

## Otobüslerde Lazer Kaynak ile Birleştirme Üzerine Nümerik Bir İnceleme

Fatih Karpat<sup>1\*</sup>, Celalettin Yüce<sup>1</sup>, Gülbiye Meriç<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Gülyüz Karoseri Otomotiv Sanayi ve Tic. A.Ş., Türkiye

\*(karpat@uludag.edu.tr)

(Geliş Tarihi: 16 Mayıs 2024, Kabul Tarihi: 25 Mayıs 2024)

(3rd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2024, May 16-17, 2024)

**ATIF/REFERENCE:** Karpat, F., Yüce, C. & Meriç, G. (2024). Otobüslerde Lazer Kaynak ile Birleştirme Üzerine Nümerik Bir İnceleme. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(4), 349-356.

**Özet** – Otomotiv endüstrisi günümüzde çok sayıda ülke sanayisinin en önemli ekonomi unsurudur. Gerek kara ulaşımının her geçen gün artmasıyla gerekse nüfus artışlarıyla beraber otomotiv endüstrine talep artmış ve böylece birçok ülkede gerek otomobil gibi binek taşıtlara gerekse otobüs, minibüs, kamyon, tır gibi yük ve yolcu taşıtlarına yönelik ana üretici ve tedarikçi firmalar kurulmaya başlanmıştır. Kara taşıtları binlerce alt bileşenlerden meydana gelmektedir. Bu sebeple bu sektör için en önemli üretim proseslerinden biri montajdır. Bunun için yapııştırma, mekanik birleştirme gibi birçok farklı yöntemler olsa da günümüzde kaynak yöntemlerinin kullanımı günbegün artmaktadır. Kaynak yöntemleri arasında en dikkat çekici olanlardan biri otomasyona uygunluğu sebebiyle lazer kaynağıdır. Bu çalışmada paslanmaz çeliğin lazer kaynak metoduyla birleştirilmesi ve buna bağlı olarak kaynak hızı ve lazer gücünün kaynak dikişinin üzerindeki etkilerine simülasyon ortamında nümerik olarak ele alınmıştır. Çalışmada ilk aşama sac parçalarının tasarımı gerçekleştirilmiş olup sonraki adımda mesh yapısı oluşturulmuştur. Yatak ve mengenelerin tanımlamasının ardından kaynak hızı ve lazer gücünün tanımlanması ile model tamamlanmıştır. Bu çalışmada üç farklı kaynak hızı ve iki farklı lazer gücü kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 2 kW lazer gücü ile tüm kaynak hızlarında tam penetrasyonun gerçekleştiği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda en büyük kaynak dikiş genişliği 10 mm/s kaynak hızı ve 2 kW lazer gücü ile gerçekleştiği gözlenmişken en düşük kaynak dikiş genişliği 30 mm/s kaynak hızı ile 1 kW lazer gücü ile elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları genel olarak ele alındığında kaynak dikiş geometrisinde lazer gücünün daha efektif olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler** – Otobüs, Lazer Kaynak, Kaynak Dikişi, Kaynak Hızı, Lazer Gücü

### I. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi günümüzde dünyanın en önemli endüstrileri arasındadır. 20. Yüzyılın başlarından itibaren büyümeye başlayan bu endüstri artık birçok ülke ekonomisinin ana unsuru konumundadır. Her ne kadar başlangıç aşamasında Kuzey Amerika ve Avrupa kıtasında yayılmaya başlamış olsa da günümüzde Asya kıtasında da büyük otomotiv kuruluşları bulunmaktadır ve her geçen gün bu kuruluşların sayısı artmaktadır. Günümüzde Asya-Okyanusya bölgesi en fazla taşıt üretilen bölgedir[1].

