



KONİK TAILOR-WELDED TÜPLERİN ENERJİ SÖNÜMLEME KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dursun Meriç¹, Durukan Burak Dilek², Hasan Gediklic²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, A. Kanca MYO. Trabzon, 61530

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 61080

ÖZET

Bu çalışmada tailor-welded tüplerin (TWT) (AISI1018& AL6061), kalınlık ($t_{üst}=0.5-2.5$ mm) ve koniklik açılarında (0° , 5° , 10° ve 15°) enerji sönmleme karakteristikleri sayısal olarak incelendi. Analizler sonucunda özgül enerji, pik kuvvet ve çarpma kuvvet verimi gibi değerlerin grafikleri elde edildi ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırıldı.

Anahtar kelimeler: Çarpışma, Konik ve silindirik tüpler, çarpışma dayanımı

1. GİRİŞ

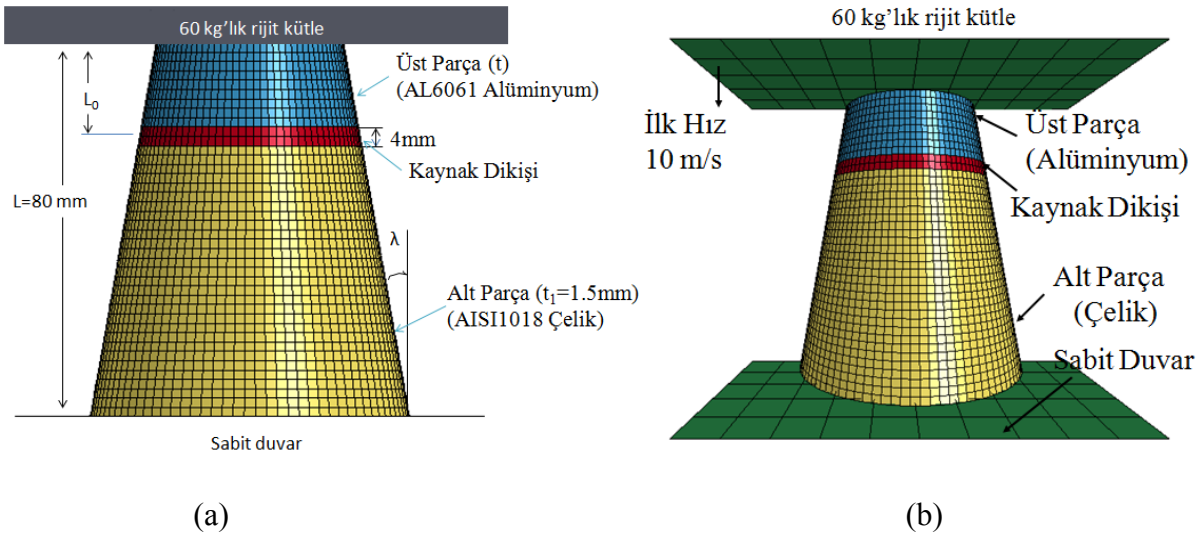
İnce duvarlı yapılar, yüksek enerji sönmleme kabiliyetleri, hafiflikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle, otomobillerde, uçaklarda ve diğer ulaştırma mühendisliği uygulamalarında enerji absorber olarak kullanılmaktadır. İnce duvarlı tüplerin enerji yutma kapasiteleri yapıldıkları malzemeye ve geometrisine göre değişmektedir [1, 2, 3]. İnce duvarlı tüpler enerji sönmleyici olarak farklı geometrilerde ve malzemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür donanımlar darbe enerjisini kontrollü bir şekilde sönmlemek amacıyla kademeli olarak daralacak şekilde tasarlanır ve kinetik enerjiyi plastik uzama enerjisine çevirir [4]. Zarei ve Kroger [5] belirttiği gibi dairesel tüpler aksenal yükler altında hafif ve daha etkili enerji sönmleyici özelliği gösterdiğinden daha çok tercih edilirler. Kare kesitli tüplerin statik ve dinamik yük altında cevabının anlaşılması için birçok araştırma yapılmıştır [6, 7, 8]. Kare kesitli tüplerin yük-çökme eğrileri benzerlik gösterse de çökme ve deformasyon şekilleri dairesel tüplerden farklıdır [9].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tüpün geometrisi ve malzemesi

