

Statik ve Dinamik Yük Altındaki Çekme Alüminyum Profillerde Kesit Alan Tasarımının Mekanik Davranışa Etkisi

Abdulkadir Cengiz

Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
akcengiz@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.11.2016; Kabul Tarihi: 21.03.2017

Özet

Bu çalışmada aynı kesit alana ve dış ölçülere sahip farklı kesit geometrilerinde tasarlanmış alüminyum profil yapıların eğilme, burulma ve çarpışma enerjisi sönümlenme kabiliyetlerinin kıyaslanması ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu amaçla oluşturulan geometriler beş adet silindirik ve dört adet kare kesitli olarak iki gruba ayrılmıştır. Dış hat ölçüleri aynı olan geometriler, kesit alan miktarları aynı olacak şekilde değişken iç kesit tasarımlarına sahiptir. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak profil yapıların farklı tip yük altındaki mekanik davranışları incelenmiştir. Analiz sonuçları, Eğilme ve döndürme yükleri altındaki Maksimum von-mises gerilmeleri, rijitlik değerlerinin kıyaslanması, çarpışma testlerinde ise Maksimum ve ortalama çarpışma kuvvetleri, Sönümlenen enerji ve Spesifik enerji sönümlenme oranlarının kıyaslanması olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada eğilme ve burulma yüklerinde yüksek performans gösteren profil yapıların aksel çarpışma yüklerinde daha düşük performans gösterebildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Tasarım; Çarpışma;
Çekme profil; SEA;
Dinamik yük.

The Effects of Cross-section Design on Mechanical Behavior of Extruded Aluminum Tubes under Static and Dynamic Loading

Abstract

In this paper, Mechanical behavior and performance of aluminum extruded tubes which have same cross-sectional area and length, have been investigated under bending and torsion static loading and dynamic axial loading. Nine Tube geometries have been classified in two groups, five are "Circular" and four are "Square". Each tube in the groups has same outer dimensions, lengths, cross sectional area and thickness with other one but has singular design of internal geometries. The investigation has been performed using by Finite Element Methods to derive and compare the maximum von-mises stress, deformation, structural stiffness, maximum/average crashing force, internal (absorbed) energy and Specific Energy Absorption ratio of the each tube under static and dynamic loading. In the study, it has been shown that the some type of tubes which has a greater strength performance under static loading, not passed the average values of the others under dynamic axial loading.

Keywords

Design; Crash ;
Extruded tube; FEA;
Dynamic Loading.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Başta otomotiv olmak üzere taşıt gövde yapılarının tasarım iyileştirmesi çalışmasının en önemli göstergeleri, ağırlık azaltılması (Abramowicz, and Jones 1986), uzun ömür, maksimum enerji sönümlenme kabiliyeti (Tehrani and Pirmohammad 2007) ve üretilebilirlik olarak değerlendirilebilir. Darbe enerjisini sönümlenme araştırmaları, binek araç tasarımında emniyet açısından bakıldığında oldukça gerekli ve önemli bir aşamadır (Tehrani and

Nikahd 2016). Darbe esnasında oluşan çökmeden kaynaklanacak yolcu hasarlarını en aza çekmek için, enerji sönümlenme görevi yapan yapıların enerji sönümlenme karakteristiklerinin anlaşılması gerekmektedir.

Bu anlamda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. İnce cidarlı çelik silindirik yapıların kararlı çökme gösterdiğini vurgulayan yayınlar bunlardandır (Schneider and Jones 2004). Ancak ağırlık azaltma çalışmaları ve malzeme

teknolojisindeki yenilikler, Alüminyum daha ön plana çıkarmış ve birçok üretim tekniğine uyumlu olması nedeniyle yükselerek önem kazanmıştır (Kim, 2002), (Lee et al. 1999). Alüminyum yapıların diğer bir üstün tarafı ise ekstrüzyon ile üretimde geniş bir yelpazeye ve kullanım alanına sahip olmasıdır ki birçok üretici bu yapıları tercih etmektedir (Fukuo et al. 2001), (Cengiz et al. 2011).

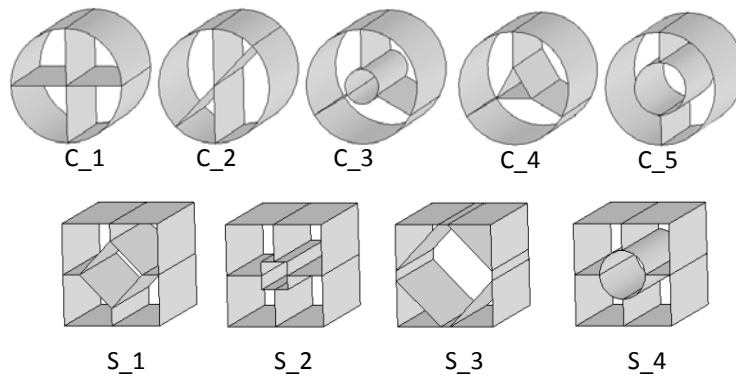
Yapısal elemanların performans analizleri; durağan ve dinamik yük koşullarında mevcut yapının nasıl davranacağına bilinmesi için veya yapıdan beklenen davranışı gösteren en uygun geometrinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu kapsamda eğilme, burulma ve çarpışma analizleri oldukça önem kazanmaktadır (Tehrani and Nankali 2010). Bu tip analizler ile birçok farklı geometriye sahip yapılara ait çalışmalar mevcuttur (Yusuf et al. 2015)

Otomobil şasisinde alüminyum kafes sistemi en genel kullanılan yapı tipidir. Ve Bu yapı elemanlarının çoğu çekme yöntemiyle imal edilmektedir. Çekme profil yapılar, nokta kaynaklı birleştirmeli yapılardan daha fazla enerji sönmölemekte olduğundan daha çok tercih edilmektedirler. Özellikle önden ve aksel çarpmalarda en önemli sönmöleme elemanı olarak görev yapmaktadırlar. Bu yapı elemanları, en fazla enerjinin sönmölenmesi için en etkili çökme modu

olan aşamalı çökmeye maruz kalacak biçimde tasarlanmalıdırlar (Xie and Zhou 2014).