Otomotiv sektörü otomobil, kamyon, tır, otobüs gibi birçok farklı sınıftaki taşıtı kapsamaktadır[2]. Bu taşıtların hepsinde farklı isterler olması sebebiyle üretici firmaların odak noktaları değişmektedir. Fakat gerek binek taşıtlar olsun gerekse ticari taşıtlar olsun hepsinde beklenen temel unsur gerekli mukavemete

sahip olmasıdır. Bu noktada kritik hususlardan biri üretim aşamasının en kritik kısımlarından biri olan montaj veya başka bir deyişle birleştirmedir. Taşıtlar çoğunlukla metal malzemelerden oluşturuldukları için özellikle metal malzemelerin birleştirilmesi daha büyük önem arz etmektedir.

Metal malzemelerin birleştirme yöntemleri mekanik birleştirme, kaynakla birleştirme ve yapıştırıcı ile birleştirme olarak üç ana başlık altında incelenebilir[2]. Bu birleştirme türleri içerisinde kaynakla birleştirme her geçen gün daha fazla yaygınlaşan bir metot olup kullanım miktarı günbegün artmaktadır.

Kaynakla birleştirme yöntemini en sade şekilde tanımlamak istersek çok sayıda parçanın ısı ve veya basınç ile bir araya getirilmesi olarak tanımlayabiliriz. Kaynakla birleştirmenin birçok farklı türü bulunmaktadır:

- Gazaltı kaynağı
- Demirci kaynağı
- Elektrik ark kaynağı
- Punto kaynağı
- Lazer kaynağı vd.[3].

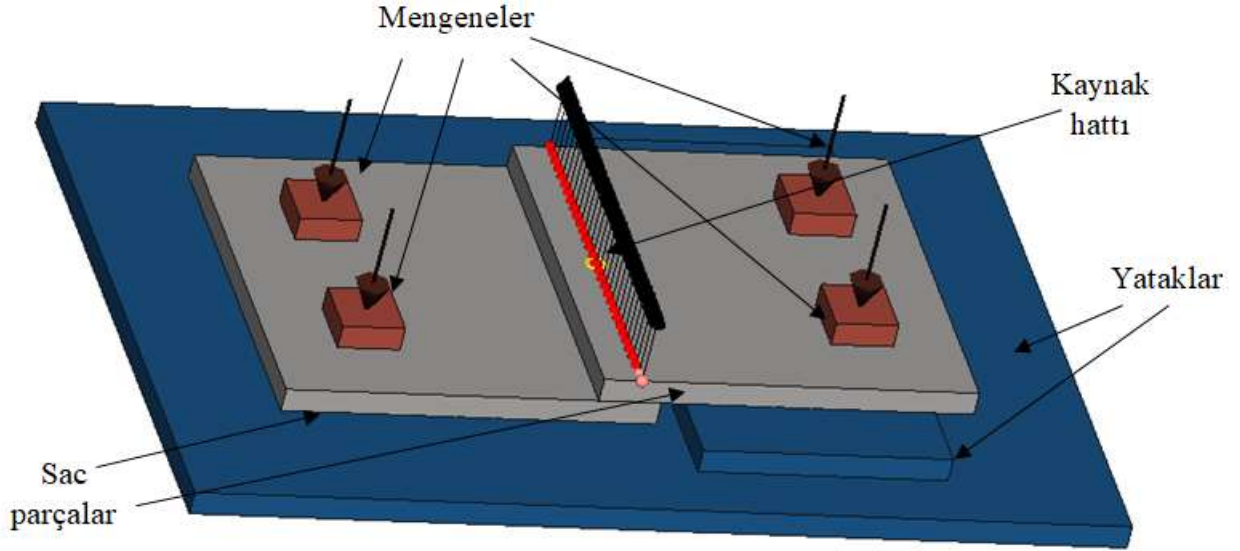
Bu türler içerisinde günümüzde en çok dikkat çeken ve geliştirilmesi üzerine odaklanılan kaynak türü lazer kaynağıdır. Lazer kaynağı otomasyona uygunluk, yüksek verim, düşük ısı girdisi, ısı tesiri altındaki bölgenin dar olması ve yüksek hassasiyet gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır[3]–[6]. Literatür ele alındığında gerek otobüs mukavemeti gerekse lazer kaynağı üzerine çok sayıda çalışma olduğu görülmektedir.

