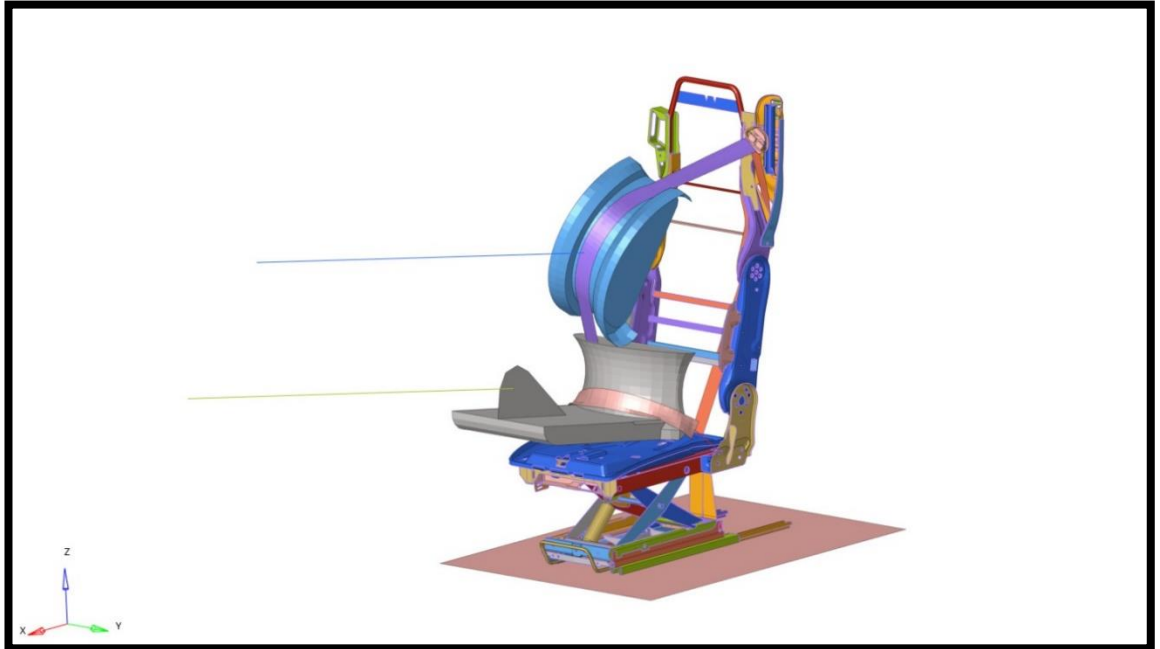
Koltuk ağırlığının 43 kg olarak alındığı ilk analizde N3 ve M3 araç sınıfı için tasarlanan yükseklik ayarlı emniyet kemeri ve omuz ayarına sahip sürücü koltuğu %100 oranında kuvvete maruz bırakılarak ECE-R14 testi simüle edilmiştir.

%100 oranındaki alt piston kuvveti (Çizelge 3.4.)'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

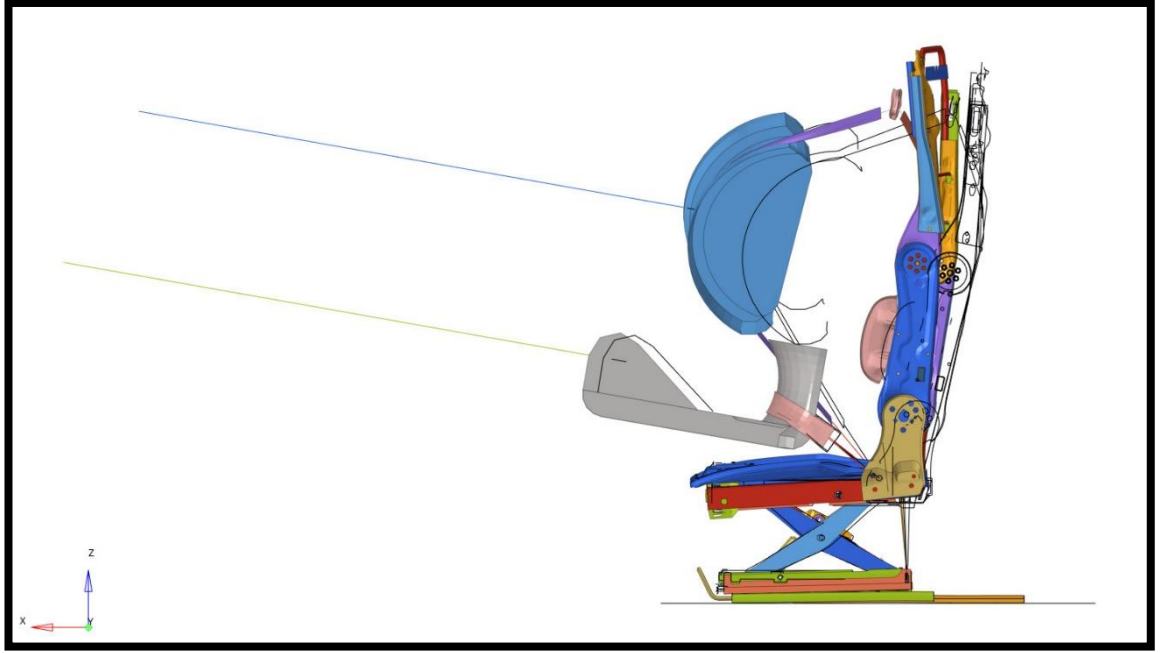
$$\begin{aligned}\text{Alt Piston Kuvveti (N)} &= 4\,500 + 6,6 \times \text{koltuk kütlesi (kg)} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 4\,500 + 6,6 \times 43 \times 9,81 = 7\,284,078 \text{ N'dur.}\end{aligned}$$

Alt piston kuvveti analizde 7 300 N olarak kabul edilmiştir.

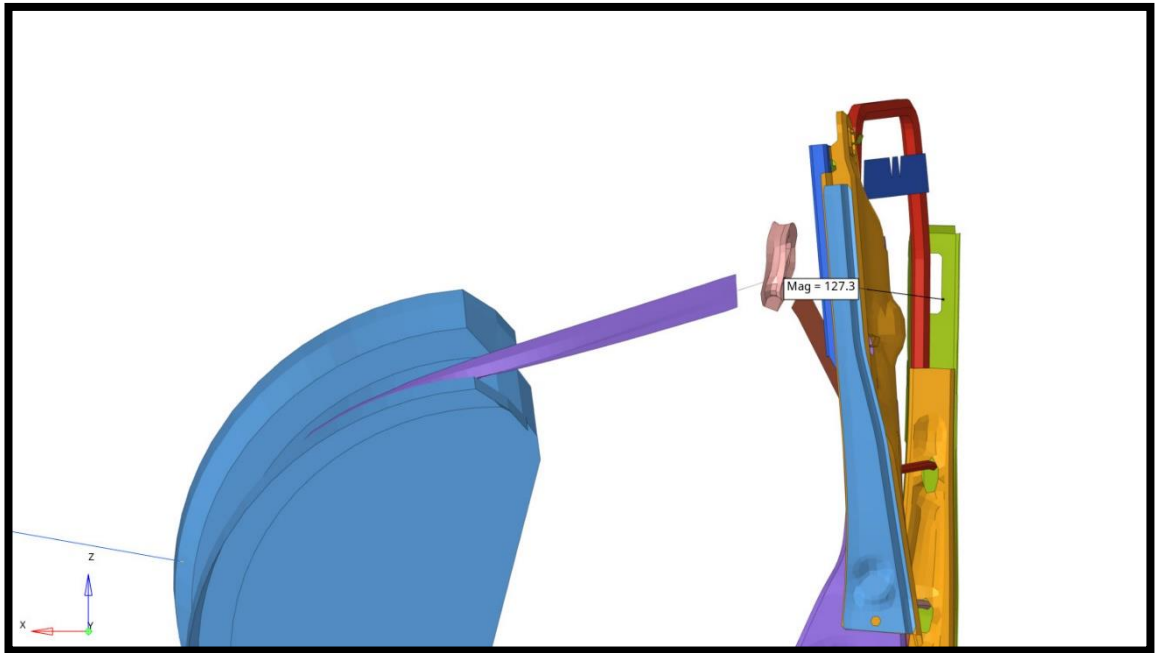
Üst piston kuvveti (Çizelge 3.5.)'de belirtilen kuvvet değeri olan 4 500 N olarak alınmıştır.



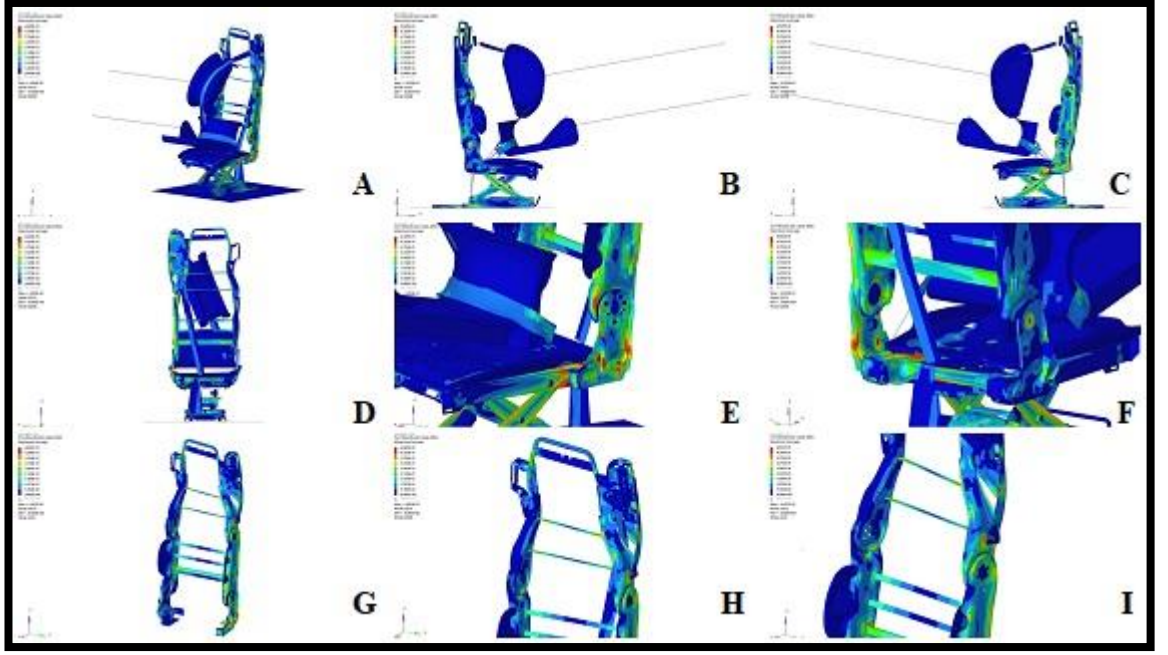
Şekil 4.1. Konsept-1'e ait mesh'lenmiş model görüntüsü



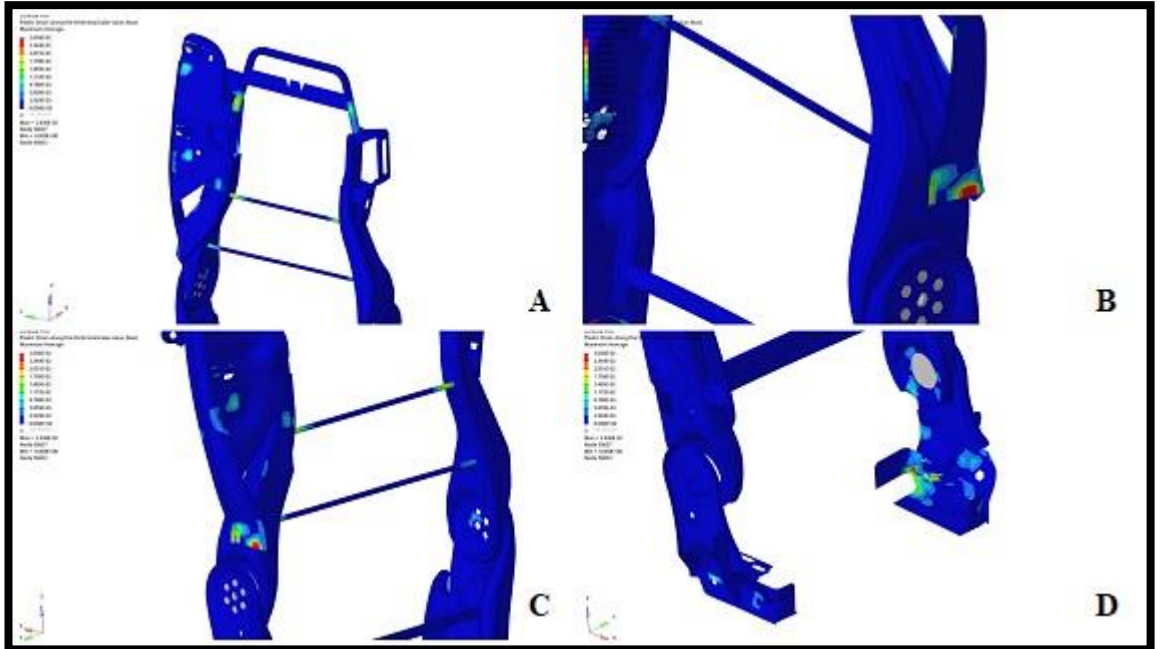
Şekil 4.2. Konsept-1'e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü



Şekil 4.3. Konsept-1'e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü



Şekil 4.4. Konsept-1'in %100 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) A) İzometrik görünüş B) Sağ görünüş C) Sol görünüş D) Arka görünüş E) Oturak taşıyıcı ön detay görünüş F) Oturak taşıyıcı arka detay görünüş G) Arkalık iskeleti izometrik görünüş H) Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş I) Omuz ayar mekanizması detay görünüş



Şekil 4.5. Konsept-1'in %100 analizine ait % strain dağılımları A) İzometrik görünüş B) Emniyet kemer sacı ön detay görünüş C) Emniyet kemer sacı arka detay görünüş D) Arkalık iskeleti oturak taşıyıcı bağlantısı detay görünüş

4.1.2. %100 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Arkalık deplasmanı 127.3 mm gelmiştir. İstenen kriterler içerisindeydir. Model de oluşan Max Stress: 482 MPa. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir. Arkalık ta oluşan Max % Strain: %2.6. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir.