Bu çalışmada, tasarımda dış geometriye müdahale şansı olmaması durumunda, ağırlıkta bir artışa neden olmaksızın, yapının içerisindeki kesit alanı değiştirmek yolu ile yapıdaki farklı yükleme koşulları altındaki mekanik davranış değişikliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma için Şekil 1.'de görüldüğü gibi silindirik ve Kare dış formlarına sahip toplam dokuz farklı profil yapısı tasarlanmıştır.

Her bir yapıya ait plastik deformasyon sınır değerlerine yakın eğilme, burulma momentleri uygulanarak; maksimum von-misses gerilmelerine karşılık (σ_e , σ_d) çökme (δ) ve burulma (θ) değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, 1/4 taşıt kütlelerinin orta şiddetli çarpışma ölçeğine uygun rijit duvar prensibiyle aksel çarpışma kuvvetleri uygulandığı çarpışma analizleri neticesinde; her yapıya ait Sönmölenen Enerji (E_s), Spesifik Enerji Sönmöleme oranı (SES), çarpışma esnasında oluşan maksimum (F_{max}) ve ortalama (F_{ort}) reaksiyon kuvvetleri tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarının grafik ve tablo gösterimleri ile mekanik yorumları yapılmıştır.



Şekil 1. Silindirik (C_1-C_5) ve Kare (S_1-S_4) Alüminyum Profil Yapıları

2. Materyal ve Metot

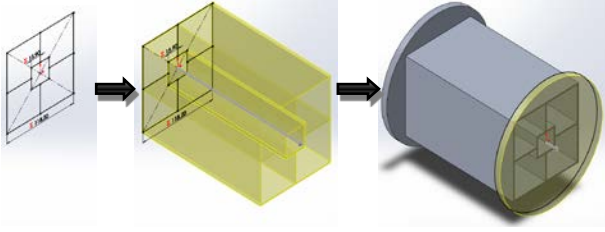
2.1. Parametrik Geometri Tasarımı

Profil yapılara ait geometrik tasarımlar SolidWORKS™ parametrik tasarım yazılımı ile

gerçekleştirilmiştir. Katı modeller oluşturulurken Şekil 2.'de verildiği gibi; sırasıyla yüzey model oluşturulmuş ve ikinci aşamada çift yönlü (1mm+1mm) kalınlık verilerek katı modele

dönüştürülmüştür. Tasarımda belirlenen ölçülere ait kriterlerin hesaplanmasında Silindirik çapı ($D=150$ mm) ve Boyu 200 mm olarak belirlenmiştir. Bu ana ölçülere bağlı olarak iç geometri ölçülerini oluşturan parametrik denklemler aşağıda verilmiştir.

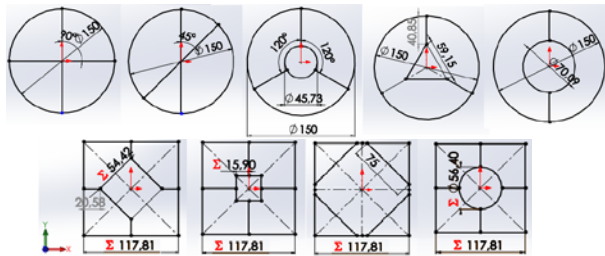
Örnek olarak; C_1 geometrisinde $D=150$ mm için toplam kenar uzunluğu= $\pi \cdot D + 2 \cdot D$ yani 771,24 mm olmaktadır. Bu kesit kenarı toplam ölçüsü, tüm modellerde aynı olacak şekilde çizimler yapılmıştır.



Şekil 2. Katı model oluşturma adımları

Kare modeller ile silindirik yapılar arasında ise dış çevre uzunluğu eşit olacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Yani kare kesitlerin tek bir kenar uzunluğu $\pi \cdot D / 4$ olarak denkleştirilmiştir. Ve bu kenarın fonksiyonu olarak hesaplanan iç kesit uzunlukları ise bu kenar denkleminin bir fonksiyonu olarak geometri hesaplama denklemleriyle bulunmaktadır.

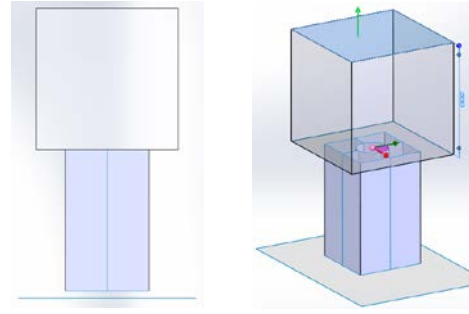
Örnek olarak S_1 modeli için kenar uzunluğu $\Sigma 118,12 = \pi \cdot D / 4$ ve iç geometri kenar uzunluğu ise $\Sigma 54,42 = (\sqrt{2} \cdot ((D/2) - ((\Sigma 118,12) / 2))) / \sqrt{2}$ ifadesi ile bulunabilmektedir. Diğer geometrilere ait ölçüler Şekil 3 de verilmektedir.



Şekil 3. Geometrilere ait ölçüler
(Üst Sıra: C_1-C_5, Alt Sıra: S_1-S_4)

Çarpışma analizi geometrisi ise Şekil 4'de görüldüğü üzere, sabit zemin, Yüzey model profil yapı ve 1/2

taşıtlı kütle simüle eden kütle geometrisi kısımlarından oluşmaktadır.