Savran ve arkadaşları[7] çalışmalarında elektrik bir otobüsün yol dayanım testi sonucundaki durumunu araştırmıştır. Karpat ve arkadaşları[8] yaptıkları çalışmada elektrikli bir otobüsün maksimum yük altındaki durumunu nümerik olarak incelemiştir. Karpat ve arkadaşları[9] yaptıkları çalışmada bir otobüsün maksimum yük altındaki durumunu aks türüne göre ele almıştır. Yang ve arkadaşları[10] yaptıkları çalışmada hidrojen yakıtlı bir otobüsün farklı durumlara göre performansını nümerik olarak incelemiştir. Wang ve arkadaşları[11] yaptıkları çalışmada düşük ağırlık bir otobüs tasarımı oluşturmayı hedeflemiştir. Karamert ve Demir[12] yaptıkları çalışmada ticari bir otobüsün hafifletilmesine odaklanmıştır. Lopes ve arkadaşları[13] yolcu otobüsünün modal özellikleri üzerinde durmuştur. Yuce ve arkadaşları[5] yaptıkları çalışmada farklı çeliklerin lazer kaynak ile birleştirilmesini ele almıştır. Bir başka çalışmada Yuce ve arkadaşları[4] alüminyum ve çeliğin lazer kaynak ile birleştirilmesini incelemiştir. Nisar ve arkadaşları[14] A5083 alüminyum alaşımının lazer kaynağında parametre optimizasyonuna odaklanmıştır. Kannan ve arkadaşları[15] yaptıkları çalışmada nitinol'un lazer kaynağı üzerine odaklanmıştır. Masoumi ve arkadaşları[16] çalışmalarında lazer punto kaynağını ele almıştır. Auwal ve arkadaşları[17] bakır alaşımlarının lazer ile kaynağı üzerine kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirmiştir. Malikov ve arkadaşları[18] çalışmalarında alüminyum lazer kaynağı üzerine odaklanmıştır.

Bu çalışmada otobüslerde de yaygın olarak kullanılan 316H paslanmaz çeliğinin lazer kaynağı nümerik olarak ele alınmış olup kaynak parametrelerinin kaynak dikişi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Çalışma nümerik olarak gerçekleştirilmiş olup sonlu elemanlar analizi için Simufact Welding yazılımı tercih edilmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Paslanmaz çelik başta otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok farklı sektörde kullanılmaktadır. Bu çalışmada 316H paslanmaz çelik malzemesi tercih edilmiştir. Çalışmaya ilk olarak kullanılacak sac parçanın modellenmesi ile başlanmıştır. Bu çalışmada 2 mm kalınlığında 30 mm \* 30 mm boyutlarında bir sac tasarımı oluşturulmuştur. Sonraki aşamada mesh yapısına geçilmiştir. Bunun için 1 mm mesh boyutlarında hexahedral elemanlar kullanılmıştır. Sonraki aşamada parçalar üst üste gelecek şekilde montajlanmıştır. Böylece parçalar 5 mm'lik bir mesafede üst üste gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Ardından yapıya temel desteği sağlayacak olan yataklar oluşturulmuştur. Son olarak parçaların hareket kısıtını sağlaması için sistemde kullanılacak mengeneler tanımlanmıştır. Şekil 1'de oluşturulmuş olan modelin görünümü verilmiştir.



Şekil 1. Kaynak modeli

Sonraki aşamada bu çalışmada kullanılacak olan kaynak hızı ve kaynak gücü tanımlanmış olup bu parametreler tablo 1’de verilmiştir.

