

Lazer İşaretleri ile Otomatik Hedef Tanıma

Nevzat OLGUN¹, İbrahim TÜRKOĞLU²

¹Corresponding Author; Bülent Ecevit Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Zonguldak, Türkiye;
nevzat.olgun@gmail.com; +90 372 5563573

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye;
iturkoglu@firat.edu.tr

Received 19 November 2018; Accepted 10 December 2018; Published online 18 December 2018

Özet

Gelişen teknoloji ile birlikte hedeflerin otomatik olarak tanımlanması ve sınıflandırılması üzerine yapılan çalışmaların sayısında da hızlı bir artış yaşanmıştır. Hedef tanımlama problemlerinde geleneksel olarak kameralar, radarlar ve sonar sistemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde nesnelere ayırt edici özellikleri dikkate alınarak tanımlama ve sınıflandırma işlemleri insanlar veya bilgisayar sistemleri aracılığı ile yapılmaktadır. Bu çalışmada geleneksel yöntemlerin aksine tek bir lazer ışık kaynağı ve algılayıcı sistem kullanılarak lazer ile işaretlenen hedeflerin tanımlanması ve sınıflandırılması önerilmektedir. Önerilen sistem ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, lazer işaretleri ile hedef tespiti yaklaşımının başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: lazer, hedef tanımlama, yapay zekâ, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları

Abstract

Together with the developing technology, there has been a rapid increase in the number of studies on automatic identification and classification of targets. Cameras, radars and sonar systems are traditionally used in target identification problems. In these methods, the identification and classification of the targets are made by means of people or computer systems by taking their distinctive features into account. In this study, it is recommended to define and classify targets pointed with laser by using a single laser light source and detecting system, as opposed to conventional methods. The results obtained from the experimental studies made with the proposed system show that the approach of target detection by laser light points gives successful results.

Keywords: laser, target identification, artificial intelligence, machine learning, artificial neural networks

1. Giriş

Lazer teknolojisinin kullanımı ticari, endüstriyel, savunma sanayi, tıbbi ve bilimsel uygulamalar için günden güne artış göstermektedir. Hali hazırda lazerler haberleşme, mesafe tespiti, fotoğrafçılık, spektroskopi, veri saklama, holografi ve ameliyatlarda kullanılmaktadır[1].

Lazerler, diğer ışık kaynaklarının aksine istenilen yönde, aynı fazda, aynı dalga boyunda ve birbirine paralel şekilde ilerleyebilmektedirler. Lazerler belirli bir dalga boyuna sahip olduklarından aynı renkte ışık yayarlar[2], [3]. Günümüzde derin ultraviyole ışık bölgesinden başlamak üzere, görünür ışık bölgesi ve uzak kızılötesi ışık bölgesi arasında dalga boylarına sahip lazerler mevcuttur[1], [4], [5].

Literatürdeki lazer ile yapılan hedef tanımlama çalışmaları incelendiğinde; çalışmalar hedefteki titreşimin tespiti ve bunların sınıflandırılması üzerine yoğunlaşmıştır.

Geleneksel Michelson interferometre tabanlı lazer titreşim ölçerleri [6], [7] ile kalp atışları ve nefes alıp verme esnasında ciltteki değişimleri gibi çok küçük miktardaki titreşimleri ölçülebilmektedir[7]–[12]. Bu teknik genellikle çok kararlı bir optik kurulum gerektirdiğinden ölçümler için laboratuvar ortamı gerekmektedir.

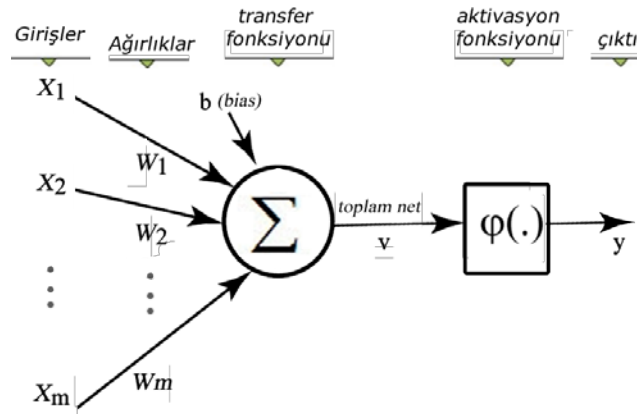
Lazer doppler vibrometre (LDV) de hedefteki titreşimleri ölçmede kullanılan diğer ölçüm tekniklerinden biridir [13]–[17]. LDV kullanılarak motorlu araçların çalışması esnasında oluşturdukları titreşimden faydalanılarak durum tespiti yapılmıştır [14], [18], [19]. Bu tür çalışmalarda kullanılan ticari