Şekil 1 TWT'in sayısal modelde kullanılan temel geometrisini göstermektedir. Dairesel TWT'lerin dış çap 40 mm (D) ve boyu 80 mm'dir ($L=2D$). Alt parçanın kalınlığı (t_2) 1,5 mm

olarak sabitken üst parçanın kalınlığı (t_1), 05 mm'den 2,5 mm'ye kadar değiştirilmiştir. TWT'ler için AL6061-T6 (AL6061) alüminyum alaşımı ve soğuk çekilmiş çelik AISI1018 malzeme kullanılmıştır. TWT'leri elde etmek için bu farklı iki malzemenin birbirine kaynak edildiği varsayılmıştır. TWT'lerin üst parçası AL6061 iken alt parçası AISI1018'dir. Konikliğin etkisini incelemek için de dört farklı açıda ($\lambda=0^\circ$, $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$, $\lambda=15^\circ$) modeller hazırlanmıştır. Kaynak dikişi, 4 mm kalınlığında ve tüpün üst kenarından üç farklı L_0 mesafesine ($L_0=0.25L$, $0.50L$ ve $0.75L$) yerleştirilmiştir.



Şekil 1. TWT in geometrisi (a) ve sonlu elemanlar modeli (b)

TWT'lerin sayısal analizinde sıcaklığa, yüksek şekil değiştirme ve yüksek şekil değiştirme hızına hesaba katan Johnson-Cook [4] malzeme modeli kullanıldı. Kaynak dikişinin özellikleri ise denklem (1) de verilen karışımlar kuralı [5] kullanılarak oluşturuldu. Tüpün olduğu malzeme sabitleri **Tablo '1** de verilmektedir.

$$X_K = (0.6)W_{AL} + (0.4)X_{ÇL} \quad (1)$$

burada alt indisler K, Al, ve Ç sırayla kaynak, alüminyum ve çeliği göstermektedir

Tablo 1. AL6061 [6], AISI1018 [7] ve AL6061&AISI1018 malzemeleri için Johnson-Cook malzeme sabitleri ve lineer malzeme özellikleri

Malzeme	Johnson-Cook malzeme sabitleri					Lineer malzeme özellikleri	
	A (MPa)	B(MPa)	C	n	m	Yoğunluk (kg/m ³)	Elastisite Modülü (GPa)
AL6061	289.6	203.4	0.0110	0.350	1.34	2850	72
AISI1018	520.0	269.0	0.0476	0.282	0.553	7850	200
AL6061&AISI1018 (Kaynak Dikişi)	381.8	229.6	0.0256	0.323	1.136	4850	123.2

Problemin sonlu elemanlar modeli

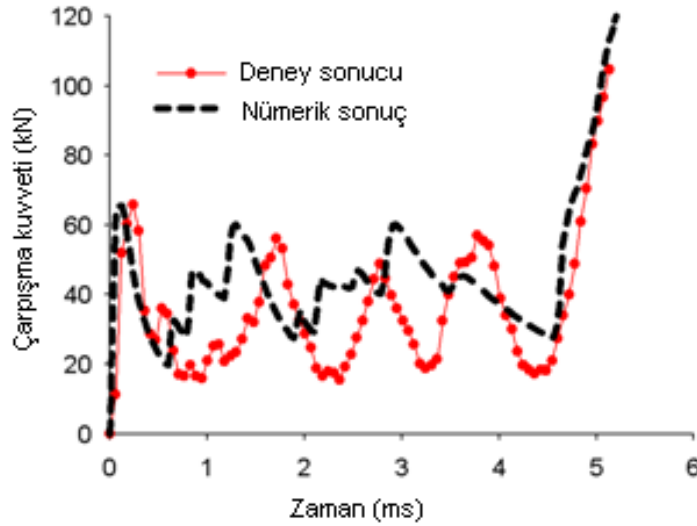
Sayısal analizler, optimizasyon modül Ls-Opt ile birlikte sonlu elemanlar yazılımı Ls-Dyna kullanılarak yapıldı.