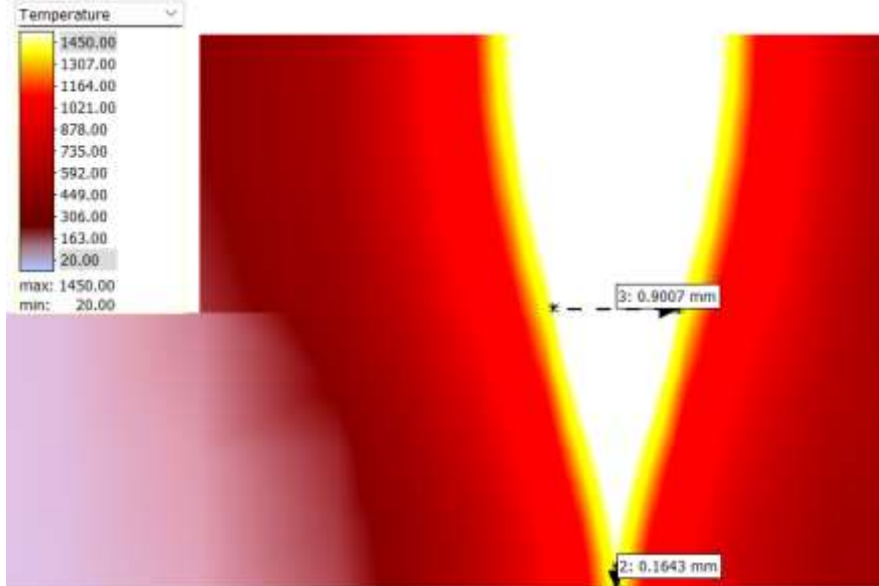
Tablo 1. Kaynak parametreleri

Seviye	Kaynak hızı (mm/s)	Kaynak gücü (kW)
1	10	1
2	20	2
3	30	-

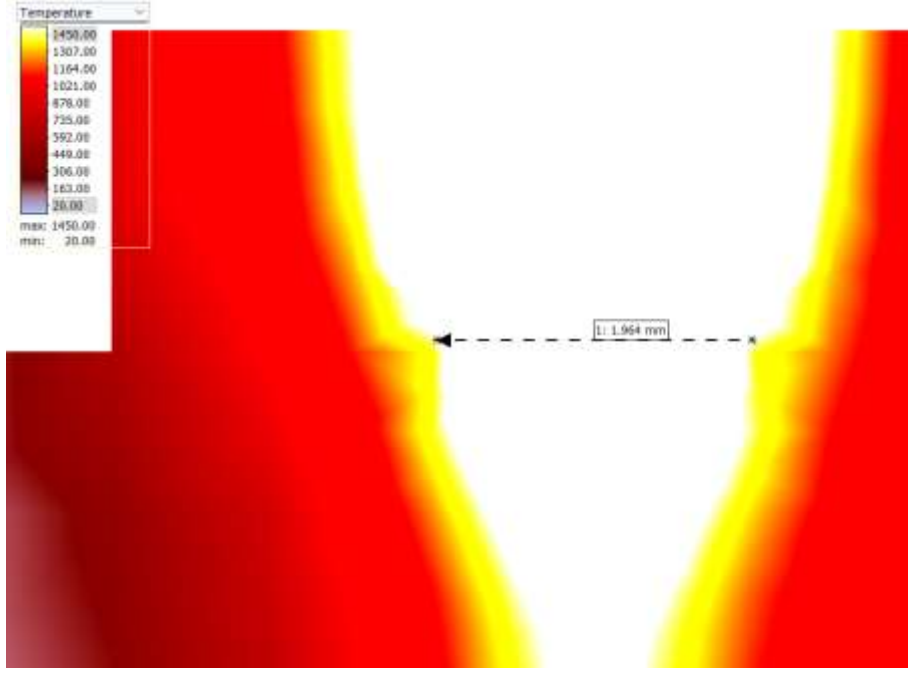
Tablo 1’de görüleceği üzere bu çalışmada 10 mm/s, 20 mm/s ve 30 mm/s olmak üzere üç farklı hız, 1 kW, 2 kW olmak üzere iki farklı lazer gücü tercih edilmiştir. Bu hız ve güç parametrelerine bağlı olarak toplam altı deney ile tam faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. Bu deney tasarımına bağlı olarak termal analizler gerçekleştirilmiştir.