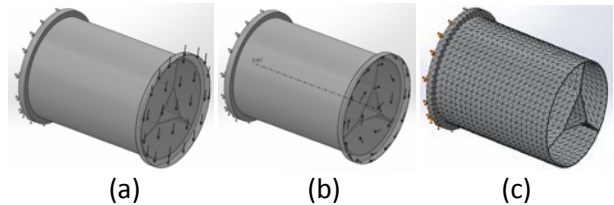
Şekil 4. Çarpışma analizi katı modeli (S_4 Örneği)

2.2. Sonlu Elemanlar Modeli ve Analizi

Çalışmada iki tip analiz gerçekleştirilmiştir. Yapıların, statik yük altındaki Eğilme ve Burulma davranışları için SolidWORKS yazılımı içerisindeki "Simulation Tool" kullanılmıştır. Dinamik çarpışma analizleri için ANSYS LSDYNA çözüm motoru kullanılmıştır.

Statik analiz

Şekil 5'de görüldüğü gibi statik analizlerde profil yapının iki ucundaki bloklar ile profil yüzeyleri arası "bonded" ilişkisi ile bağlanmıştır. Bloklardan birisi "Fixed Geometry" olarak sabitlenirken diğer blok yüzeyine ise Döndürme (M_d) veya Eğilme (M_e) momenti uygulanmıştır. Analizlerde, düşey yönde $M_e=5000$ N ve simetri ekseninde $M_d=2000$ Nm olarak yük sınır şartları sabit alınmıştır. Malzeme değerleri ise Lineer elastik izotropik Alüminyum 7075-(O) SS malzemesi olarak model kütüphanesinden seçilmiştir.

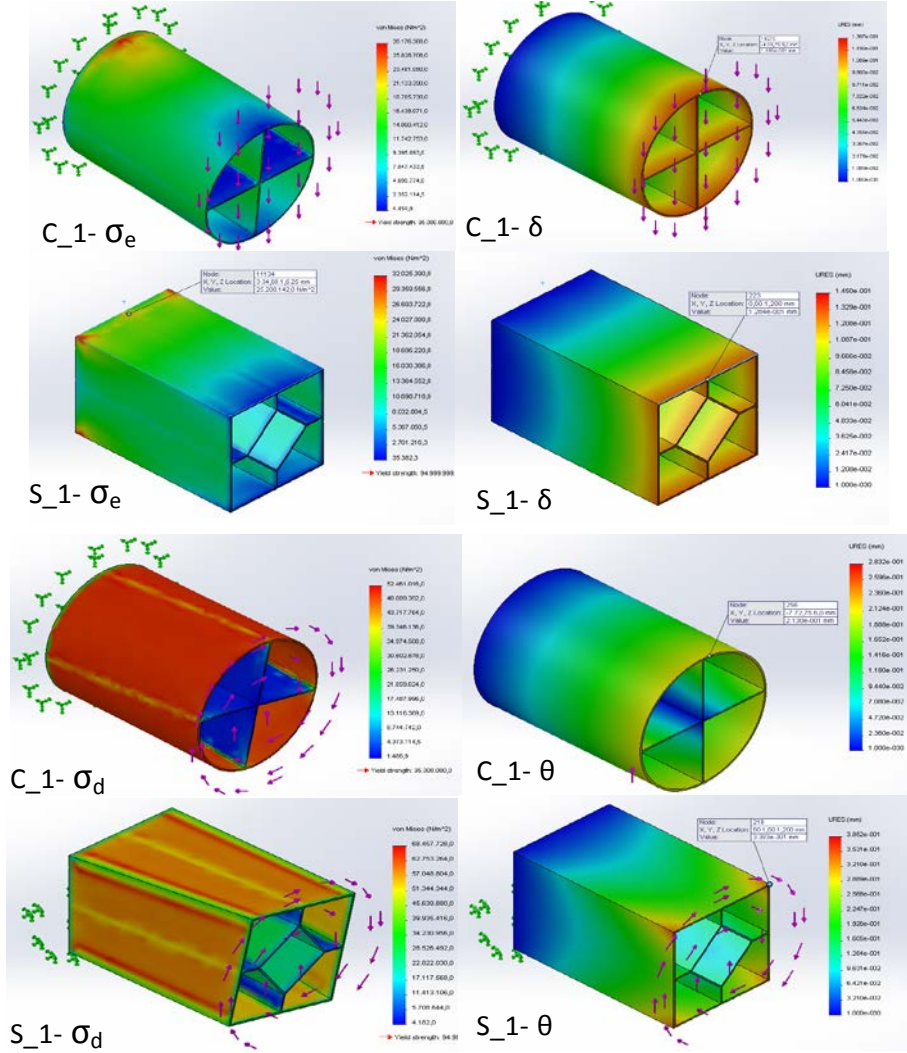


Şekil 5. Statik analiz Sonlu elemanlar modelleri a) Eğilme b) Burulma sınır şartları ve c) Ağ

Analiz geometriler için ortalama 17500 çözüm elemanı oluşmuştur. Analizlerde; maksimum gerilme değerlerine (σ_e , σ_d) karşılık, maksimum

çökme (δ) ve maksimum burulma (θ) değerleri tespit edilmiştir. Çözümlerde elde edilen sonuçlar Şekil 6 da görüldüğü gibi ekran indislerinden ve seçilen elemanlar üzerindeki etiket bilgilerden

alınmıştır. Statik analizlerden elde edilen örnek sonuçlara ait görseller Şekil 6'da C_1 ve S_1 modelleri için verilmiştir.

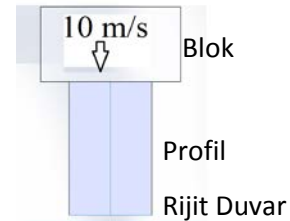


Şekil 6. Statik analiz çıktılarından C_1 ve S_1 geometrileri için örnek gösterim.