TWT'leri analiz etmek için iki çeşit kontak algoritması kullanılmıştır. İlki analiz sırasında nufuz etmeyi önlemek için” Contact_Automatic_Single_Surface” komutu. Rijit plaka-tüp yüzeyleri arasında kullanılan ikinci algoritma “Contact_Node_Surface” komutudur. Bu yüzey çiftleri arasında static ve dinamik sürtünme katsayıları sırayla 0.1 ve 0.2 olarak tanımlanmıştır. **Şekil 1b**'de gösterildiği gibi TWT"lerin, serbes üst noktasından aksenal doğrultuda 60 kg kütleli rijit plaka ile başlangıç hızı 10 m/s olan ve “Intial_Velocity_Rigid_Body” komutu kullanılarak tanımlanan bir yüke maruz kalmıştır.

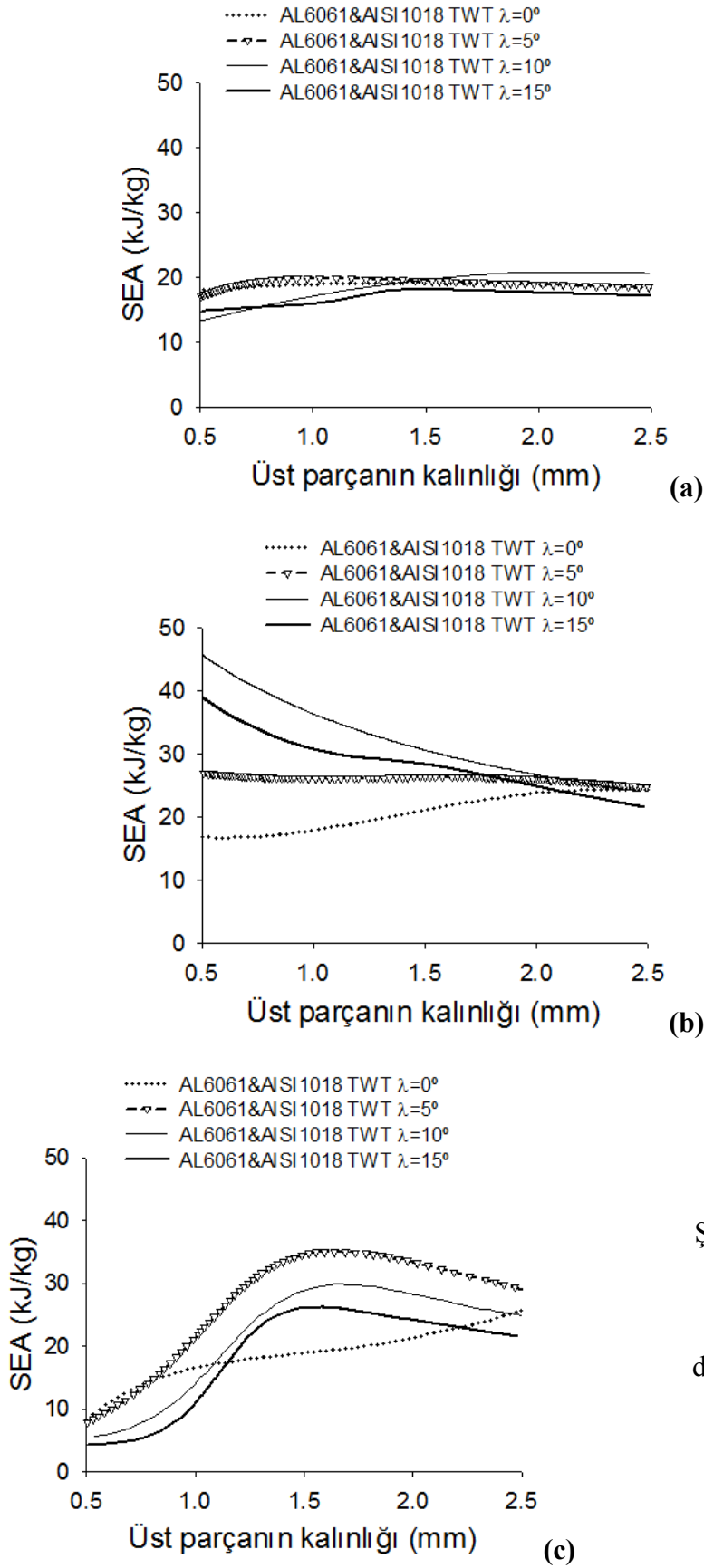
Termination_Node and Termination_Sensor olmak üzere analizi sonlandırmak üzere iki kart kullanılmıştır. Analiz bu kriterlerden birine gelinceye kadar devam edecektir. İlk kriter çarpışma mesafesinin 50 mm'ye ulaşması, diğer kriter ise rijit plakanın hızının 0.01 m/s'ye düşmesidir.