4.1.3. %120 Analiz sonuçları

Koltuk ağırlığının 43 kg olarak alındığı ikinci analizde N3 ve M3 araç sınıfı için tasarlanan yükseklik ayarlı emniyet kemeri ve omuz ayarına sahip sürücü koltuğu %120 oranında kuvvete maruz bırakılarak ECE-R14 testi simüle edilmiştir. %120 oranındaki alt piston kuvvetini hesaplamak için (Çizelge 3.4.) 1,2 ile çarpılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Alt Piston Kuvveti (N)} &= 4\,500 + 6,6 \times \text{koltuk kütlesi (kg)} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,2 \\ &= 4\,500 + 6,6 \times 43 \times 9,81 \times 1,2 = 8\,740,9 \text{ N'dur.}\end{aligned}$$

Alt piston kuvveti analizde 8 760 N olarak kabul edilmiştir.

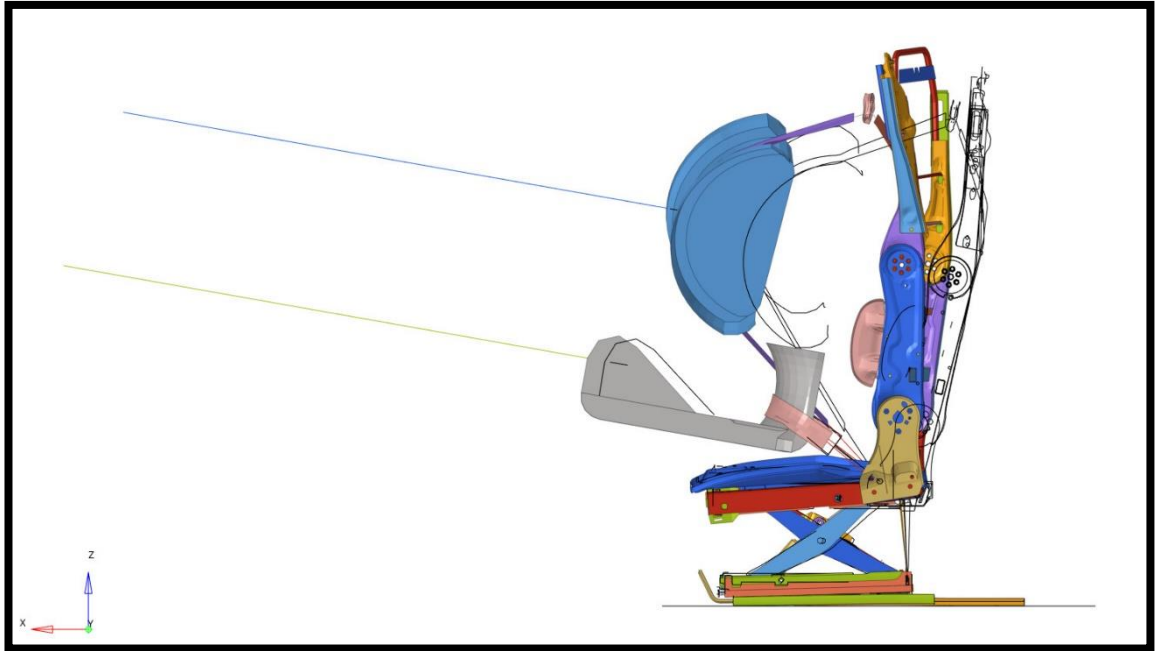
Üst piston kuvvetini hesaplamak için (Çizelge 3.5.)'de belirtilen kuvvet değeri 1,2 ile çarpılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Üst Piston Kuvveti (N)} &= 4\,500 \times 1,2 \\ &= 5\,400 \text{ N}\end{aligned}$$

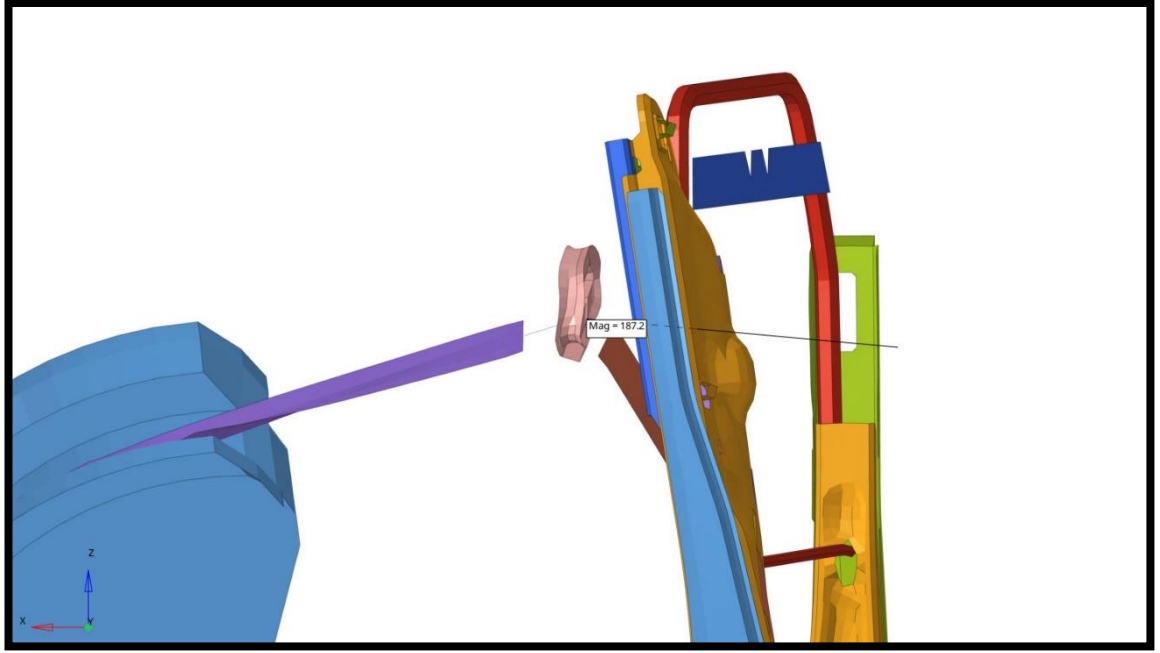
Analizde 5400 N olarak kabul edilmiştir.



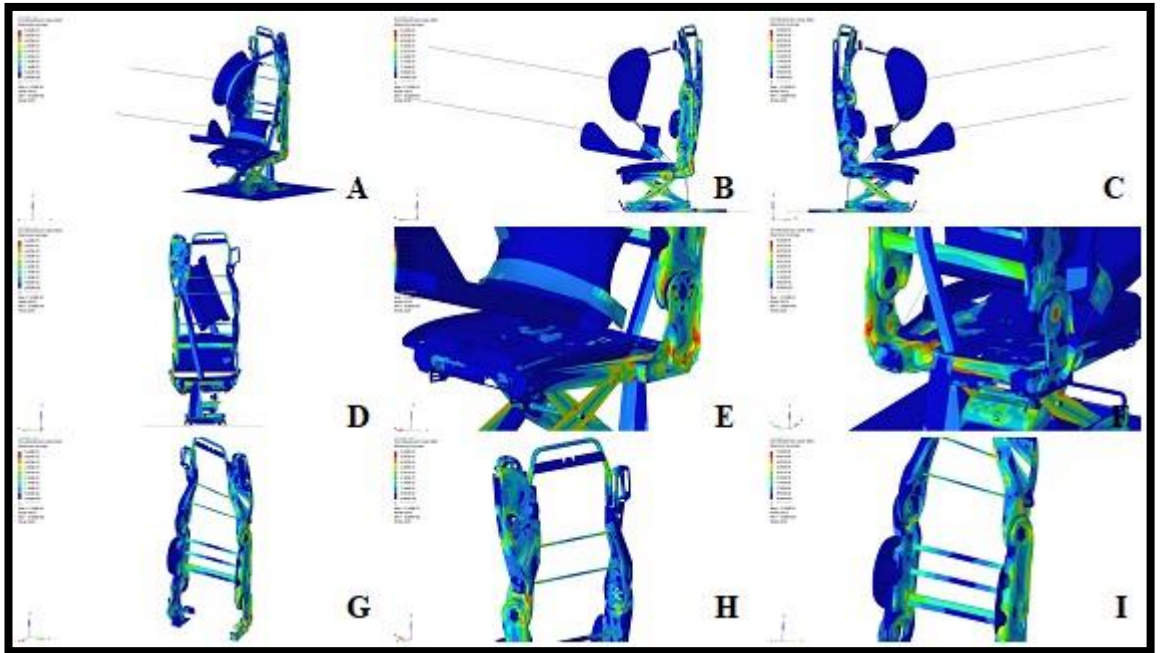
Şekil 4.6. Konsept-1'e ait mesh'lenmiş model görüntüsü



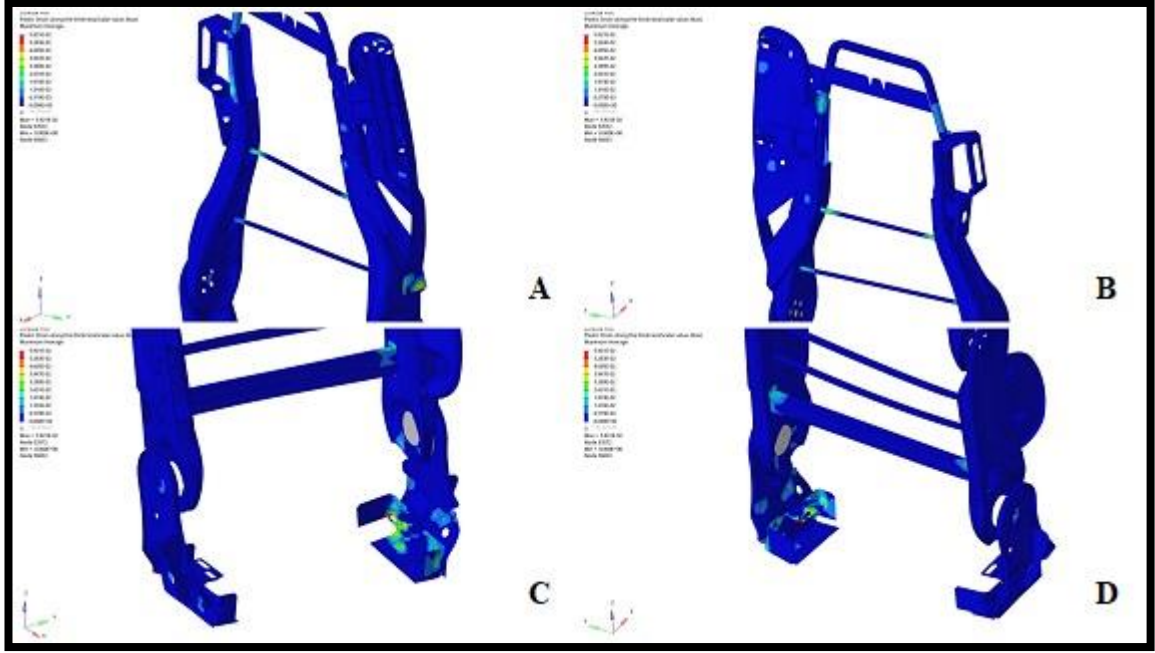
Şekil 4.7. Konsept-1'e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü



Şekil 4.8. Konsept-1'e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü



Şekil 4.9. Konsept-1'in %120 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) **A)** İzometrik görünüş **B)** Sol görünüş **C)** Sağ görünüş **D)** Arka görünüş **E)** Oturak taşıyıcı ön detay görünüş **F)** Oturak taşıyıcı arka detay görünüş **G)** Arkalık iskeleti izometrik görünüş **H)** Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş **I)** Omuz ayar mekanizması detay görünüş



Şekil 4.10. Konsept-1'in %120 analizine ait % strain dağılımları **A)** Emniyet kemer sacı ön detay görünüş **B)** Emniyet kemer sacı arka detay görünüş **C)** Arkalık iskeleti oturak taşıyıcı bağlantısı ön detay görünüş **D)** Arkalık iskeleti oturak taşıyıcı bağlantısı ön detay görünüş

4.1.4. %120 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Arkalık deplasmanı 187.2 mm gelmiştir. İstenen kriterler içerisinde. Model de oluşan Max Stress: 524 MPa. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir. Arkalık ta oluşan Max % Strain: %5,9. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir.