Dinamik Analiz

Şekil 7.'de görüldüğü gibi çarpışma analizleri için üç tip malzeme modeli oluşturulmuştur. Blok için, Lineer Isotropik malzeme, yoğunluğu 66250 kg/m^3 , Elastiklik Modülü 200 GPa, poisson oranı 0,3 olarak tanımlanmıştır. Blok malzemesi ilk hızı 10 m/s olarak verilmiş ve sahip olduğu kütle ve hızdan dolayı sistemde enerjisi sönmünecek olan parçadır. Alüminyum profil yapı, Bilineer Kinematik malzeme modeli için, yoğunluğu 2810 kg/m^3 , elastiklik modülü 72 MPa, poisson oranı 0,33, akma gerilmesi 95 MPa, Tangent Modülü 220 MPa olup enerjisi sönmünecek olan yapıdır. Rijit duvar

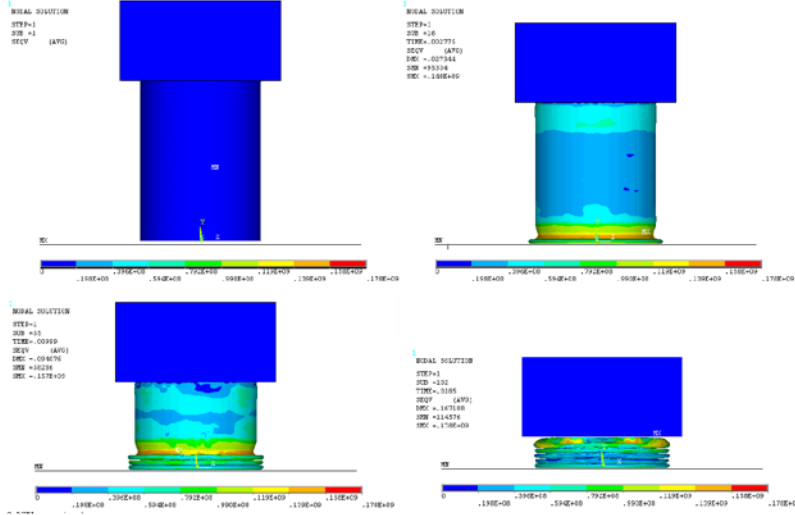
tablası ise yoğunluğu 7820 kg/m^3 , Elastiklik modülü 200 GPa, poisson oranı 0,3 olan çelik malzeme olup oluşturulan yüzey kabuk geometri için sınır şartı olarak tüm yüzey için tüm yer değiştirme ve dönme serbestlikleri sıfır olarak tanımlanmıştır.



Şekil 7. Dinamik Analiz Sınır koşulları

ANSYS LSDYNA Explicit analizde toplam çözüm süresi 0,02 s için 1000 step olarak belirlenmiştir. Blok ve Profil arasında "NodsToSurfaces" algoritması "Tied (TDNS)" tipinde seçilmiştir. Oluşacak sürtünme kuvvetleri için; Statik sürtünme katsayısı 0,3, dinamik sürtünme katsayısı 0,25 alınmıştır. Kontak tanımlamalarında; Kontak bileşeni "Blok", Hedef Bileşeni "Profil" olarak tanımlanmıştır. Ayrıca; "Single Surfaces"

algoritması "Auto General" tipinde seçilerek tüm yüzeylerin kontak kontrolleri sağlanmış böylece yüzeylerin penetrasyonu engellenmiştir. Profillerin deformasyon aşamaları Şekil 8.'de örnek gösterimde olduğu gibi elde edilmiştir. Veriler; 0,02 s içerisinde zamana bağlı olarak; sönümlenen (iç) enerji, Reaksiyon kuvvet, Deplasman verileri olarak tekst dosya formatında kaydedilmiştir.



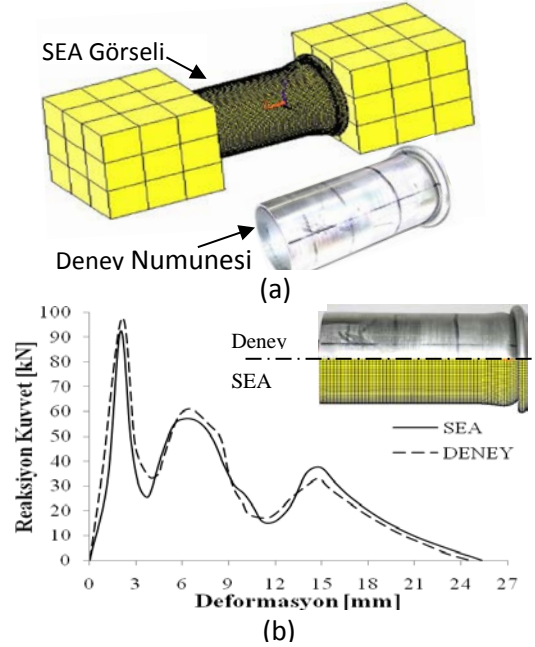
Şekil 8. Dinamik analiz görsel çıktıları.

Karşılaştırma değerlerinin elde edilmesinde, profil yapının rijit zemine ilk temas anından itibaren 150 mm lik deformasyon miktarı içerisindeki veriler incelenmiştir. Analiz sonucu elde edilen veriler üzerinde herhangi bir veri işleme yapılmamıştır.

2.3. Sonlu Elemanlar Modeli Doğrulaması

Statik analizlerde model doğrulamasına ihtiyaç duyulmamıştır. Dinamik analiz doğrulaması mevcut üretimi yaygın olan 150 mm boyunda kesilmiş, çapı 76 mm ve et kalınlığı 2,5 mm olan silindirik Alüminyum 7075 çekme profil malzeme ile yapılmıştır. Profil yapının çarpışma testi Cengiz and Ucar, (2009) tarafından kurulan deney seti ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 9, sonlu elemanlar analiz (SEA) ve deney sonuçlarını vermektedir. Elde edilen deformasyon miktarları ve Reaksiyon kuvvet değerleri neticesinde analiz sonuçlarının deneysel veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca profilin sönümlendiği enerji miktarı SEA hesaplamasında 1207 J, deneysel çalışmada ise

1219 J olarak elde edilmiştir.



Şekil 9. SEA ile Deney verileri karşılaştırması a) Deformasyon b) Reaksiyon Kuvvet-Deformasyon

3. Bulgular

3.1 Statik analiz sonuçları

Dokuz farklı model için elde edilen statik yükleme sonucu elde edilen veriler. Tablo 1'de verilmektedir.