3. BULGULAR

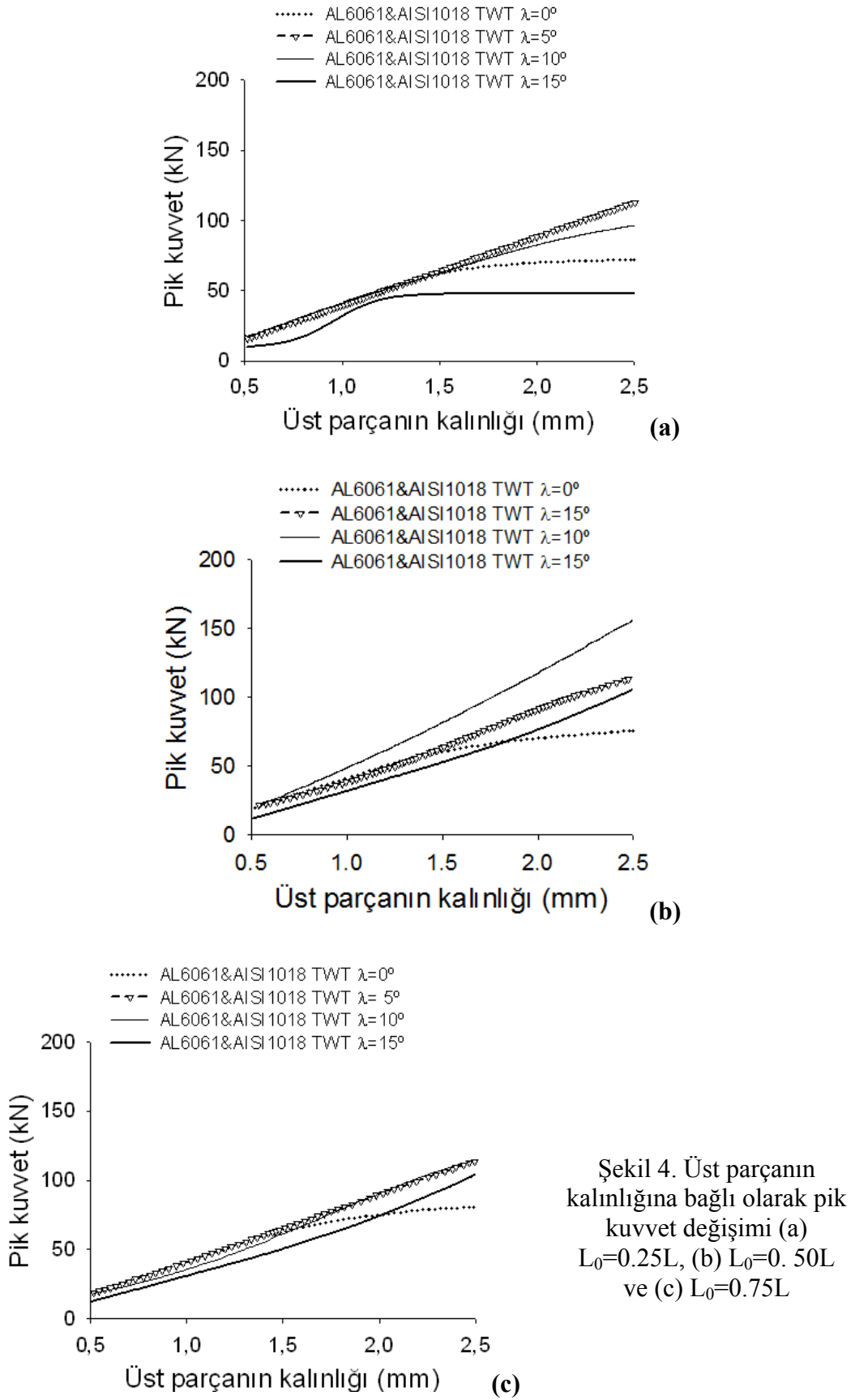
Şekil 2 TWT için deneysel ve sayısal sonuçları göstermektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi TWT'ler için sayısal ve deneysel değerler birbirine yakın değerlerdir. Böylece sonlu elemanlar için mesh boyutu, element formülasyonu, integrasyon noktaları ve kontak algoritması yapılan bütün simülasyonlara uygulanmıştır.