### III. BULGULAR

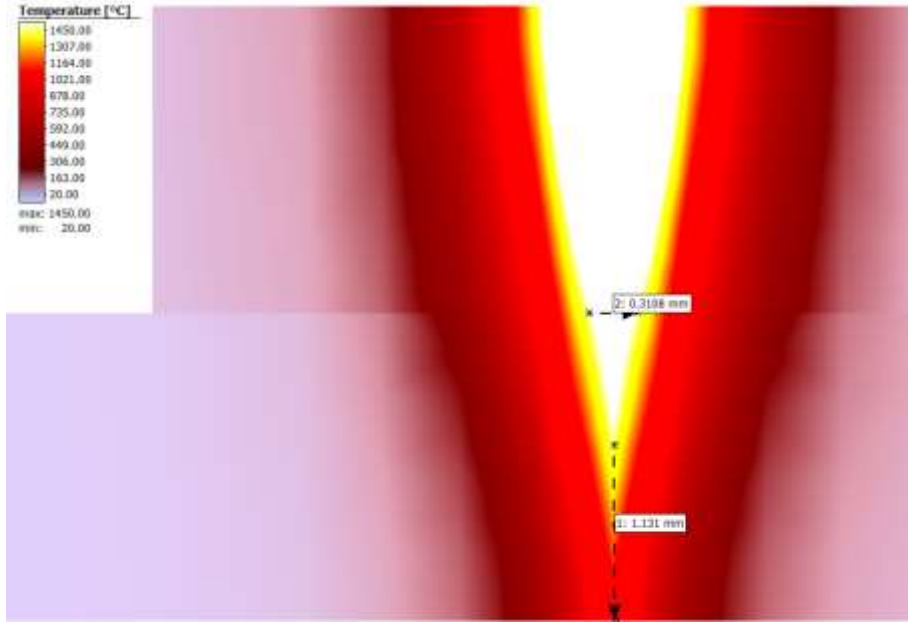
Alınan sonuçlar figür 2, figür 3, figür 4, figür 5, figür 6 ve figür 7’de sunulmuş olup sonuçlar ayrıca tablo 2’de toplu olarak verilmiştir.



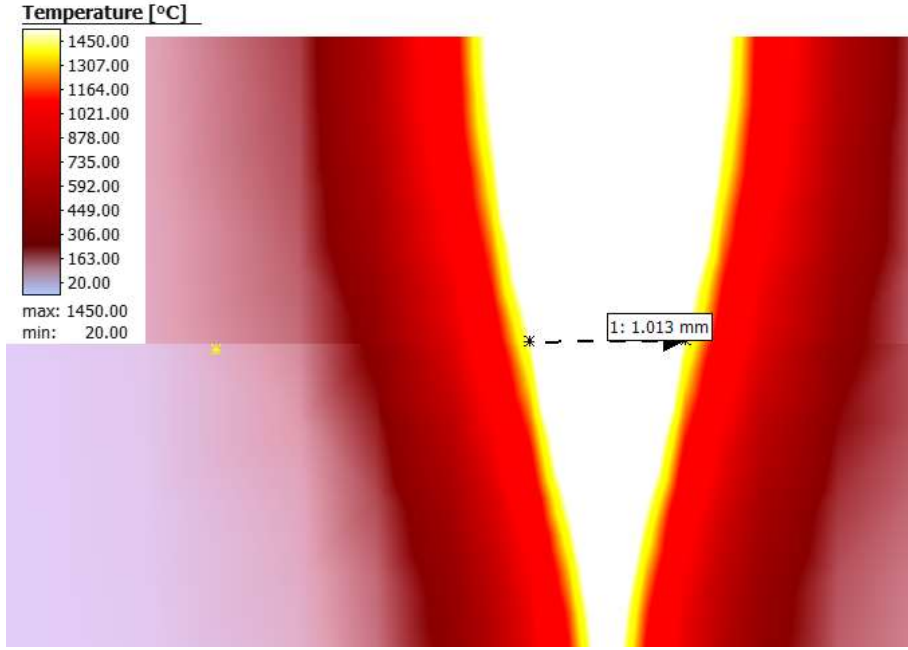
Şekil 2. 10 mm/s hız 1 kW simülasyon sonucu