Eğilmeye maruz profillerde, von-mises gerilme değerleri karşılaştırıldığında silindirik geometride C_2 profili 32,87 MPa ile en fazla gerilme değerine sahiptir. En düşük gerilme değeri ise C_5 profilinde 24,94 MPa olarak görülmektedir. Diğer üç profil yapısında ise 27,2±1 MPa aralığında değiştiği görülmüştür. Minimum ve maksimum değerler arasında yaklaşık %25 değişim görülmektedir.

Sehim miktarlarına bakıldığında ise C_3 ve C_5 profillerinde 0,1209 mm ile en fazla olduğu ancak C_2 profilinde 0,102 mm ile en düşük değerde olduğu görülmüştür. C_1 ve C_4 profillerindeki sehim miktarları ise 0,1189 ve 0,1198 mm olarak çok yakın değerlerde olmuştur. Minimum ve maksimum değerler arasında yaklaşık %20 değişim görülmektedir.

Rijitlik değerine bakıldığında ise en yüksek C_2 profilinin 49020 N/mm ve en düşük C_5 profilinin 34965 N/mm olduğu görülmüştür. Diğer profillerde bu değer 41700±350 MPa aralarında değişmektedir. Minimum ve maksimum değerler arasında yaklaşık %30 değişim görülmektedir.

Tablo 1. Statik analiz sonuç tablosu

Model	Statik Analiz					
	Eğilme		Burulma		Burulma	
	σ_e	δ	M_e/δ	σ_d	θ	M_d/θ
	[MPa]	[mm]	[N/mm]	[MPa]	[deg]	[Nm/deg]
C_1	28,18	0,1189	42052	52,46	0,16272	12291
C_2	32,87	0,102	49020	52,58	0,16096	12425
C_3	27,13	0,1209	41356	51,45	0,15821	12641
C_4	26,63	0,1198	41736	51,13	0,15966	12526
C_5	24,94	0,1209	34965	47,85	0,14866	13453
S_1	25,21	0,1284	38941	68,88	0,2492	8025
S_2	25,30	0,1348	37092	73,73	0,2679	7467
S_3	22,80	0,1211	41288	72,62	0,2066	9682
S_4	24,15	0,1308	38226	68,24	0,2563	7804

Kare geometrili profillerde maksimum eğilme gerilmesi, S_3 yapıda 22,80 MPa ile en düşük değerde oluşmuş diğer profillerde ise 24725±600 MPa aralığında değişmektedir. S_3 ile S_2 arasındaki maksimum gerilmedeki değişim %10 dur.

En düşük sehim S_3 profili 0,1211 mm en yüksek ise S_2 profilinde 0,1308 mm olmuş değişim %8 olarak tespit edilmiştir.

Kare profillerin eğilme rijitlik değerleri, en yüksek 41288 N/mm ile S_3 de ve en düşük değer ise S_2 de 37092 N/mm olmuştur. Değişim %11,2dir ve diğer profillere ait değerler 38000±950 N/mm aralığında kalmaktadırlar.

Silindirik ve Kare kesitli profillerde minimum ile maksimum değerler kıyaslandığında ise; oluşan gerilme değerlerinde S_3 ile C_2 arasında %30, Sehim değerinde C_2 ile S_2 arasında %25 değişim göstermektedir.

Silindirik yapı profillerin burulma analizleri verileri incelendiğinde, gerilme en düşük 47,85 MPa ile C_5'de ve en yüksek 52,58 MPa ile C_2'de olmuştur. Değişim %9'dur. S_1 ile S_4'ün ve S_2 ile S_3'ün gerilme değerleri birbirlerine çok yakındır. Dönme miktarı 0,1486° olarak C_5'de en düşük, 0,16272° olarak C_1 de en yüksektir. Değişim %9'dur. Burulma rijitliği ise en düşük 12291 Nm/° olarak C_1 de ve 13453 Nm/° olarak C_5 de oluşmuş değişim %9 olmuştur.

Kare kesitli profillerin burulma analizleri verileri incelendiğinde ise, gerilme en düşük 68,24 MPa ile S_4'de ve en yüksek 73,73 MPa ile S_2'de olmuştur. Değişim %8'dir. Dönme miktarı 0,2066° olarak S_3'de en düşük, 0,2679° olarak S_2 de en yüksektir. Değişim %23'tür. Burulma rijitliğinde ise en düşük 7467 Nm/° olarak S_2 de ve 9682 Nm/° olarak S_3 de oluşmuş değişim %23 olmuştur.

Burulma analizinde kare ve silindir kesitli profiller birbirleri ile kıyaslandığında; oluşan gerilme değerlerinde C_5 ile S_2 arasında %31, dönme miktarında C_5 ile S_2 arasında %45 değişim