Şekil 2. Boş AL6061&AISI1018 tüp için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması



Şekil 3. Üst parçanın kalınlığına bağlı olarak özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerlerinin değişimi (a) $L_0=0.25L$, (b) $L_0=0.50L$ ve (c) $L_0=0.75L$



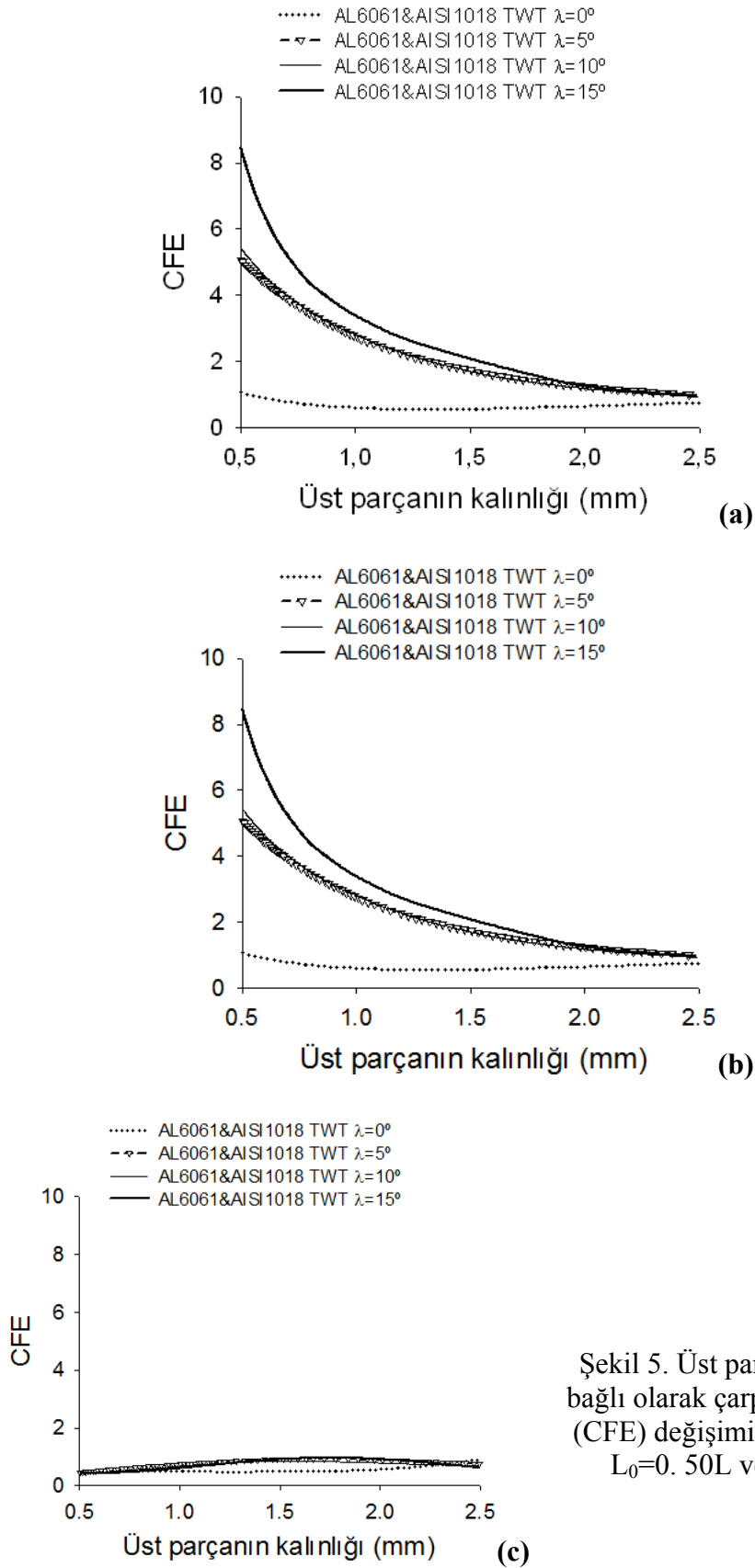
Şekil 4. Üst parçanın kalınlığına bağlı olarak pik kuvvet değişimi (a) $L_0=0.25L$, (b) $L_0=0.50L$ ve (c) $L_0=0.75L$