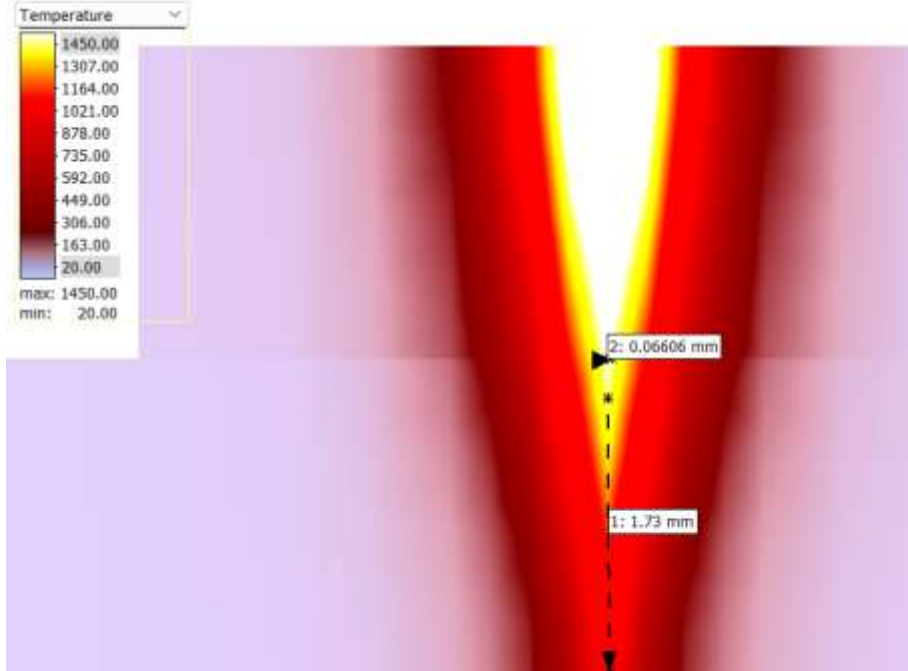
Şekil 3. 10 mm/s hız 2 kW simülasyon sonucu



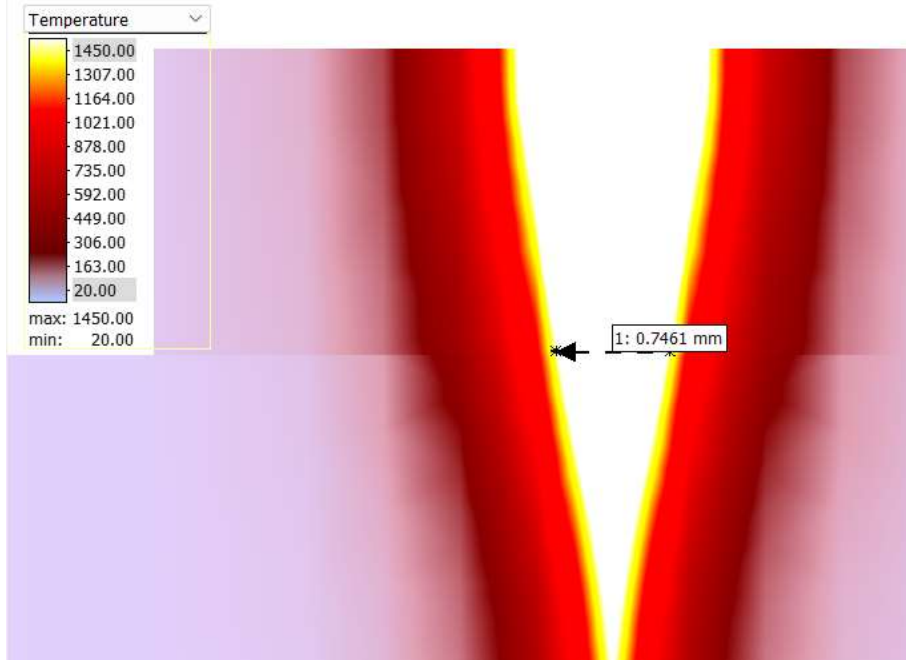
Şekil 4. 20 mm/s hız 1 kW simülasyon sonucu