4.2. Konsept-2'ye ait analiz sonuçları

ECE-R14 regülasyonuna göre yapılan analizler yasal gereklilik olarak belirlenen kuvvetlerin %100'ü ile analiz edildikten sonra bazı araç üreticilerinin özel isteği olarak belirlenen bu kuvvetlerin %120'si ile de analiz edilmiştir.

4.2.1. %100 Analiz sonuçları

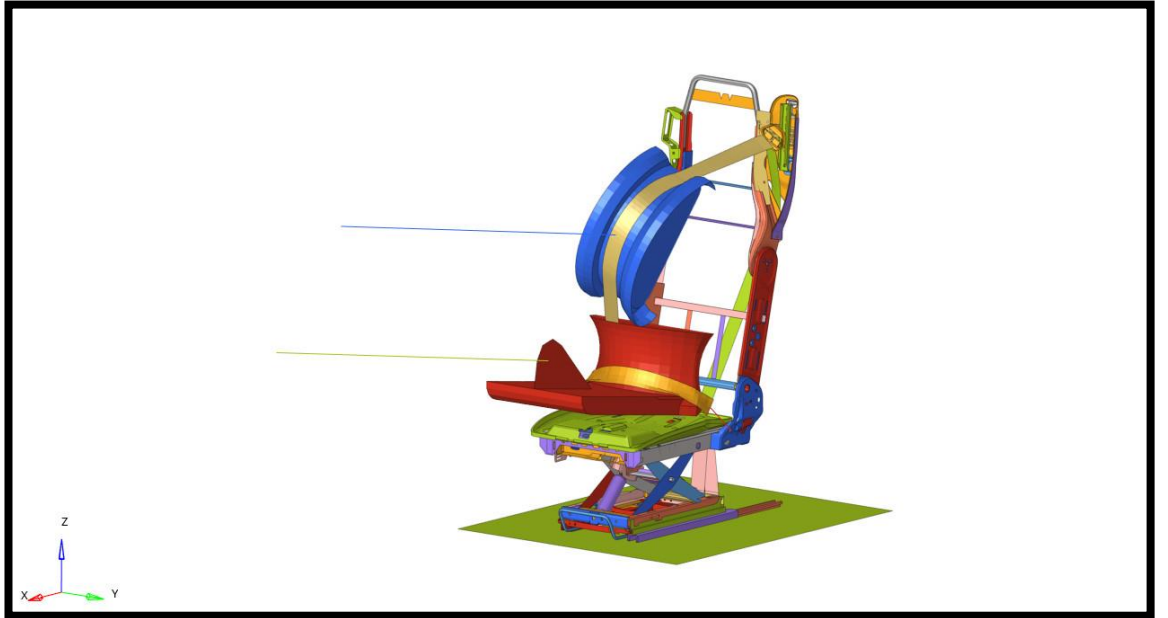
Koltuk ağırlığının 43 kg olarak alındığı ilk analizde N3 ve M3 araç sınıfı için tasarlanan yükseklik ayarlı emniyet kemeri ve omuz ayarına sahip sürücü koltuğu %100 oranında kuvvete maruz bırakılarak ECE-R14 testi simüle edilmiştir.

%100 oranındaki alt piston kuvveti (Çizelge 3.4.)'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

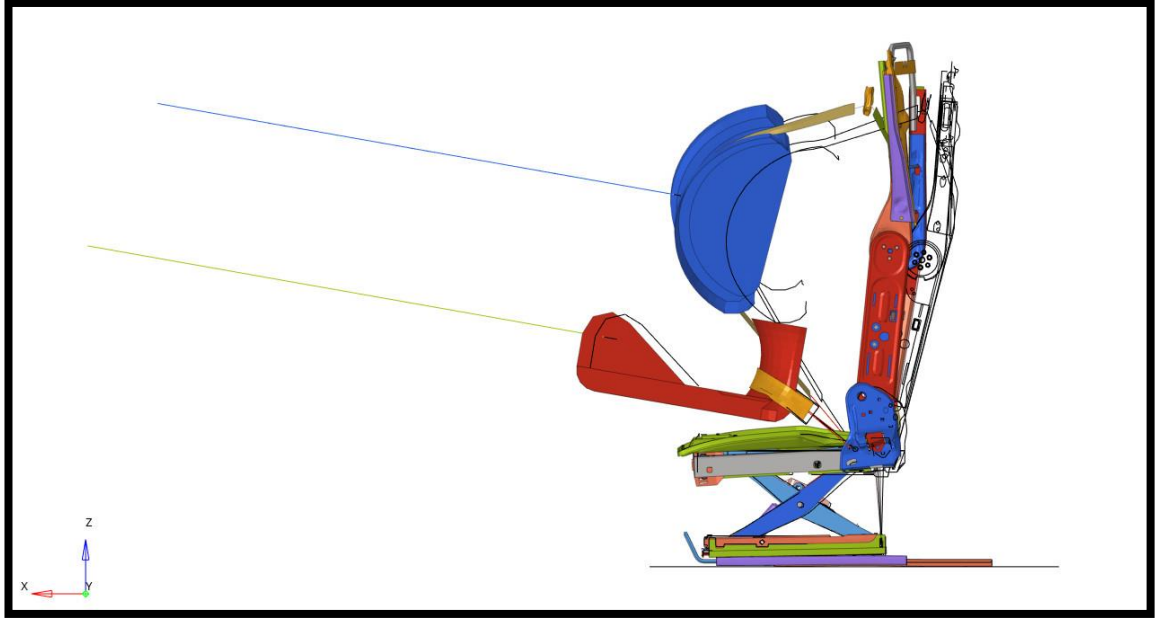
$$\begin{aligned}\text{Alt Piston Kuvveti (N)} &= 4\,500 + 6,6 \times \text{koltuk kütlesi (kg)} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 4\,500 + 6,6 \times 43 \times 9,81 = 7\,284,078 \text{ N'dur.}\end{aligned}$$

Alt piston kuvveti analizde 7 300 N olarak kabul edilmiştir.

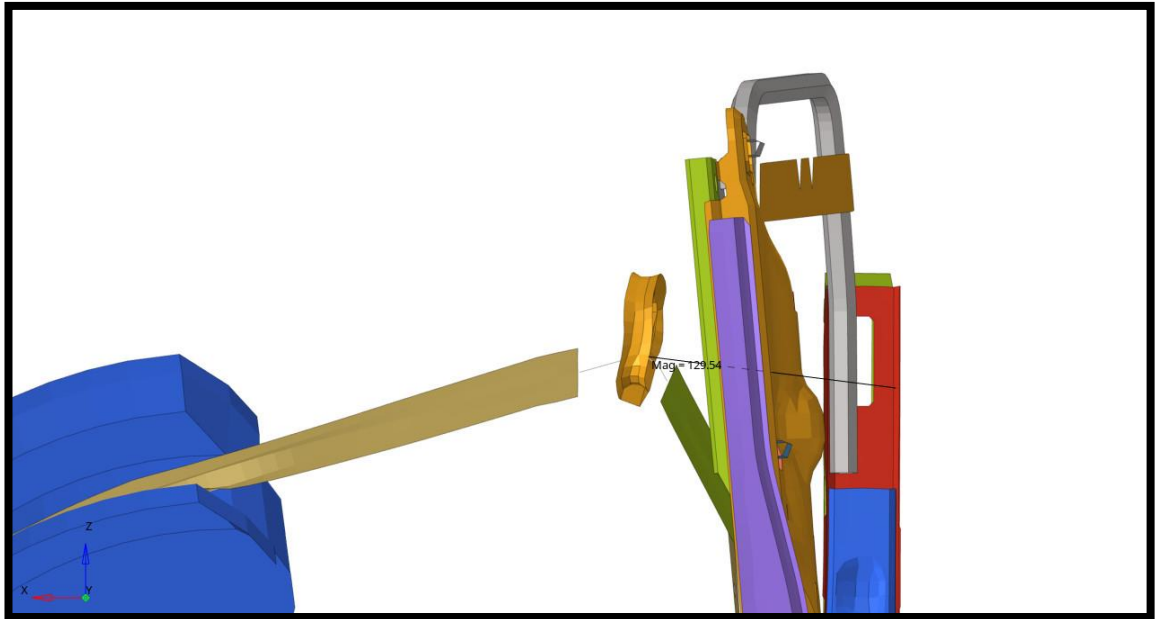
Üst piston kuvveti (Çizelge 3.5.)'de belirtilen kuvvet değeri olan 4 500 N olarak alınmıştır.



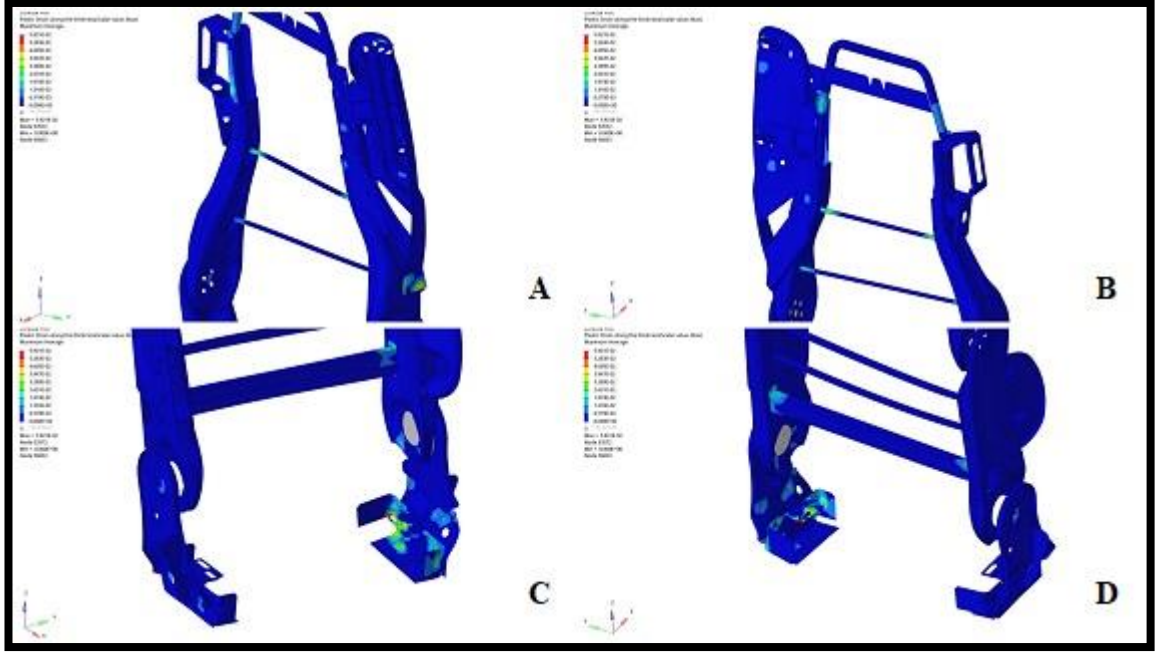
Şekil 4.11. Konsept-2'e ait mesh'lenmiş model görüntüsü



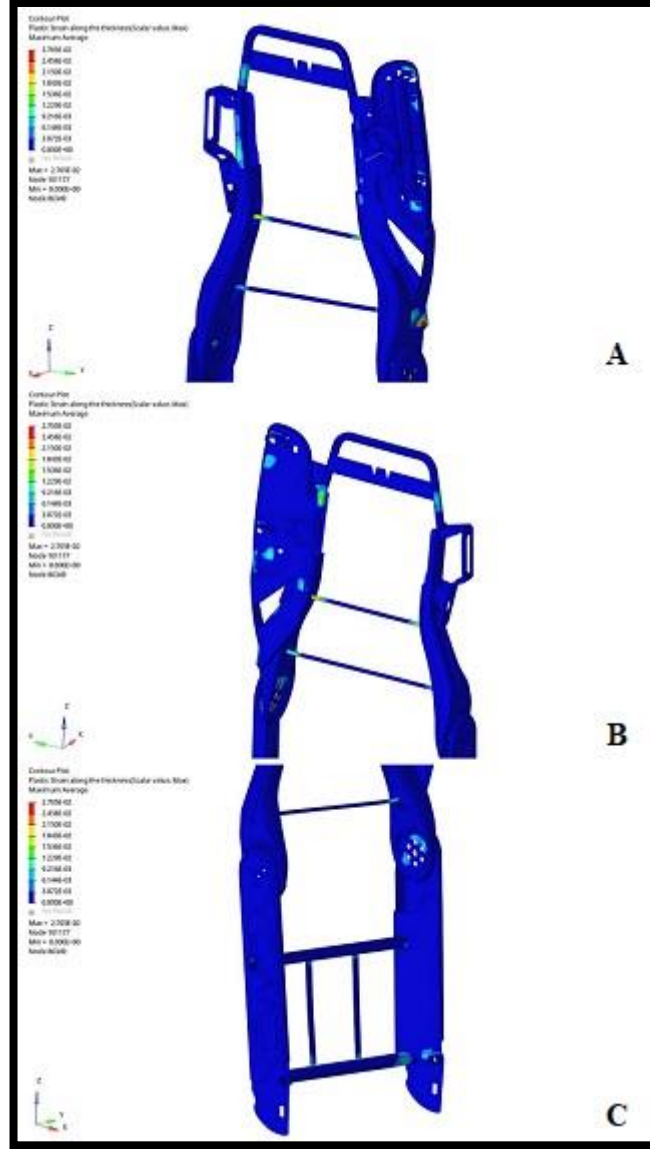
Şekil 4.12. Konsept-2'e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü



Şekil 4.13. Konsept-2'e ait %100 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü



Şekil 4.14. Konsept-2'in %100 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) **A)** İzometrik görünüş **B)** Sol görünüş **C)** Sağ görünüş **D)** Arka görünüş **E)** Oturak taşıyıcı ön detay görünüş **F)** Oturak taşıyıcı arka detay görünüş **G)** Arkalık iskeleti izometrik görünüş **H)** Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş **I)** Omuz ayar mekanizması detay görünüş



Şekil 4.15. Konsept-2'in %100 analizine ait % strain dağılımları **A)** Emniyet kemer sacı ön detay görünüş **B)** Emniyet kemer sacı arka detay görünüş **C)** Omuz ayar detay görüntüsü

4.2.2. %100 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Arkalık deplasmanı 129,5 mm gelmiştir. İstenen kriterler içerisinde. Model de oluşan Max Stress: 491 MPa. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir. Arkalık ta oluşan Max % Strain: %2,7. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir.

4.2.3. %120 Analiz sonuçları

Koltuk ağırlığının 43 kg olarak alındığı ikinci analizde N3 ve M3 araç sınıfı için tasarlanan yükseklik ayarlı emniyet kemeri ve omuz ayarına sahip sürücü koltuğu %120 oranında kuvvete maruz bırakılarak ECE-R14 testi simüle edilmiştir. %120 oranındaki alt piston kuvvetini hesaplamak için (Çizelge 3.4.) 1,2 ile çarpılmıştır.

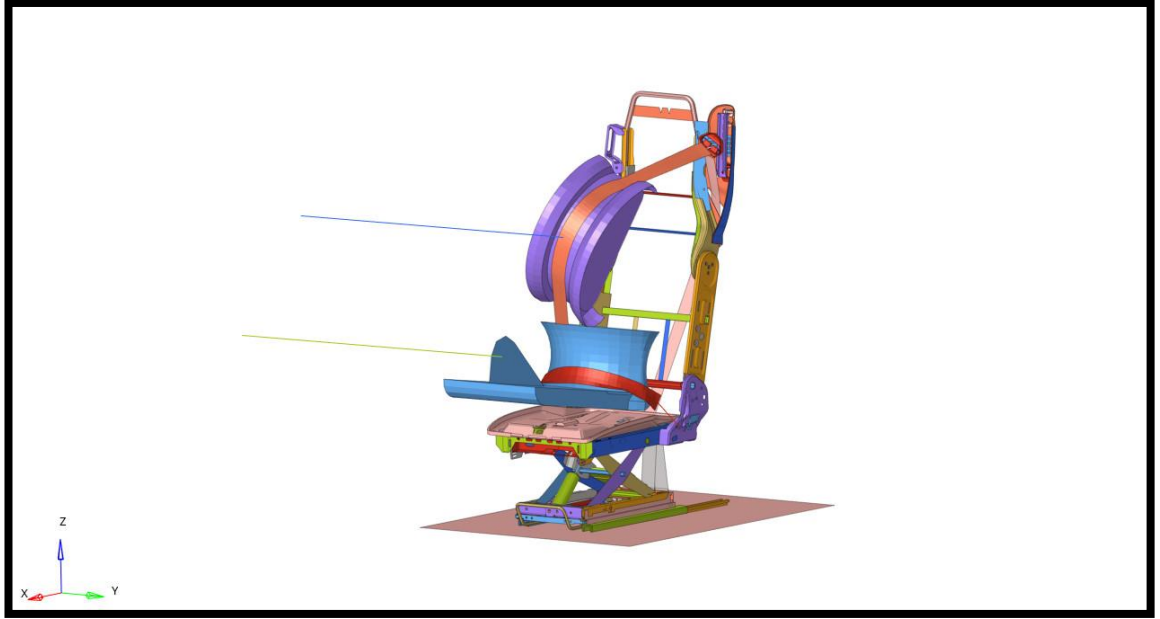
$$\begin{aligned}\text{Alt Piston Kuvveti (N)} &= 4\,500 + 6,6 \times \text{koltuk kütlesi (kg)} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,2 \\ &= 4\,500 + 6,6 \times 43 \times 9,81 \times 1,2 = 8\,740,9 \text{ N'dur.}\end{aligned}$$

Alt piston kuvveti analizde 8 760 N olarak kabul edilmiştir.

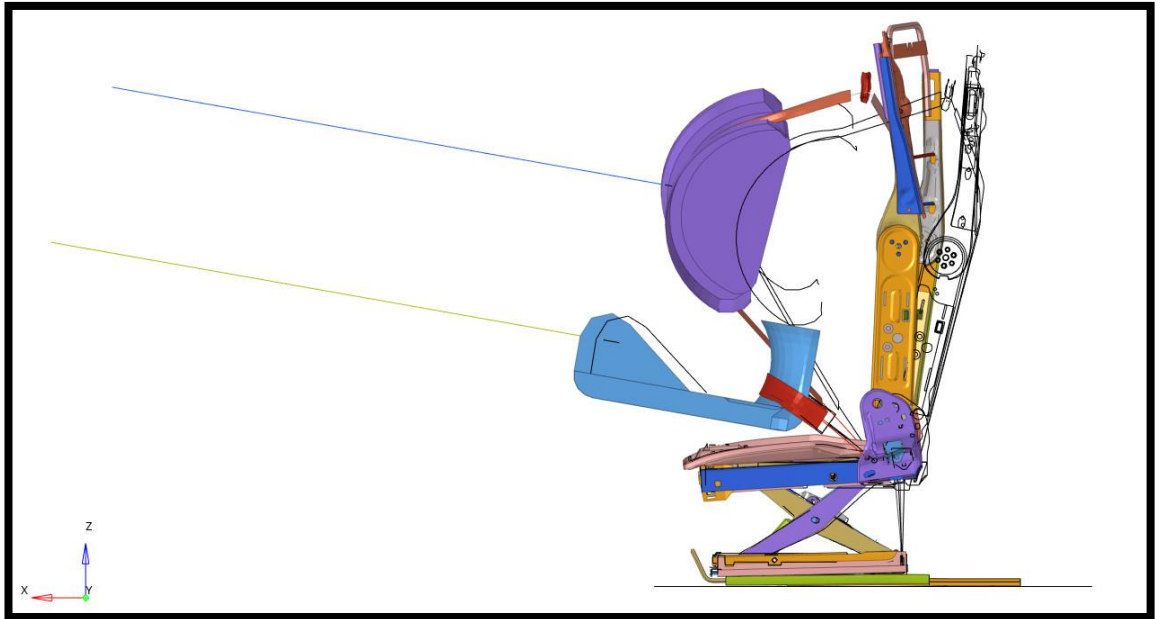
Üst piston kuvvetini hesaplamak için (Çizelge 3.5.)'de belirtilen kuvvet değeri 1,2 ile çarpılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Üst Piston Kuvveti (N)} &= 4\,500 \times 1,2 \\ &= 5\,400 \text{ N}\end{aligned}$$

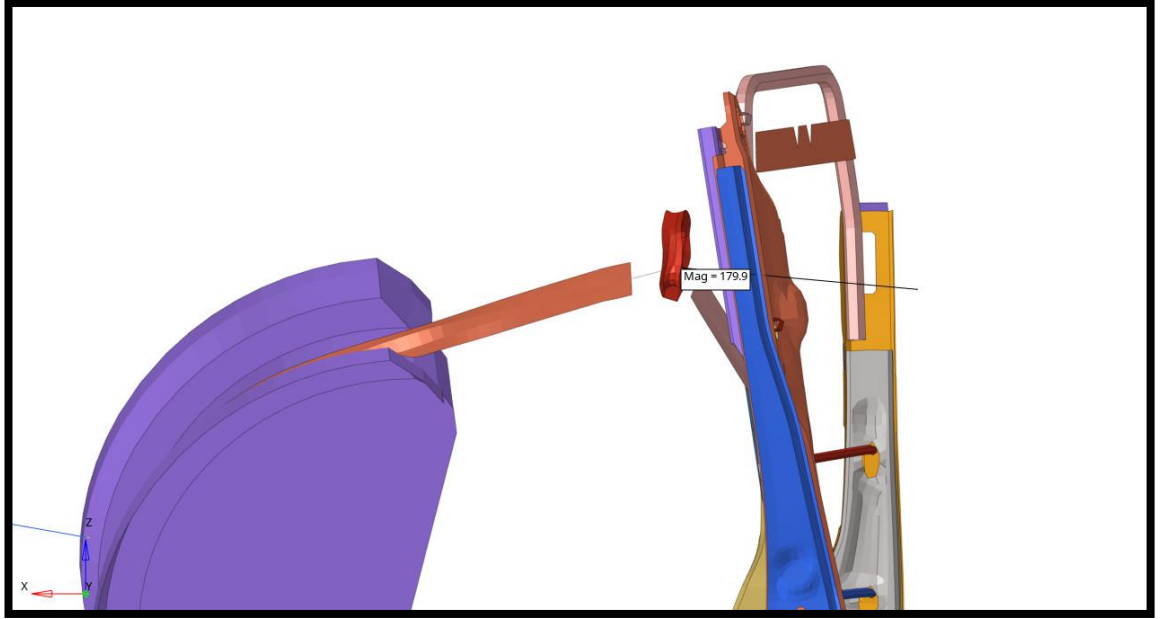
Analizde 5 400 N olarak kabul edilmiştir.



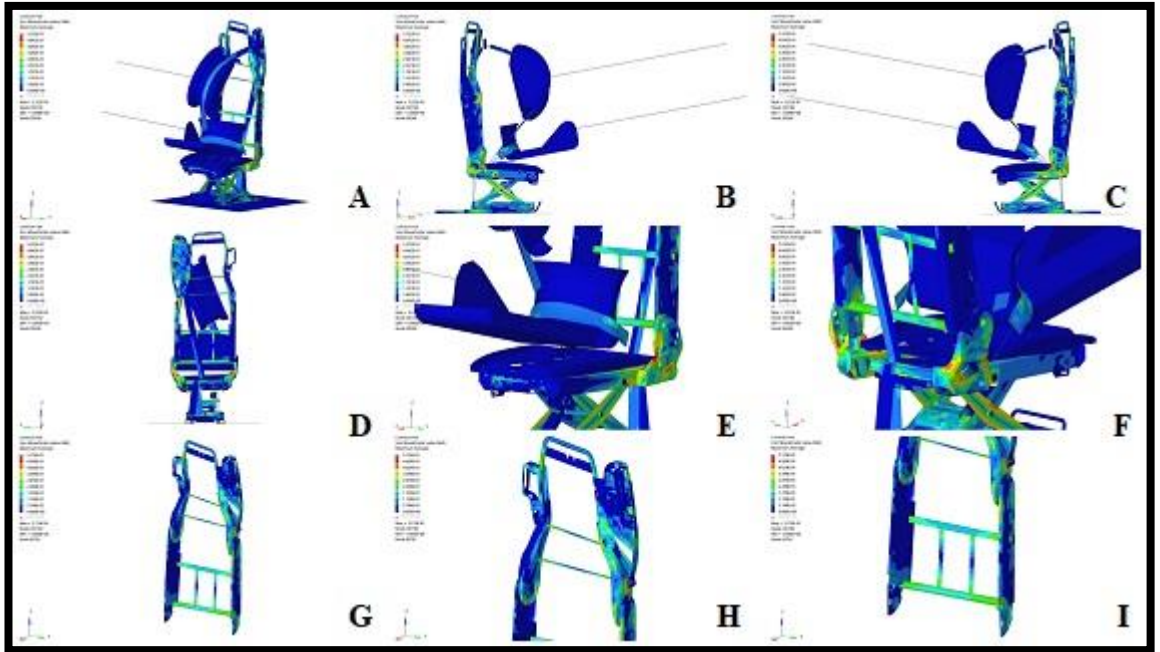
Şekil 4.16. Konsept-2'e ait mesh'lenmiş model görüntüsü