Şekil 3'te özgül enerji absorpsiyonun (SEA) üst parçanın kalınlığına, farklı kaynak noktalarına ($L_0=0.25L$, $L_0=0.50L$ ve $L_0=0.75L$) ve farklı konikliklere ($\lambda=0^\circ$, $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$) göre değişimi görülmektedir. **Şekil 3** (a)'da $L_0=0.25L$ kaynak noktası için özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerlerinin üst parçanın kalınlığına ve farklı konikliklere göre birbirlerine yakın ve yatay bir seyir izlediği görülmektedir. **Şekil 3** (b)'de $L_0=0.50L$ kaynak noktası, $\lambda=0^\circ$ için üst parçanın kalınlığı $t_1=0.5$ mm'de özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerinin 16.85 kJ/kg'dan artmaya başladığı $t_1=2.5$ mm'de 24.42 kJ/kg ulaştığı görülmektedir. $\lambda=5^\circ$ koniklikte özgül enerji absorpsiyon (SEA) değeri 26 kJ/kg seviyesinde yatay bir seyir izlemiştir. $\lambda=10^\circ$ koniklikte $t_1=0.5$ mm'de özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerinin 45.80 kJ/kg'dan $t_1=2.5$ mm'de 24.13 kJ/kg'a düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde $\lambda=15^\circ$ koniklikte $t_1=0.5$ mm'de özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerinin 38.87 kJ/kg'dan azalmaya başlayıp $t_1=2.5$ mm'de 21.56 kJ/kg olduğu görülmektedir.