Şekil 4. 20 mm/s hız 2 kW simülasyon sonucu



Şekil 4. 30 mm/s hız 1 kW simülasyon sonucu



Şekil 4. 30 mm/s hız 2 kW simülasyon sonucu

Tablo 2. Simülasyon sonuçları

Kaynak hızı (mm/)	Kaynak gücü (kW)	Kaynak genişliği (mm)	Kaynak derinliği (mm)
10	1	0,9007	3,8357
10	2	1,964	4
20	1	0,3108	2,869
20	2	1,013	4
30	1	0,06606	2,27
30	2	0,7461	4

#### IV. TARTIŞMA

Sonuçlar genel olarak ele alındığında hızdan bağımsız olarak 2 kW lazer gücü ile tüm simülasyonlarda tam penetrasyon gerçekleştiği görülmektedir. Fakat 30 mm/s hız 2 kW lazer gücü ile gerçekleştirilen çalışmada kaynak dikişinin en alt bölgede oldukça dar olduğu gözlenmektedir. Yine sonuçlar ısı girdisi üzerinden değerlendirildiğinde ısı girdisi arttıkça kaynak genişliği ve derinliği artmıştır. En düşük ısı girdisinin olduğu 30 mm/s hız ve 1 kW güç ile en düşük kaynak genişliği ve kaynak derinliği elde edilmişken en yüksek ısı girdisinin olduğu 10 mm/s hız ile 2 kW lazer gücü ile en yüksek kaynak genişliği elde edilmiş olup ayrıca tam penetrasyon gözlenmiştir. 10 mm/s kaynak hızı ve 1kW lazer gücü ile 20 mm/s kaynak hızı ile 2 kW lazer gücü ile parçalar aynı miktarda ısı girdisi olurken kaynak genişliğinin yaklaşık 0,1 mm ve kaynak derinliğinin ise yaklaşık 0,16 mm arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlardan kıyasla bu çalışmada lazer gücünün kaynak dikişi için daha etkin bir parametre olduğu söylenebilir. Fakat yüksek lazer gücüne sahip bir makinenin olmadığı durumda düşük kaynak hızıyla da kabul edilebilir bir kaynak geometrisi elde edilebileceği söylenebilir.

#### V. SONUÇLAR

Lazer kaynağı günümüzde otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan kaynak türlerinden biridir. Fakat efektif bir kaynak işlemi gerçekleştirebilmek için kaynak parametrelerinin doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada lazer kaynağının iki temel parametresi olan kaynak hızı ve lazer gücünün(kaynak gücü) kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda yüksek lazer gücüyle çalışma imkanının olmadığı durumlarda kaynak hızını düşürerek arzu edilen kaynak dikişi ölçülerine ulaşılacağı gözlenmiştir. Ayrıca doğru tasarlanmış simülasyon çalışmaları ile deneysel çalışmaya başlamak için gerekli ön çıkarımların elde edilebileceği de görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, FOA-2022-1098 sayılı Sözleşme kapsamında bu çalışmayı destekledikleri için Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKLAR

- [1] Otomotiv Sanayii Çalışma Grubu, “On Birinci Kalkınma Planı: Otomotiv Sanayii Çalışma Grubu Raporu (2019-2023),” Ankara, 2018.
- [2] M. K. Turan, C. Ensarioglu, A. Bakirci, and F. Karpat, “Impact performance of unconventional trigger holes,” *Materials Testing*, vol. 66, no. 3, pp. 389–396, 2024, doi: 10.1515/mt-2023-0253.
- [3] M. K. Turan, C. Yuçe, F. Karpat “Lazer Kaynağı ile Metal Malzemelerin Birleştirilmesi Üzerine Nümerik Bir İnceleme,” in *13. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 2023, pp. 259–266.
- [4] C. Yuçe, F. Karpat, and N. Yavuz, “Investigations on the microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar galvanized steel–aluminum joints,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 104, pp. 2693–2704, 2019, doi: 10.1007/s00170-019-04154-7.
- [5] C. Yuçe, M. Tutar, F. Karpat, and N. Yavuz, “The Optimization of Process Parameters and Microstructural Characterization of Fiber Laser Welded Dissimilar HSLA and MART Steel Joints,” *Metals*, vol. 6, no. 10, p. 245, 2016, doi: 10.3390/met6100245.
- [6] J. R. Deepak, R. P. Anirudh, and S. S. Sundar, “Applications of lasers in industries and laser welding: A review,” *Materials Today: Proceedings*, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.102.
- [7] E. Savran, B. Yıldırım Kılıncı, U. Çandır, and F. Karpat, “Mechanical Evaluation of Road Durability Test in Battery Electric Buses,” *International Journal of Automotive Science And Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 63–69, 2023, doi: 10.30939/ijastech..1212055.
- [8] F. Karpat, M. K. Turan, G. Meriç, and Y. Sevgi, “Elektrikli Bir Otobüsün Maksimum Yük Altındaki Davranışı Üzerine Nümerik Bir İnceleme,” *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, vol. 7, no. 11, pp. 495–500, 2023, doi: 10.59287/as-ijanser.662.
- [9] F. Karpat, M. K. Turan, G. Meriç, and Y. Sevgi, “32 Feet Uzunluğunda Bir Otobüsün Maksimum Yük Altındaki Durumunun Farklı Aks Türlerine Göre Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi,” *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, vol. 7, no. 11, pp. 420–424, 2023, doi: 10.59287/as-ijanser.650.
- [10] R. Yang, W. Zhang, S. Li, M. Xu, W. Huang, and Z. Qin, “Finite Element Analysis and Optimization of Hydrogen Fuel Cell City Bus Body Frame Structure,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 19, 2023, doi: 10.3390/app131910964.
- [11] P. Wang, Y. Bai, C. Fu, and C. Lin, “Lightweight design of an electric bus body structure with analytical target cascading,” *Frontiers of Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 1, p. 2, 2023, doi: 10.1007/s11465-022-0718-y.
- [12] S. KARAMERT and A. DEMİR, “Ticari Otobüs Gövde Yapısında Topoloji Optimizasyonu Çalışması,” *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, vol. 34, no. 2, pp. 229–234, 2022, doi: 10.7240/jeps.988228.
- [13] R. Lopes, B. V. Farahani, F. Q. de Melo, N. V. Ramos, and P. M. G. P. Moreira, “Dynamic Modal Analysis of a Passenger Bus: Theoretical and Numerical Studies,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2675, no. 12, pp. 264–279, 2021, doi: 10.1177/03611981211028863.
- [14] S. Nisar, A. Noor, A. Shah, U. Siddiqui, and S. Z. Khan, “Optimization of process parameters for laser welding of A5083 aluminium alloy,” *Optics & Laser Technology*, vol. 163, p. 109435, 2023, doi: 10.1016/j.optlastec.2023.109435.
- [15] T. D. B. Kannan, A. R. Shegokar, T. Ramesh, and P. Sathiya, “Modelling and experimental investigation on laser welding of nitinol,” *Emerging Materials Research*, vol. 6, no. 1, pp. 89–99, 2017, doi: 10.1680/jemmr.16.00113.
- [16] M. Masoumi, S. P. H. Marashi, and M. Pouranvari, “Metallurgical and Mechanical Characterization of Laser Spot Welded Low Carbon Steel Sheets,” *steel research international*, vol. 81, no. 12, pp. 1144–1150, 2010, doi: 10.1002/srin.201000064.
- [17] S. T. Auwal, S. Ramesh, F. Yusof, and S. M. Manladan, “A review on laser beam welding of copper alloys,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 96, pp. 475–490, 2018, doi: 10.1007/s00170-017-1566-5.

- [18] A. G. Malikov, A. A. Golyshev, and I. E. Vitoshkin, "RECENT TRENDS IN LASER WELDING AND ADDITIVE TECHNOLOGIES (REVIEW)," *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, vol. 64, no. 1, pp. 31–49, 2023, doi: 10.1134/S0021894423010054.