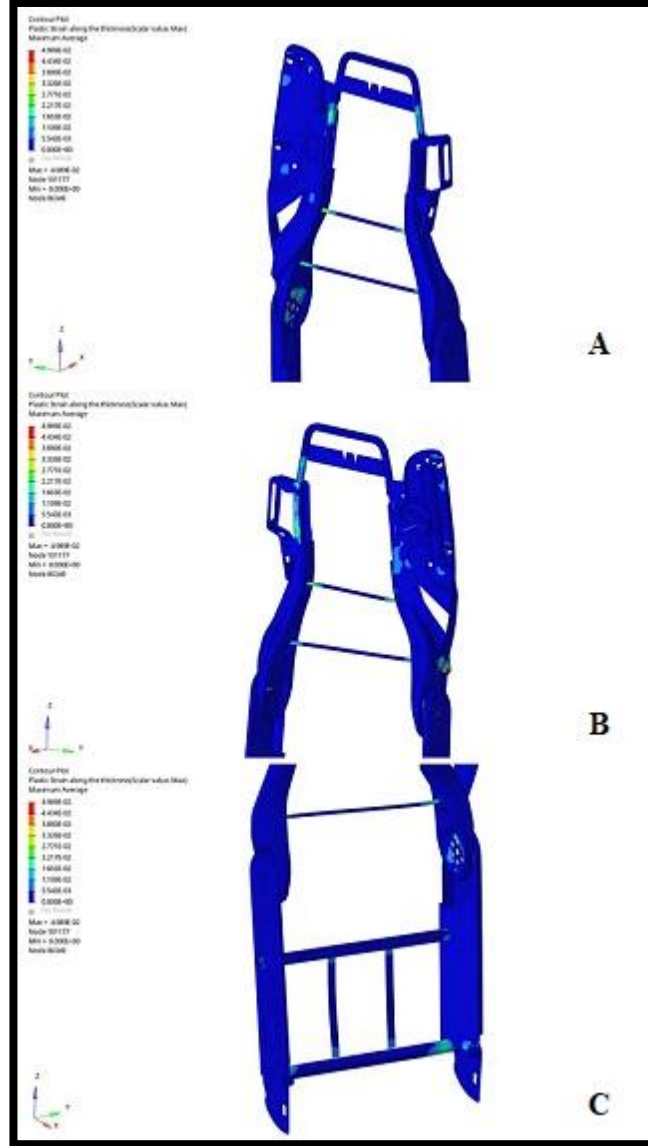
Şekil 4.17. Konsept-2'e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu genel deplasman görüntüsü



Şekil 4.18. Konsept-2'e ait %120 ECE-R14 analiz sonucu arkalık deplasman görüntüsü



Şekil 4.19. Konsept-2'in %120 analizine ait stress dağılımları (von mises/GPa) **A)** İzometrik görünüş **B)** Sağ görünüş **C)** Sol görünüş **D)** Arka görünüş **E)** Oturak taşıyıcı ön detay görünüş **F)** Oturak taşıyıcı arka detay görünüş **G)** Arkalık iskeleti izometrik görünüş **H)** Emniyet kemeri yükseklik ayarı detay görünüş **I)** Omuz ayar mekanizması detay görünüş



Şekil 4.20. Konsept-2'in %120 analizine ait % strain dağılımları **A)** Emniyet kemer sacı ön detay görünüş **B)** Emniyet kemer sacı arka detay görünüş **C)** Omuz ayar detay görünüş

4.2.4. %120 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Arkalık deplasmanı 180 mm gelmiştir. İstenen kriterler içerisindeydir. Model de oluşan Max Stress: 522 MPa. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir. Arkalık ta oluşan Max % Strain: %4,9. Komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir.

4.3. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Yapılan dört analiz sonuçlarına bakıldığında aşağıdaki tablo ortaya çıkmaktadır. (Çizelge 4.1.)'e bakıldığında %100 ECE-R14 analiz sonuçlarında Konsept-1 avantajlı durumda olurken, %120 ECE-R14 analiz sonuçlarında Konsept-2 avantajlı olmuştur. Bu durumda maliyet analizi hangi konseptin seçileceğinde önemli rol oynayacaktır.

Çizelge 4.1. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Konsept	% ECE-R14	Üst Piston Kuvveti (N)	Alt Piston Kuvveti (N)	Maksimum Stress (Mpa)	Maksimum % Strain	Arkalık Deplasmanı (mm)
1	100	4 500	7 300	482	2,6	127,3
1	120	5 400	8 760	524	5,9	187,2
2	100	4 500	7 300	491	2,7	129,5
2	120	5 400	8 760	522	4,9	180

4.4. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait maliyet analizi

Yapılan analiz sonuçları ile birlikte nihai ürüne karar verebilmek için Konsept-1 ve Konsept-2 için maliyet analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde (Çizelge 4.2.)'de görüneceği gibi Konsept-2 için kesme kalıbı öngörülmeleyen durumda 100 birim toplam proje maliyeti hesaplanmıştır. Konsept-2 için kesme kalıbı öngörüldüğünde pres kalıbı maliyetlerinin artışı ile birlikte toplam proje maliyeti 115,6 birime çıkmıştır. Konsept-1'e ait kesme kalıbı olmaksızın toplam proje maliyeti 151,7 birim olurken, kesme kalıbı ile birlikte maliyet hesabı yapıldığında en yüksek toplam proje maliyeti olan 176,9 birimi görmekteyiz. Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait toplam proje maliyetleri karşılaştırıldığında Konsept-1'in Konsept-2'den %50'den fazla toplam proje maliyeti olduğu görülmektedir.

ECE-R14 analiz sonuçları yakın çıkan Konsept-1 ve Konsept-2'ye ait maliyet analizinde en düşük toplam maliyet kesme kalıpsız Konsept-2 tasarımına aittir. Belirleyici olan maliyet analizi sonuçlarına göre Konsept-2 üretilmeye karar verilmiştir.

Çizelge 4.2. Maliyet analizi

Konsept	Kesme Kalıbı	Pres Yatırımları	Sünger Yatırımları	Test Yatırımları	İE Yatırımları	Test Aparatı Yatırımları	Lojistik Yatırımları	İşgücü Maliyeti	Toplam Proje Maliyeti
1	Var	88,5	5	16,3	7,4	2	2	55,7	176,9
1	Yok	66	5	16,3	7,4	2	2	52,9	151,7
2	Var	26,6	5	16,9	7,4	2	2	55,7	115,6
2	Yok	13,7	5	16,9	7,4	2	2	52,9	100

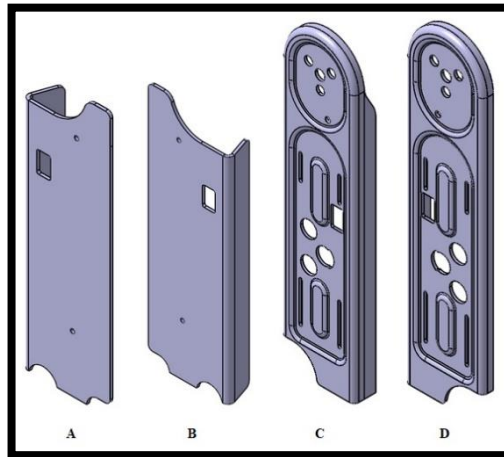
4.5. Konsept-2'ye ait ağırlık azaltma çalışmasına ait analiz sonuçları

ECE-R14 analizleri maliyet analizi sonucunda üretimine karar verilen Konsept-2 tasarımında ağırlık azaltma çalışması yapılmıştır. Bu bağlamda dört çalışmada sac kalınlıkları ve geometrilerinde değişiklik yapılarak %120 ECE-R14 analizleri tekrar edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar gözlemlenmiştir.

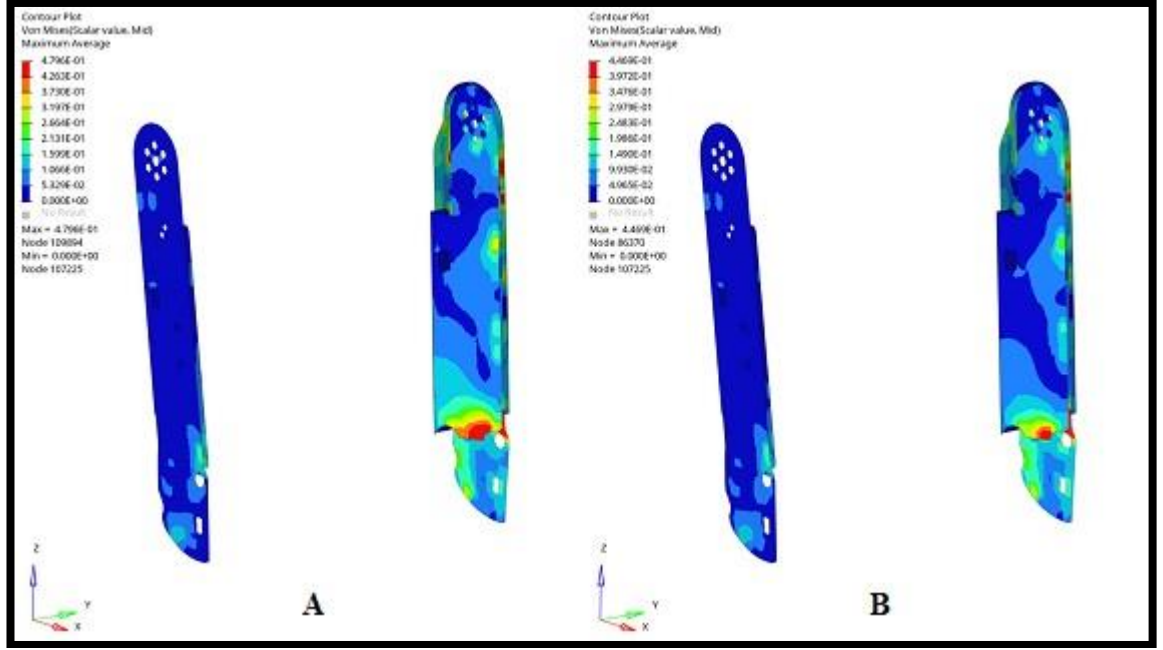
4.5.1. 1'nci çalışma

Konsept-2 arkalık iskeletindeki alt iç ve dış saclarda kalınlık değişimi yapılmıştır.

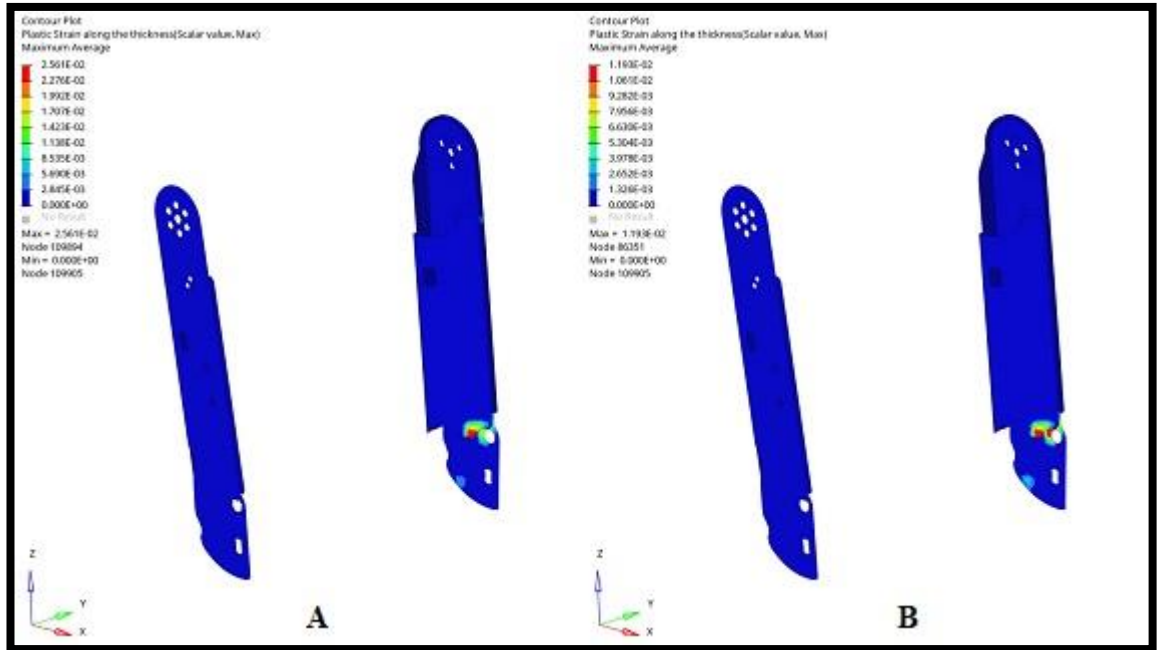
Alt iç sol, alt iç sağ, alt dış sol ve alt dış sağ saclarının kalınlığı 3 mm'den 2 mm'ye düşürülmüştür. Bu değişiklikle arkalık iskeletinde ve dolayısıyla koltuk ağırlığında 1,15 kg ağırlık azaltılmıştır. Bu da ağırlığı 43 kg olan koltuğu %2,7 lik bir azalma ile 41,85 kg'a düşürmüştür.