Şekil 3 (c)'de $L_0=0.75L$ kaynak noktası, $\lambda=0^\circ$ için özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerinin $t_1=0.5$ mm'de 8.4 kJ/kg'dan lineere yakın bir şekilde artmaya başlayıp $t_1=2.5$ mm'de 25.70 kJ/kg'a ulaştığı görülmektedir. $\lambda=5^\circ$ koniklik için özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerinin $t_1=0.5$ mm'de 7.90 kJ/kg'dan artmaya başlamış, $t_1=1.69$ mm'de maksimum değeri olan 35.02 kJ/kg değerinden azalmış ve $t_1=2.5$ mm'de 29.01 kJ/kg olmuştur. $\lambda=10^\circ$ koniklik için özgül enerji absorpsiyon değerinin $t_1=0.5$ mm'de 5.59 kJ/kg'dan artmaya başlamış, $t_1=1.65$ mm'de maksimum değeri olan 29.85 kJ/kg değerinden azalmış ve $t_1=2.5$ mm'de 24.85 kJ/kg olmuştur. Benzer şekilde $\lambda=15^\circ$ koniklik için özgül enerji absorpsiyon (SEA) değerinin $t_1=0.5$ mm'de 4.36 kJ/kg'dan artmaya başlamış, $t_1=1.58$ mm'de maksimum değeri olan 26.16 kJ/kg değerinden azalmış ve $t_1=2.5$ mm'de 21.52 kJ/kg'a düşmüştür.

Şekil 4'da pik kuvvetler üst parçanın kalınlığına, farklı kaynak noktalarına ($L_0=0.25L$, $L_0=0.50L$ ve $L_0=0.75L$) ve farklı konikliklere ($\lambda=0^\circ$, $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$) göre değişimi görülmektedir. **Şekil 4** (a)'da $L_0=0.25L$ kaynak noktası ve $\lambda=0^\circ$ için $t_1=0.5$ mm'de tepe kuvveti 17.5 kN $t_1=2.5$ mm'de 71.87 kN, $\lambda=5^\circ$ koniklik için $t_1=0.5$ mm'de tepe kuvveti 16 kN $t_1=2.5$ mm'de 113 kN, $\lambda=10^\circ$ koniklik için $t_1=0.5$ mm'de tepe kuvveti 16.75 kN $t_1=2.5$ mm'de 96.61 kN ve $\lambda=15^\circ$ koniklik için $t_1=0.5$ mm'de tepe kuvveti 10.06 kN $t_1=2.5$ mm'de 47.91 kN olmuştur. **Şekil 4** (b)'de $L_0=0.50L$ kaynak noktasında ve $\lambda=0^\circ$ haricindeki analizlerde üst parçanın kalınlığının artması ile tepe kuvveti lineere yakın bir artış göstermiştir. $\lambda=0^\circ$ 19.67 kN'dan artarak $t_1=2.5$ mm'de 75.92 kN olmuştur. $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$ konikliklerde sırasıyla $t_1=0.5$ mm'de tepe kuvvetleri 21.86 kN, 22.32 kN, 11.90 kN olurken $t_1=2.5$ mm'de 113.46 kN, 156.16 kN, 105.59kN olmaktadır. **Şekil 4** (c)'de $L_0=0.75L$ kaynak noktası $\lambda=0^\circ$, $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$ koniklikte $t_1=0.5$ mm'de tepe kuvvetleri sırayla 18.92 kN , 18.55 kN, 18.74 kN ve 12.49 kN olurken $t_1=2.5$ mm'de 80.79 kN, 113.85 kN, 11.61 kN ve 103.94 kN olmuştur.

Şekil 5'de çarpma kuvvet verimi (CFE) üst parçanın kalınlığına, farklı kaynak noktalarına ($L_0=0.25L$, $L_0=0.50L$ ve $L_0=0.75L$) ve farklı konikliklere ($\lambda=0^\circ$, $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$) göre değişimi görülmektedir. $L_0=0.25L$, $L_0=0.50L$ kaynak noktalarında $\lambda=0^\circ$ için çarpma kuvvet verimi (CFE) yatay bir seyir izlerken; $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$ koniklik değerleri için üst parçanın kalınlığının artması ile çarpma kuvvet veriminin (CFE) parabolik olarak azaldığı görülmektedir. $L_0=0.75L$ kaynak noktası için farklı çarpma kuvvet verimi (CFE) 0.2 ile 0.4 değerleri arasında yatay olarak değişmiştir.