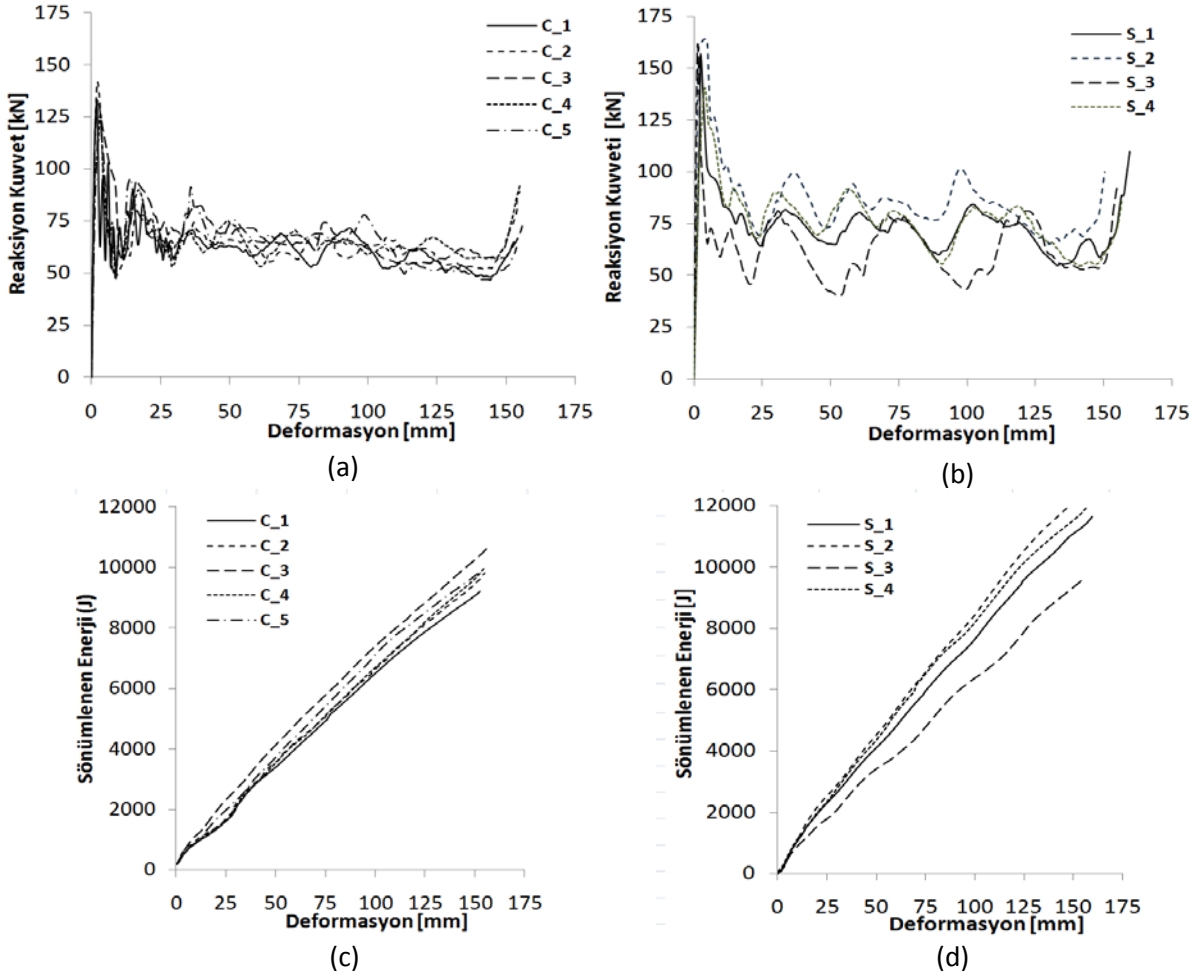
göstermektedir. Burulma rijitliğinde ise S_2 ile C_5 arasında ise %45 değişim bulunmaktadır.

3.2. Dinamik analiz sonuçları

Dinamik analiz sonuçları; Şekil 10.a ve Şekil 10.b'de Reaksiyon kuvvet-Deformasyon değişim eğrileri olarak verilmiştir. Bu şekillerden tüm profil yapıların kararlı aksenal çökme yaptığı anlaşılmaktadır. Genellikle numunelerin 150 mm

den sonra bükümlerini tamamladıkları için blokaj yükünün oluşmaya başladığı görülebilmektedir.

Şekil 10.c ve Şekil 10.d profil yapılar tarafından Sönümlenen enerji miktarlarını deformasyon miktarına bağlı olarak göstermektedir. Değişim eğrilerinden görülebildiği gibi her geometrinin sönümleme enerji karakteristik değerleri farklı olmaktadır.



Şekil 10. Deformasyona bağlı Reaksiyon Kuvvet ve Sönümlenen Enerji Değişimleri

Profil yapılar ait dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir. Silindirik geometrili profiller içerisinde en yüksek enerji C_3, en düşük enerji ise C_1 profilleri tarafından sırasıyla 10,29 kJ ve 9,08 kJ olarak sönümlenmiştir. En düşük ile en yüksek arasındaki değişim %12'dir. Diğer profiller 9,61±0,14 kJ değerleri arasındadır.

C_2 profilinde 141 kN'a ulaşan maksimum kuvvet miktarı görülürken C_5 için 119 kN oluşmuştur. En

düşük ile en yüksek arasındaki değişim %16 dır. Diğer profiller için 130±3 kN değerleri arasında kalmıştır.

Ortalama deformasyon kuvvet değeri ise en yüksek 65,6 kN ile C_3'de ve en düşük değer olan 60,5 kN değeri ile C_1 de görülmüştür. En düşük ile en yüksek ortalama kuvvet arasındaki değişim %8 olmuş ve diğer üç silindirik profilde ortalama 62,5±1,1 kN değerleri arasında kalmıştır.