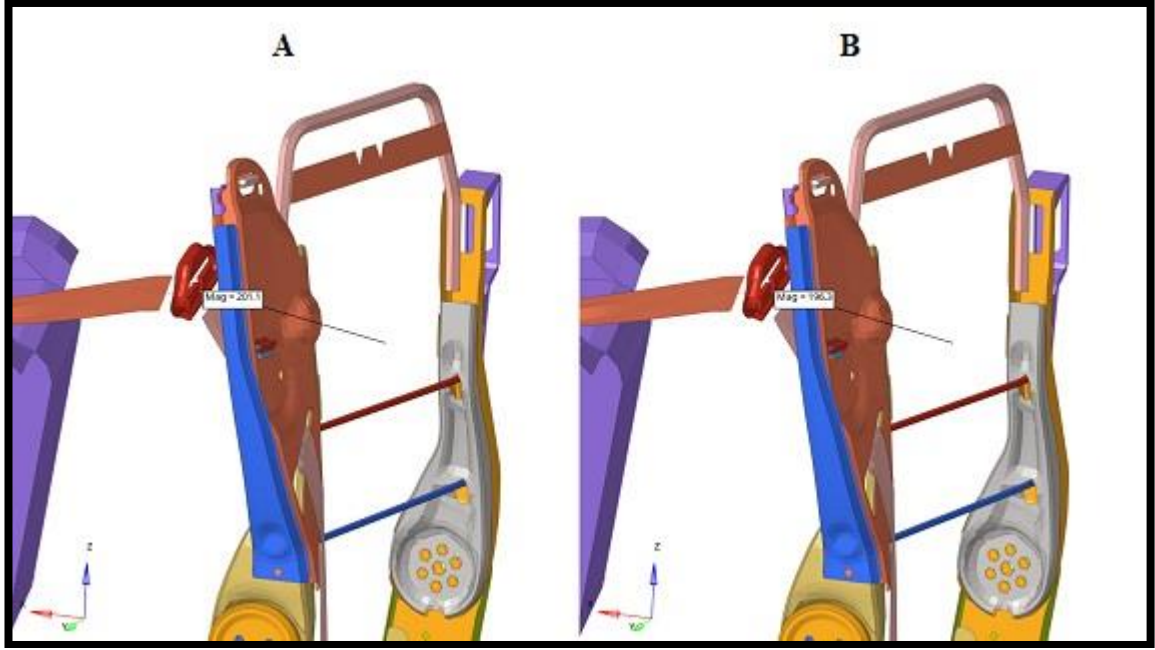
Şekil 4.21. Sac kalınlığı değiştirilen arkalık iskeletine ait saclar **A)** Alt iç sol **B)** Alt iç sağ **C)** Alt dış sol **D)** Alt dış sağ



Şekil 4.22. Stress dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) Normal model



Şekil 4.23. % Strain dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) Normal model



Şekil 4.24. Arkalık deplasmanı karşılaştırması **A)** 1'nci çalışma modeli **B)** Normal model

4.5.2. 1'nci çalışma değerlendirmesi

Normal modelde oluşan maksimum stress 4,469 GPa olarak gözlemlenirken, kalınlığı azaltılmış modelde 4,796 GPa olarak gözlemlenmiştir. %7,3'lük bir artış söz konusu olmuştur.

Normal modelde oluşan maksimum % strain dağılımı %1,193 olarak gözlemlenirken, kalınlığı azaltılmış modelde %2,561 olarak gözlemlenmiştir. %2,146'lık bir artış söz konusu olmuştur.

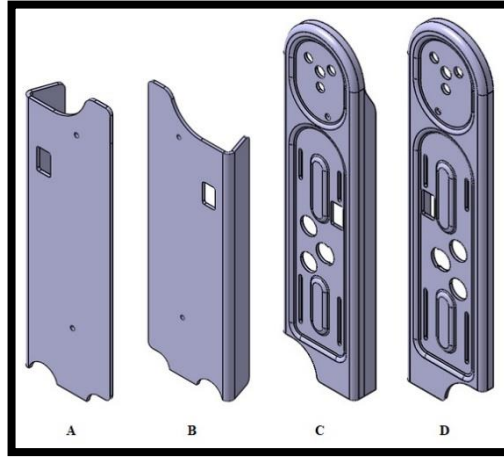
Normal modelde oluşan maksimum arkalık deplasmanı 196,3 mm olarak gözlemlenirken, kalınlığı azaltılmış modelde 201,1 olarak gözlemlenmiştir. %2,4'lük bir artış söz konusu olmuştur.

Tüm bu artışlara rağmen elde edilen değerler referans değerler içerisinde olduğundan komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir.

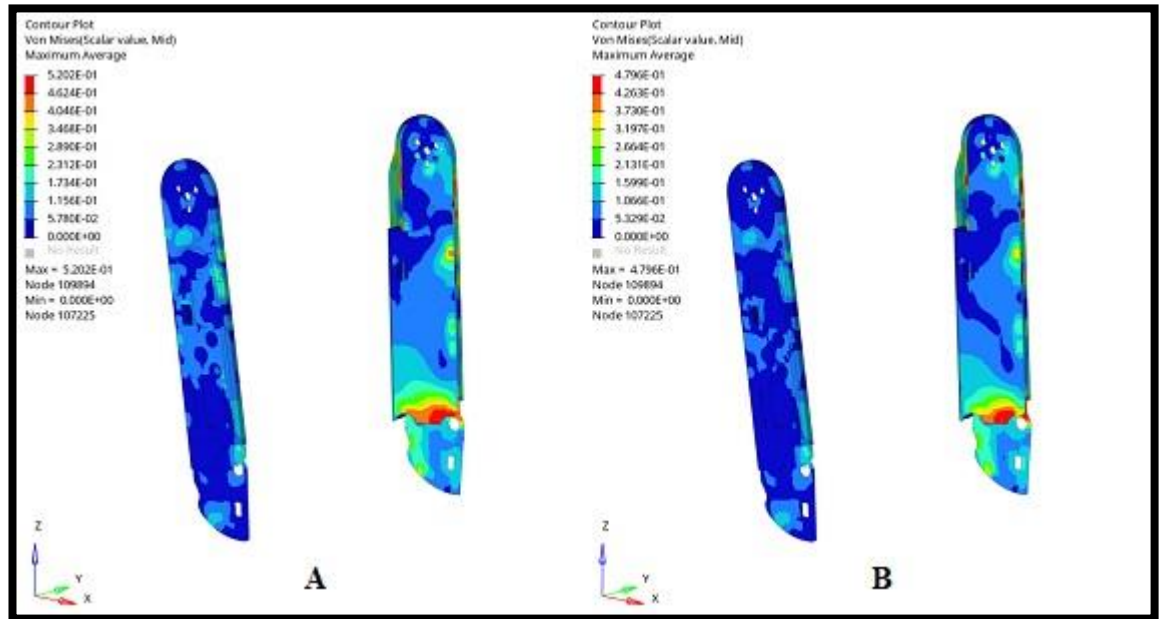
4.5.3. 2'nci çalışma

Konsept-2 arkalık iskeletindeki alt iç ve dış saclarda kalınlık değişimi yapılmıştır.

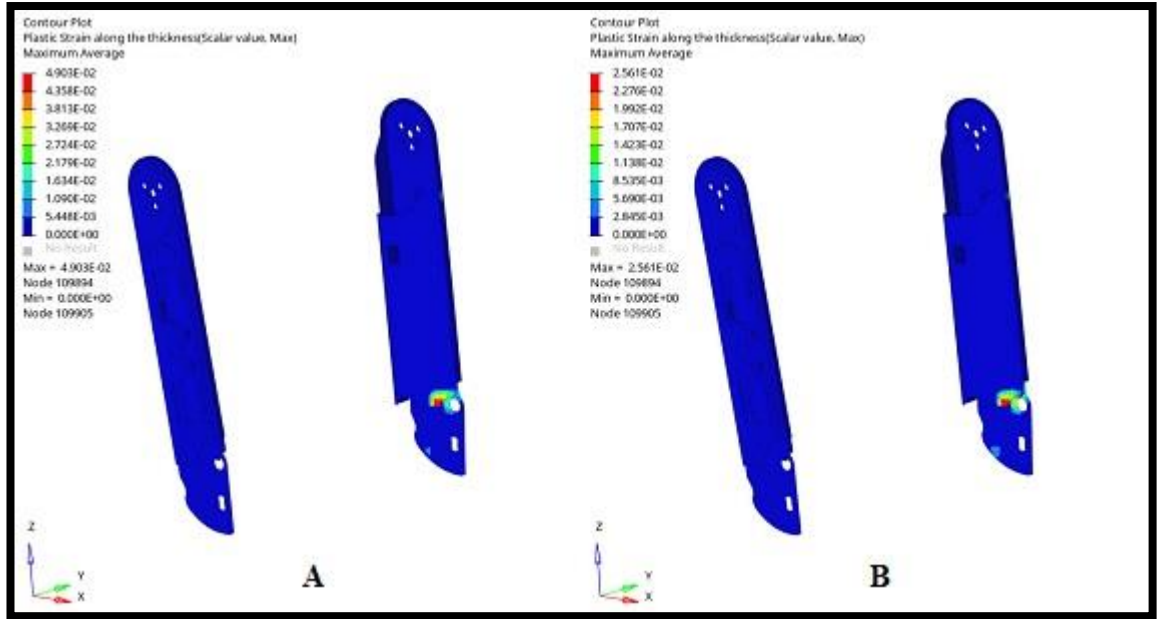
Alt iç sol, alt iç sağ, alt dış sol ve alt dış sağ saclarının kalınlığı 3 mm'den 1,5 mm'ye dışürülmüştür. Bu değişiklikle arkalık iskeletinde ve dolayısıyla koltuk ağırlığında 1,73 kg ağırlık azaltılmıştır. Bu da ağırlığı 43 kg olan koltuğu %4 lük bir azalma ile 41,27 kg'a dışürmüştür.



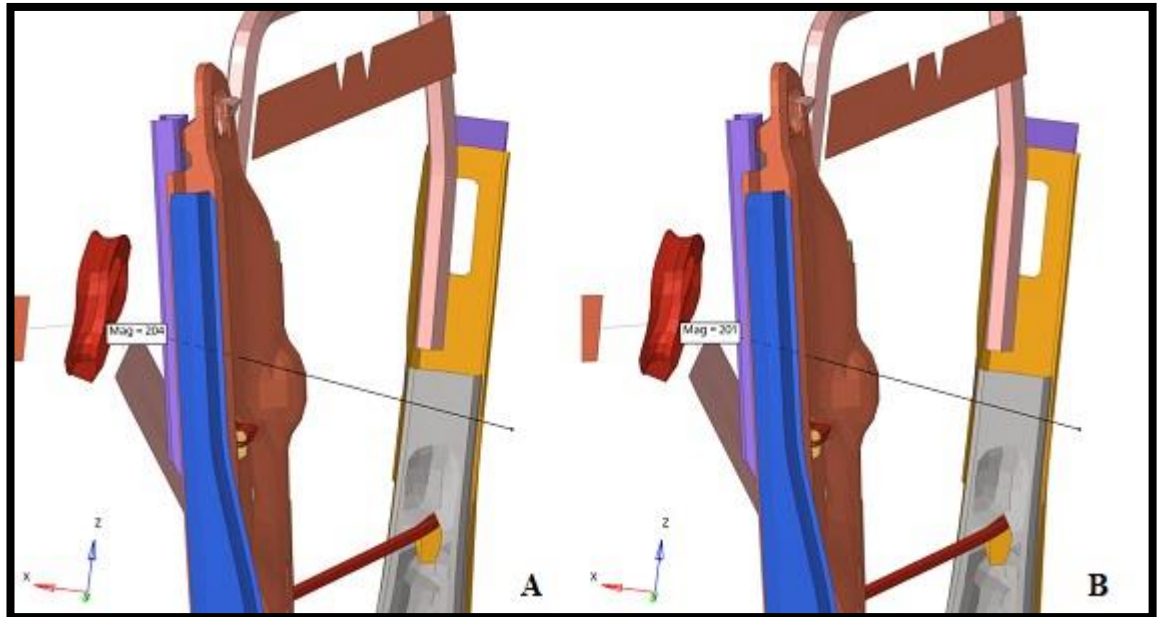
şekil 4.25. Sac kalınlığı değiştirilen arkalık iskeletine ait saclar **A)** Alt iç sol **B)** Alt iç sağ **C)** Alt dış sol **D)** Alt dış sağ



şekil 4.26. Stress dağılımı karşılaştırması **A)** 1'nci çalışma modeli **B)** 2'nci çalışma modeli



Şekil 4.27. % Strain dağılımı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) 2'nci çalışma modeli



Şekil 4.28. Arkalık deplasmanı karşılaştırması A) 1'nci çalışma modeli B) 2'nci çalışma modeli

4.5.4. 2'nci çalışma değerlendirmesi

1'nci çalışmaya modelde oluşan maksimum stress 4,796 GPa olarak gözlemlenirken, 2'nci çalışmaya ait modelde 5,202 GPa olarak gözlemlenmiştir. %8,5'lik bir artış söz konusu olmuştur. Normal model ile karşılaştırıldığında ise %16,4'lk bir artış söz konusudur.