Şekil 5. Üst parçanın kalınlığına bağlı olarak çarpma kuvvet verimi (CFE) değişimi (a) $L_0=0.25L$, (b) $L_0=0.50L$ ve (c) $L_0=0.75L$

4. SONUÇLAR

TWT'lerin aksenal yükler altındaki çarpışma davranışlarını belirlemek için sayısal analizleri yapıldı. Analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Özgül enerji emilim (SEA) değerleri üst parçanın kalınlığının artması ile $L_0=0.25L$ kaynak noktası ve farklı koniklikler için sabit bir seyir izlerken, $L_0=0.50L$ kaynak noktasında $\lambda=0^\circ$ için artmış, $\lambda=5^\circ$ için fazla bir değişim göstermemiş $\lambda=10^\circ$, $\lambda=15^\circ$ için azalmış ve $L_0=0.75L$ kaynak noktasında bütün koniklikler için parabolik olarak artmıştır.

2. Pik kuvvetler, kaynak noktasının ve üst parçanın kalınlığının artması ile artmıştır.

3. çarpma kuvvet verimi (CFE) üst parçanın kalınlığının artması ile $L_0=0.25L$ ve $L_0=0.50L$ kaynak noktalarında $\lambda=0^\circ$ için yatay bir seyir izlemiş, $\lambda=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$ ve $\lambda=15^\circ$ koniklik değerleri için parabolik olarak azalmıştır. $L_0=0.75L$ kaynak noktası ve farklı koniklikler için çarpma kuvvet verimi (CFE) değeri üst parçanın kalınlığının artması ile fazla bir değişim göstermemiştir.

REFERANSLAR

- [1] X. Huang ve G. Lu, «Axisymmetric progressive crushing of circular tubes,» International Journal of Crashworthiness, no. 8(1), pp. 87-95, 2003
- [2] O. Jensen, M. Langseth ve O. Hopperstad, «Experimental investigations on the behaviour of short to long square aluminium tubes subjected to axial loading,» International Journal of Impact Engineering-Eighth International Symposium on Plasticity and Impact Mechanics (IMPLAST 2003), no. 30(8-9), pp. 973-1003, 2004.
- [3] X. Zhang, Q. Tian ve T. Yu, «Axial crushing of circular tubes with buckling initiators,» Thin-Walled Structures, no. 47(6-7), pp. 788-797, 2009.
- [4] G. Lu ve T. Yu, Energy absorption of structures and materials, Woodhead: Cambridge, 2003.
- [5] H. R. Zarei ve M. Kroger, «Optimization of the foam-filled aluminum tubes,» Thin-Walled Structures, no. 46(2), pp. 214-221, 2008.
- [6] A. Hanssen, M. Langseth ve O. Hopperstad, «Static and dynamic crushing of square aluminium extrusions with aluminium foam filler,» International Journal of Impact Engineering, no. 24(4), pp. 347-383, 1999.
- [7] M. Langseth ve O. Hopperstad, «Static and dynamic axial crushing of square thin-walled aluminium extrusions,» International Journal of Impact, no. 18(7-8), pp. 949-968, 1996.
- [8] S. Meguid, M. Attia, J. Stranart ve W. Wang, «Solution stability in the dynamic collapse of square aluminium columns,» International Journal of Impact Engineering, no. 34(2), pp. 348-359, 2007.
- [9] Z. Ahmad, Impact and Energy Absorption of Empty and Foam-filled Conical Tubes, PHD thesis, 2009
- [10] Padmanabhan R, Oliveira MC, Menezes LF. Deep drawing of aluminium-steel tailor-welded blanks. Materials and Design 2008;29:154-60.

Materials and Design , 29:154–160.

- [11] Fish, J, Oskay, C, Fan, R, AL6061-T6-elastomeer impact simulations, Rensselaer polytechnic institute. Research report; 2005.
- [12] Sasso M, Newaz G, Amodio D. Material characterization at high strain rate by Hopkinson bar tests and finite element optimization. *Materials Science and Engineering A* 2008;487:289–300.
- [13] LS-DYNA keyword user's manual, version 971. LSTC; 2010.