Tablo 2. Çarpışma Analizi sonuç tablosu

Model	E_s [kJ]	SES [kJ/kg]	F_{max} [kN]	F_{ort} [kN]
C_1	9,08	14,7	133	60,5
C_2	9,48	15,3	141	61,4
C_3	10,29	16,6	133	65,6
C_4	9,65	15,6	126	63,5
C_5	9,76	15,7	119	63,6
S_1	11,10	17,9	156	70,7
S_2	12,16	19,6	164	81,4
S_3	11,53	18,6	158	61,3
S_4	11,53	18,6	141	73,7

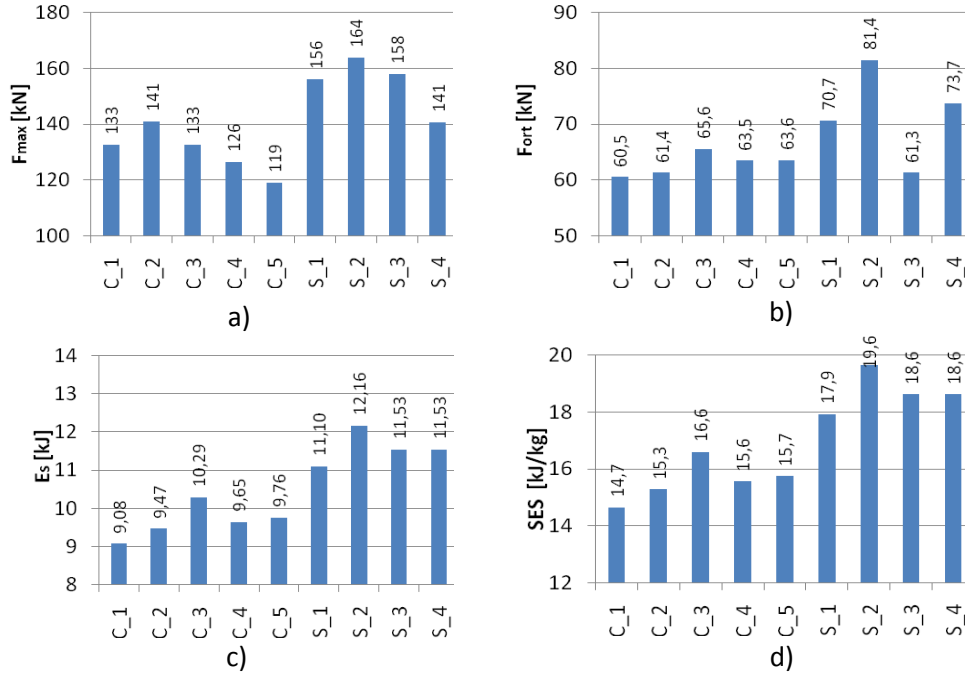
Kare kesitli geometrilerde ise, profiller içerisinde en yüksek enerji S_2, en düşük enerji ise S_1 profilleri tarafından sırasıyla 12,16 kJ ve 11,10 kJ olarak sönmülmüştür. En düşük ile en yüksek arasındaki değişim %9'dur. Diğer profiller 11,53 kJ değerinde sönmüleme yapmıştır.

S_2 profilinde 164 kN'a ulaşan maksimum kuvvet miktarı görülürken S_4 için 141 kN oluşmuştur. En düşük ile en yüksek F_{max} arasındaki değişim %14'tür.

Diğer profiller için 157±1 kN değerleri arasında kalmıştır.

Ortalama deformasyon kuvvet değeri ise en yüksek 81,4 kN ile S_2'de ve en düşük değer olan 61,3 kN değeri ile S_3 de görülmüştür. En düşük ile en yüksek ortalama kuvvet arasındaki değişim %25 olmuş ve diğer iki silindirik profilde 72,2±1,5 kN değerleri arasında kalmıştır.

Silindirik ve kare kesitlerin tümünün kıyaslanmasında ise; Şekil 11.a da F_{max} değeri, S_2'de en yüksek ve C_5 de en düşük değerini almış olup %28'lik bir fark bulunmaktadır. Şekil 11.b'deki F_{ort} değeri; en yüksek S_2 ve en düşük C_1'de oluşmakta minimum ile maksimum değer arasındaki fark ise %26 olarak bulunmuştur. Şekil 11.c'de görülen E_s miktarı en yüksek S_2'de ve en düşük C_1' de görülmektedir. C_1 ile S_2 arasındaki fark %26 dır. Aynı oran, eşit kütle kullanılmasından dolayı Şekil 11.d'de verilen SES değerleri için de geçerlidir.



Şekil 11. Dinamik analiz sonuçları

4. Tartışma ve Sonuç

Yapısal tasarımda; yük kriterleri açısından maksimum gerilme değeri, tolerans ve çalışma koşulları açısından maksimum deformasyon

miktarı, yüzey kaplaması gibi yapışık çalışan sistemlerde ise maksimum birim şekil değiştirme oranları optimum değerlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak taşıt gövdesi gibi gerektiğinde enerji sönmüleme özelliğinin de kritik

olduğu sistemlerde tasarım için çarpışma performansı özellikleri önem kazanmaktadır. Bu çalışmada statik yük koşullarında kullanım kapasitesi yüksek olan, aynı kesit alan miktarına sahip çekme alüminyum profillerin statik ve dinamik yüklerdeki

performansları kıyaslanmıştır. Tüm değerler Tablo 3.de toplu olarak sunulmaktadır. Tabloda en yüksek değerler altı çizili ve en düşük değerler ise üzeri çizili olarak belirtilmiştir.

Tablo 3. Statik ve Dinamik analiz sonuç tablosu.

Model	Statik Analiz						Dinamik Analiz				
	σ_e [MPa]	Eğilme δ [mm]	M_e/δ [N/mm]	σ_d [MPa]	Burulma θ [deg]	M_d/θ [Nm/deg]	E_s [kJ]	SES [kJ/kg]	F_{max} [kN]	F_{ort} [kN]	E_s [kJ]
C_1	28,18	0,1189	42052	52,46	0,16272	12291	9,08	14,7	133	60,5	9,08
C_2	32,87	0,102	49020	52,58	0,16096	12425	9,48	15,3	141	61,4	9,48
C_3	27,13	0,1209	41356	51,45	0,15821	12641	10,29	16,6	133	65,6	10,29
C_4	26,63	0,1198	41736	51,13	0,15966	12526	9,65	15,6	126	63,5	9,65
C_5	24,94	0,1209	34965	47,85	0,14866	13453	9,76	15,7	119	63,6	9,76
S_1	25,21	0,1284	38941	68,88	0,2492	8025	11,10	17,9	156	70,7	11,10
S_2	25,30	0,1348	37092	73,73	0,2679	7467	12,16	19,6	164	81,4	12,16
S_3	22,80	0,1211	41288	72,62	0,2066	9682	11,53	18,6	158	61,3	11,53
S_4	24,15	0,1308	38226	68,24	0,2563	7804	11,53	18,6	141	73,7	11,53