1'nci çalışmaya ait modelde oluşan maksimum % strain dağılımı %2,561 olarak gözlemlenirken, 2'nci çalışmaya ait modelde %4,903 olarak gözlemlenmiştir. %2,342'lik bir artış söz konusu olmuştur. Normal model ile karşılaştırıldığında %3,71'lik bir artış söz konusudur.

1'nci çalışmaya ait modelde oluşan maksimum arkalık deplasmanı 201,1 mm olarak gözlemlenirken, 2'nci çalışmaya ait modelde 204 mm olarak gözlemlenmiştir. %1,4'lk bir artış söz konusu olmuştur. Normal model ile karşılaştırıldığında ise % 3,9'luk bir artış söz konusudur.

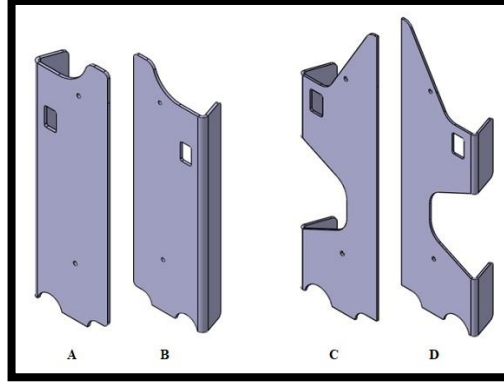
Tüm bu artışlara rağmen elde edilen değerler referans değerler içerisinde olduğundan komponent bazlı herhangi bir sorun görülmemiştir.

4.5.5. 3'nc çalışma

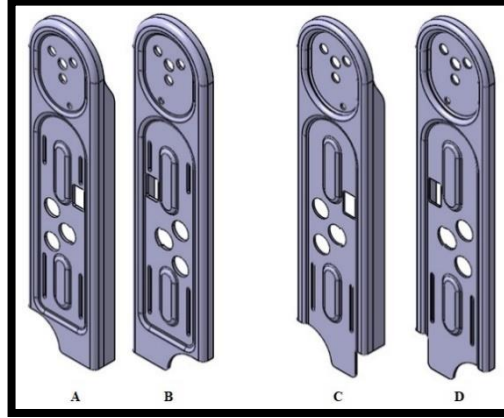
Konsept-2 arkalık iskeletindeki alt i ve alt dış saclarında kalınlık değişimi ile birlikte tasarım değişimi yapılmıştır. Dışli sacın tasarımında da değişikliğe gidilmiştir.

Alt i sol, alt i sağ, alt dış sol ve alt dış sağ saclarının kalınlığı 3 mm'den 2 mm'ye düşürülmüş, ilave boşaltmalar yapılmıştır. Dışli sacın kalınlığı 4 mm olarak sabit tutulmuş, tasarımı değiştirilmiştir.

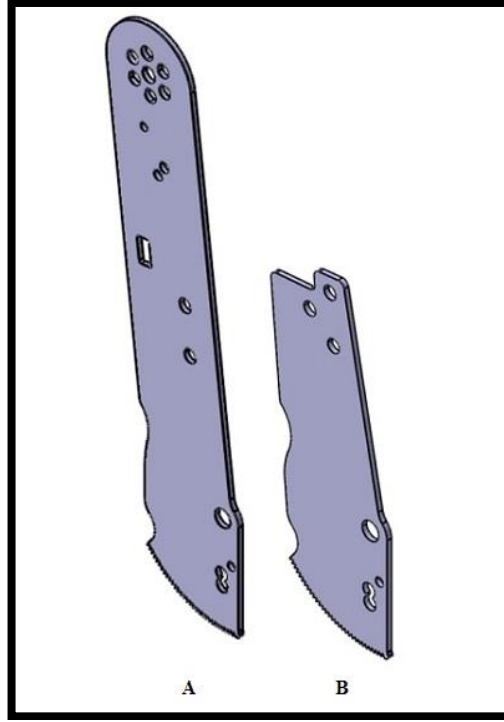
Bu değişiklikle arkalık iskeletinde ve dolayısıyla koltuk ağırlığında 2,88 kg ağırlık azaltılmıştır. Bu da ağırlığı 43 kg olan koltuğu %6,7 lik bir azalma ile 40,12 kg'a dşrmştir.



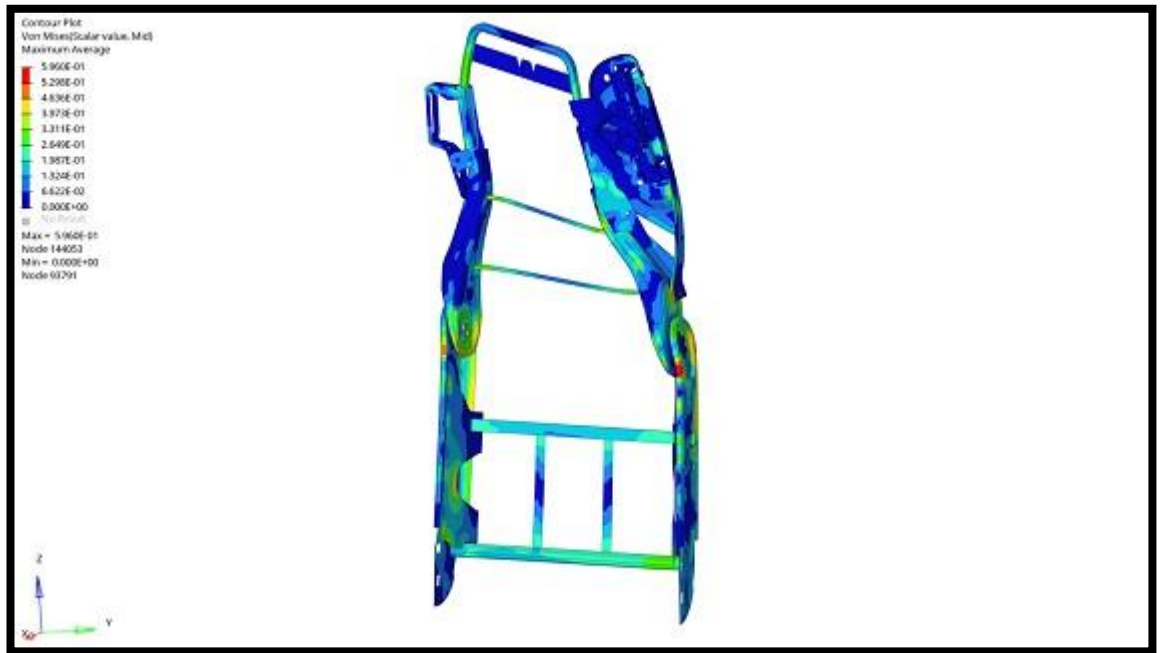
Şekil 4.29. Alt iç sacların geometrik karşılaştırması **A)** Normal model sol **B)** Normal model sağ **C)** 3'ncü çalışma modeli sol **D)** 3'ncü çalışma modeli sağ



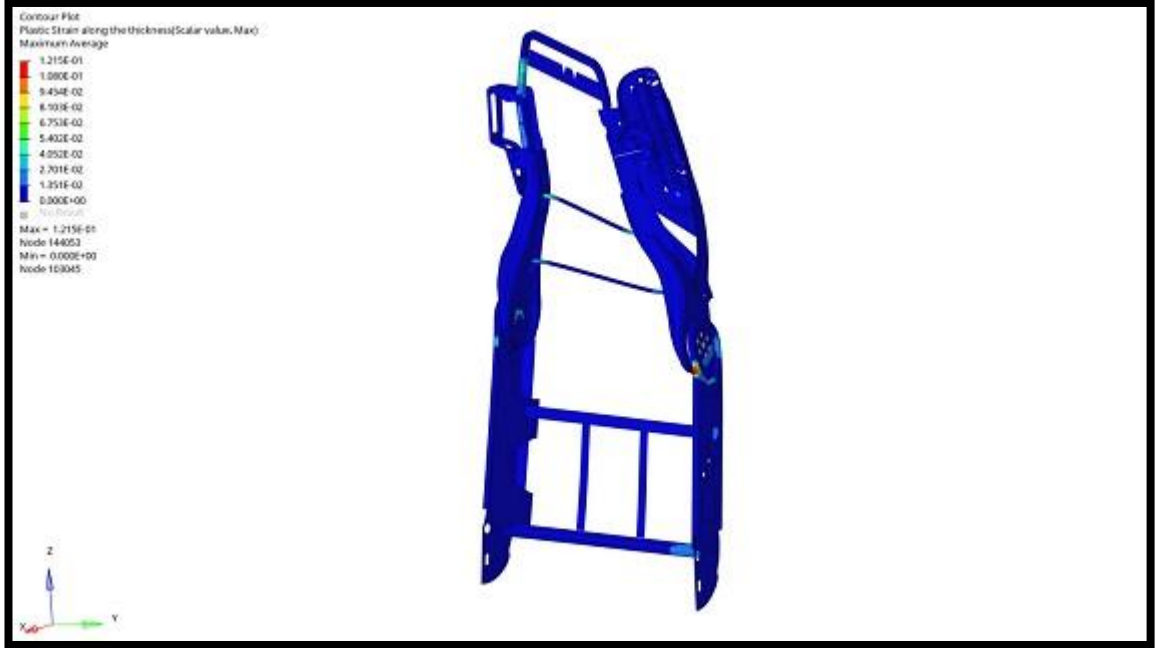
Şekil 4.30. Alt dış sacların geometrik karşılaştırması **A)** Normal model sol **B)** Normal model sağ **C)** 3'ncü çalışma modeli sol **D)** 3'ncü çalışma modeli sağ



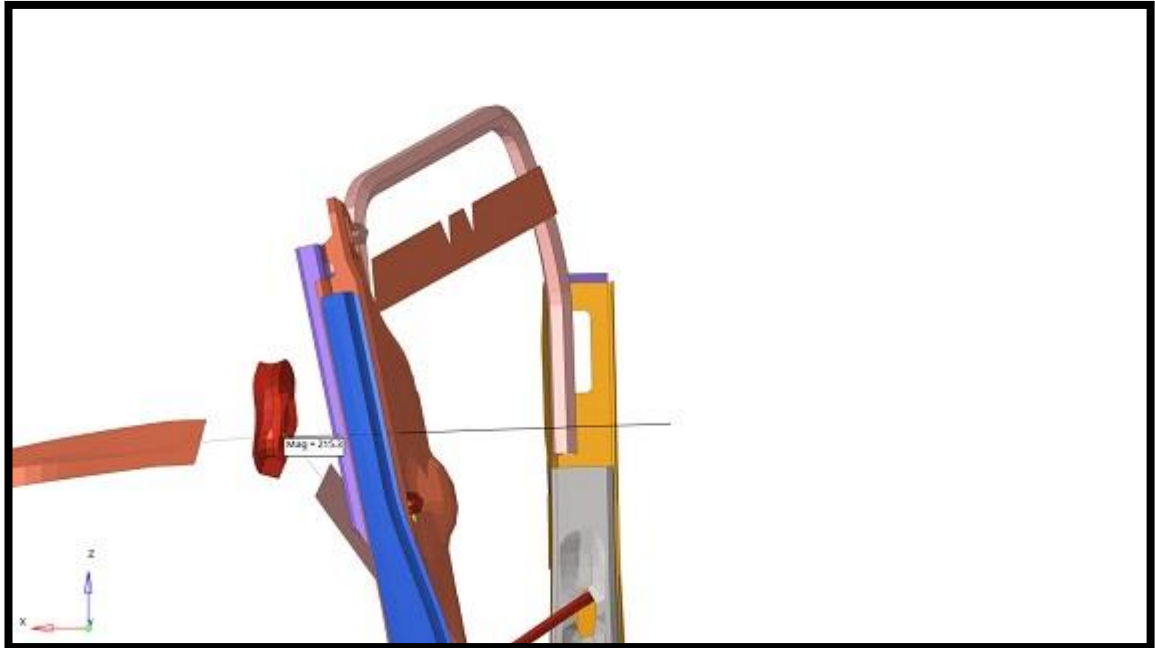
Şekil 4.31. Dişli sacların geometrik karşılaştırması **A)** Normal model **B)** 3'ncü çalışma modeli



Şekil 4.32. 3'ncü çalışma modelinin stress dağılımı



Şekil 4.33. 3'ncü çalışma modelinin % strain dağılımı



Şekil 4.34. 3'ncü çalışma modelinin arkalık deplasmanı

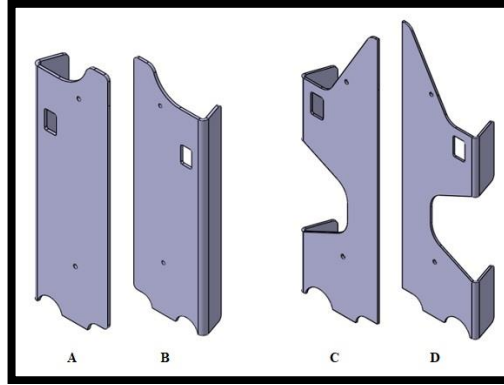
4.5.6. 3'ncü çalışma değerlendirmesi

3'ncü çalışmaya ait modelde oluşan maksimum stress 5,96 GPa olarak gözlemlenmiş, komponent bazlı herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir. Oluşan maksimum % strain ise %46 olarak gözlemlenmiş, esnemenin alt kısmında kopma mevcuttur. Arkalıkta oluşan maksimum deplasman 215,3 mm dir. Oluşan kopmadan dolayı yapılan tasarım değişikliği başarısız olmuştur. ECE-R14 testinden geçemeyeceği öngörülmüştür.