Bu kıyaslamada, statik yük altında en kötü performansı sergileyen S_2 profil yapısının çarpışmada en yüksek skorları topladığı görülmüştür. Diğer taraftan eğilmede C_2 ve burulmada C_5 profilleri en başarılı performansları gösterirken, çarpışmada düşük değerler arasında kaldıkları görülebilmektedir. Bunun nedeni, eğilme ve burulmada kesit atalet momentlerinin etken eksenden uzaklaştıkça artması böylece daha düşük vonmises gerilmelerinin oluşması olarak belirtilebilir.

Ancak statik ve dinamik her iki uygulamadan da optimum değerleri S_1, S_4 ve C_3 profillerinin aldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak sahip oldukları iç yapıda diğer profillere nazaran daha vazla köşe ve kısa kenarlı duvar yapılarının bulunması gösterilebilir.

Çarpışma performansı sadece en yüksek enerji sönmülemeyi sağlamak anlamına gelmemektedir. Dolayısı ile enerji sönmüleme elemanının ne kadar bir ön yük yani F_{max} ile ilk burkulmayı sağlayacağı da önemlidir. Çünkü F_{max} snümlleme elemanın arkasındaki yapının maruz kalacağı ilk ters ivmelenme miktarını ve şasiye bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanlarının maruz kalacağı yükü doğrudan ilgilendirmektedir. F_{max} çok yüksek

olur ise kabin içerisinde bulunan yolcuların aşırı ivmeye maruz kalması ve şasi deformasyonunu engelleme görevi olan çarpışma kutusunun yani profillerin zarar görmeden önce kuvveti şasiye ileterek gözdeye zarar vermesine neden olabilecektir. F_{max} 'ın aşırı olmasındaki diğer problem ise profil ile şasi bağlantısını sağlayan bağlantı elemanlarının hasar görmesi sonucu, sönmüleme elemanının yerini terk etmesi ve görevini yapamaması olacaktır. Dolayısıyla tasarımcının bu kuvvetleri şasi tasarımında dikkate alması gerekmektedir.

Tasarımda etken olan kriterlerden olan ağırlık azaltılmasının yanında, hacim azaltma yani faydalı alanı artırma da yine önemli bir faktördür. Bu nedenle silindirik profillerin sahip oldukları hacim ($3534,3 \text{ cm}^3$) ile kare kesitli profillerin hacimleri ($2775,8 \text{ cm}^3$) arasındaki fark kare profilleri avantajlı duruma getirmektedir.

Bu çalışma ile görülmüştür ki statik yükler veya sadece eğilme ve burulma yükleri düşünülerek yapılacak tasarımlarda, çarpışma emniyeti düşünülmediği takdirde istenmeyen durumların olması kaçınılmaz olabilir.

Bu nedenle tasarımcının, eğilme ve burulma yüklerinin yanında çarpışma analizi verilerini referans alması hatta ileriki çalışmaların konusu niteliğinde doğal frekans analizleri ve sistem harmoniklerini de dikkate alması gerekmektedir.

Optimum kesit arayışları için uygulanacak, yüzey cevap metodu vb. optimizasyon çalışmaları için bu çalışma bir öncü çalışma niteliği taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi BAP birimi "Otomotiv Tasarım Teknolojileri" Laboratuvar alt yapı destek projeleri kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazar, çalışmayı destekleyen Rektörlük ve BAP birimine teşekkür eder.

Kaynaklar

Abramowicz, W., Jones, N., 1986. Dynamic progressive buckling of circular and square tubes. *Int. J. Impact Engng*, **4**, 243–270

Tehrani P.H., Pirmohammad S., 2007. Collapse study of thin-walled polygonal section columns subjected to oblique loads. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, **221**, 801 - 810

Tehrani P.H., Nikahd M., 2016. Effects of ribs on S-frame crashworthiness. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, **226**, 1679 – 1689

Schneider, F., Jones, N., 2004. Impact of thin-walled high-strength steel structural sections. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, **218**, 131 – 158

Kim, H., 2002. New extruded multi-cell aluminum profile for maximum crash energy absorption and weight efficiency. *Thin-Walled Struct*, **40**, 311–327

Lee D.C., Lee S.H., Han C.S.A., 1999, Design on the chassis frame of passenger car using beam and spring elements (in Korean). *J. Korean Soc. Automot. Engrs*, **7**, 89–96.

Fukuo, K., Fujimura, A., Saito, M., Tsunoda, K., and Takiguchi, S., 2001, Development of the ultra-low-fuelconsumption hybrid car-insight. *JSAE Rev.*, **22**, 95–103

Cengiz, B., Emin, S., Sureyya, E.B., Fatih, A., Toprak, T., Mugan, A., 2011, Railroad passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness, *Int J Crashworthiness*, **16**, 319–329

Tehrani, H., Nankali A., 2010, Study on characteristics of a crashworthy high-speed train nose, *Int J Crashworthiness*, **15**, 161–173

Jusuf, A., Dirgantara, T., Gunawan, L., Putra I., 2015, Crashworthiness analysis of multi-cell prismatic structures, *Int J Impact Eng*, **78**, 34–50

Xie, S., Zhou, H., 2014, Multi-objective optimisation of a vehicle energy absorption structure based on surrogate model, *J Cent South Univ*, **21**, 2539–2546

Cengiz A., Uçar, M., 2012, "Crash Pendulum" Energy Absorption Test System, *Experimental Techniques*, **36**, 33-38.