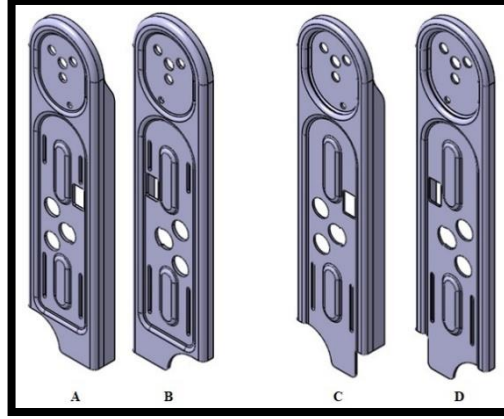
4.5.7. 4'ncü çalışma

Konsept-2 arkalık iskeletindeki alt iç ve dış saclarda kalınlık değişimi ile birlikte tasarım değişimi yapılmıştır. Dişli sacın tasarımında da değişikliğe gidilmiştir. 3. çalışmadaki gözlemlenen kopmadan dolayı alt iç sol, alt iç sağ, alt dış sol ve alt dış sağ saclarının kalınlığı 2 mm'den 2,5 mm'ye arttırılmıştır.

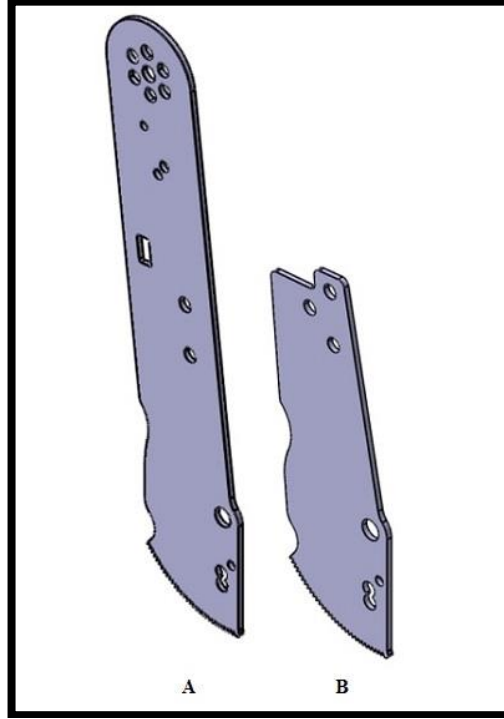
Bu değişiklikle arkalık iskeletinde ve dolayısıyla koltuk ağırlığında 2,19 kg ağırlık azaltılmıştır. Bu da ağırlığı 43 kg olan koltuğu %5,1 lik bir azalma ile 40,81 kg'a düşürmüştür.



Şekil 4.35. Alt iç sacların geometrik karşılaştırması **A)** Normal model sol **B)** Normal model sağ **C)** 4'ncü çalışma modeli sol **D)** 4'ncü çalışma modeli sağ



Şekil 4.36. Alt dış sacların geometrik karşılaştırması **A)** Normal model sol **B)** Normal model sağ **C)** 4'ncü çalışma modeli sol **D)** 4'ncü çalışma modeli sağ



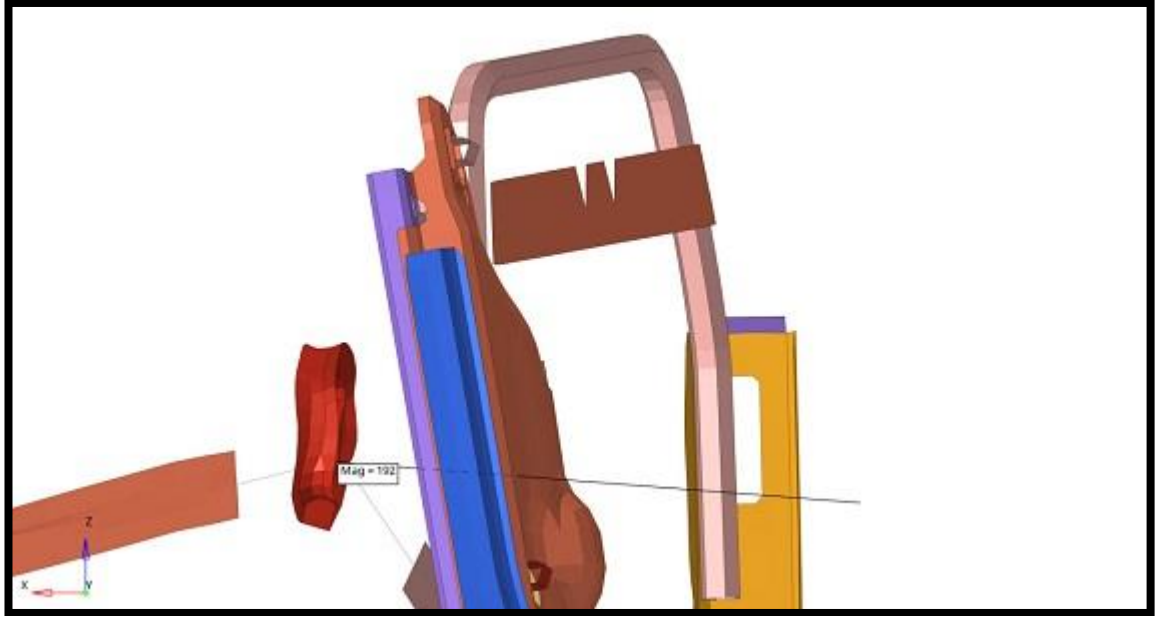
Şekil 4.37. Dişli sacların geometrik karşılaştırması **A)** Normal model **B)** 4'ncü çalışma modeli



Şekil 4.38. 4'ncü çalışma modelinin stress dağılımı



Şekil 4.39. 4'ncü çalışma modelinin % strain dağılımı



Şekil 4.40. 4'ncü çalışma modelinin arkalık deplasmanı

4.5.8. 4'ncü çalışma değerlendirmesi

4'ncü çalışmaya ait modelde oluşan maksimum stress 5,15 GPa olarak gözlemlenmiş, komponent bazlı herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir. Oluşan maksimum % strain ise %12,7 olarak gözlemlenmiştir. Arkalıkta oluşan maksimum deplasman 192 mm dir. 3'ncü çalışmaya ek olarak yapılan kalınlık artırımı olumlu yönde sonuç vermiş ve bu çalışmaya ait modelin ECE-R14 testini geçebileceği öngörülmüştür.

4.6. Konsept-2'ye ait ağırlık azaltma çalışmalarının karşılaştırılması

Yapılan dört farklı ağırlık azaltma çalışması incelendiğinde analizden geçen ve ağırlık olarak en fazla kazanım elde edilen çalışma 4. çalışma olmuştur.

Çizelge 4.3. Konsept-2'ye ait ağırlık azaltma çalışmalarının karşılaştırılması

Çalışma	Normal Koltuk Ağırlığı (kg)	Ağırlık Kazanımı (kg)	Ağırlık Kazanımından Sonraki Koltuk Ağırlığı (kg)	Maksimum Stress (Gpa)	Maksimum % Strain Dağılımı (%)	Maksimum Arkalık Deplasmanı (mm)	Analiz Sonucu
1	43	1,15	41,85	4,796	2,561	201,1	Geçti
2	43	1,73	41,27	5,202	4,903	204	Geçti
3	43	2,88	40,12	5,96	46	215,3	Kaldı
4	43	2,19	40,81	5,15	12,7	192	Geçti

5. SONUÇ

Ticari araç sürücü koltuklarında omuz ayarı ve emniyet kemeri yükseklik ayarı opsiyonlarının tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi çalışması için iki adet konsept tasarım üzerinde bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli analiz ve maliyet analizi konularında çalışma yapılmıştır.

Sonlu elemanlar analizinde gerilme ve strain açısından iki konsept tasarım da olumlu sonuçlar verip herhangi bir olumsuzluk gözlenmedi. Bu bağlamda karşılaştırma yapılacak bir bulgu elde edilmemiştir.

Konsept-1 tasarımında Konsept-2'ye göre daha fazla formlu sac parça içeriyordu ve bu formlu sac parçaların büyük bir kısmı hali hazırda üretilen ve kalıpları olan parçalardı. Hali hazırda formlu parça kalıplarının olması yeni formlu parça kalıp maliyetinin düşük olması ön görülmüştür. Ancak Konsept-1 arkalık iskeleti tasarımda kullanılan oturak taşıyıcı bağlantısı ile uyumlu olmadığından yeni formlu parça sayısı Konsept-2'den fazla çıkmış ve pres kalıbı yatırımları öngörülenden fazla çıkmıştır. Dolayısıyla toplam proje yatırımlarına baktığımızda Konsept-2'ye ait kesme kalıpsız yatırımlar en düşük çıkmıştır ve bu tasarım seçilip çalışmalara bununla devam edilmiştir.

Tercih edilen Konsept-2'ye ait yeni arkalık iskeletinde ağırlık azaltma çalışmaları yapılmış ve bu kapsamda 4 çalışma yapılan sac kalınlıklarında ve parça geometrilerinde değişiklikler yapılmıştır. Oluşturulan yeni tasarımlar ile analizler tekrarlanmış ve üçüncü çalışmaya ait ağırlık azaltma değişiklikleri kabul edilmiştir. Bu sayede koltuk ağırlığı 43 kg'dan 40,81 kg'a indirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Carcone, S.M., Keir, J.K.** 2007. Effects of backrest design on biomechanics and comfort during seated work. *Applied Ergonomics*, 38, 755-764.
- Carrigan, W., Nuthi, P., Pande, C., Wijesundara, M.B.J., Chung, C.-S., Grindle, G.G., ... Cooper, R.A.** 2019. Design and operation verification of an automated pressure mapping and modulating seat cushion for pressure ulcer prevention. *Medical Engineering and Physics*, 69, 17-27.
- Deveci, Ö.O., Durmuş, A.** 2019. Otomobil Sürücü Koltuğu Kızak Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24, 633-642. doi:10.17482/uumfd.551791
- Doğan, O., Karpāt, F.** 2018. Crack detection for spur gears with asymmetric teeth based on the dynamic transmission error. *Mechanism and Machine Theory*, 133, 417-431. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2018.11.026
- Doğan, O., Yüce, C., Karpāt, F.** 2021. Effects of rim thickness and drive side pressure angle on gear tooth root stress and fatigue crack propagation life. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105260. doi:10.1016/j.engfailanal.2021.105260
- Erkul, S., Balcı, S.** 2020. Structural Strengthening of Second Row Passenger Seat Frame Developed For M1 Category Vehicles. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25, 1071-1082. doi:10.17482/uumfd.711022
- Grammer AG.** (t.y.). Roadtiger Luxury. Erişim adresi: <https://www.grammer.com/en/products-markets/commercial-vehicles/trucks/roadtiger/roadtiger-luxury.html>
- Karpāt, F., Yüce, C., Doğan, O.** 2019. Experimental measurement and numerical validation of single tooth stiffness for involute spur gears. *Measurement*, 150, 10704. doi:10.1016/j.measurement.2019.107043
- Prabhakar, M., Lakshminarayanan, N., Muhammed, K.A., Vishnu, M.K., Varghese, V.** 2021. Design of automobile car seat vibration analysis due to road excitation using CATIA. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6287-6291. doi:10.1016/j.matpr.2020.10.734
- Thanikaikarasan, S., Masthanvali, G., Velmurugan, V.** 2020. Modeling and analysis of car seat rubber bush using CATIA for reducing vibration in passenger engine vehicles. *Materials Today*. Çevrimiçi ön yayım. doi:10.1016/j.matpr.2020.11.841
- Yılmaz, T. G., Doğan, O., Karpāt, F.** 2019. A comparative numerical study of forged bi-metal gears: Bending strength and dynamic response. *Mechanism and Machine Theory*, 141, 117-135. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.07.007
- Yüce, C., Karpāt, F., Yavuz, N., Şendeniz, G., Aksoy, M.** 2013. Yolcu koltuğunda hafifletme üzerine bir çalışma.