lazer titreşim ölçerler pahalı optiklerden oluşurlar ve giriş seviyesi bir cihaz bile on binlerce dolar seviyesindedir. Bu çalışmada kullanılan prototipin maliyeti ise 25 dolar seviyesindedir.

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak sadece lazer ışığı ve algılayıcı sistem kullanılarak cam bardak, el, kavak, mermer, tuğla ve 2 adet farklı taş materyali olmak üzere 7 farklı hedef türünün sınıflandırılması hedeflenmiştir. Algılayıcı sistemden elde edilen sinyaller ön işleme ve özellik çıkarımının ardından çok katmanlı yapay sinir ağları ile eğitilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) modeli ilk defa 1940'lı yılların başında McCulloch ve Pitts tarafından yayınlanan makalede basit mantık problemlerinin çözümü için önerilmiştir[20]. YSA insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş ve biyolojik sinir ağlarını örnek almaktadır. Şekil 1'de basit bir yapay sinir hücresi modeli görülmektedir. YSA eğitim aşamasında kendisine verilen örnekleri kullanarak genelleme yapmakta ve daha öncesinde hiç görmediği bir örnek ile karşılaştığında eğitim sonucunda elde ettiği ağırlıklar yardımı ile karar verebilmektedir.



Şekil 1. Yapay sinir hücresi modeli

Şekil 1'de gösterilen tek hücreli YSA modelinde Denklem 1'de gösterildiği gibi sinir hücresinin çıktısı \$X\$ girdi değerlerinin ağırlıklarının çarpımının, eşik değeri (bias) ile toplamından oluşur [21].

$$v = \sum_{i=1}^m w_i x_i + b \quad (1)$$

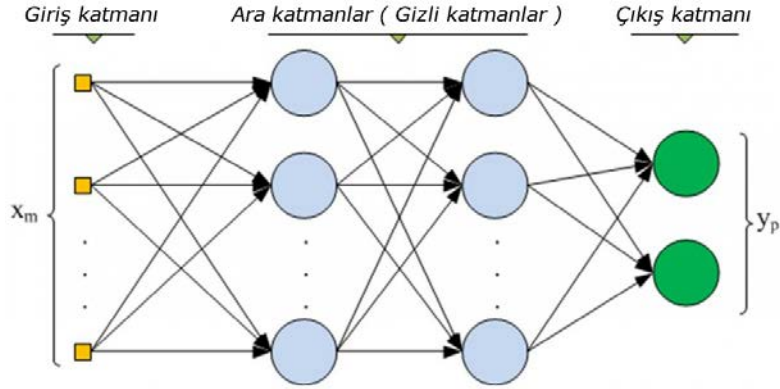
Denklem 1'de \$x_i, i=1,2,\dots,m\$ ile ağırlık girdileri, \$w_i, i=1,2,\dots,m\$ ile bu girdilere karşılık gelen ağırlık değerleri, \$b\$ ile eşik (bias) değeri, \$v\$ ile hücrenin çıktısı gösterilmiştir. Elde edilen hücrenin çıktısı \$\phi\$ aktivasyon fonksiyonundan geçirildiğinde ağırlık çıktısı olan bağımlı \$y\$ değeri -1 veya 1 değerini alır. Bu durum Denklem 2 ve Denklem 3'te verilmiştir.

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & v > 0 \\ -1, & v \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$y = \phi(v) \quad (3)$$

İnsan beyninde olduğu gibi yapay sinir hücreleride kendi aralarında birbirine ağırlıklar yardımı ile bağlanabilmekte ve hücreler arası veri aktarımı yapabilmektedirler. Tek hücreden oluşan YSA modeli

komplike problemleri çözmekten yoksundur. Daha karmaşık problemlerde çok katmanlı YSA mimarileri kullanılır. Çok katmanlı sinir hücreleri giriş katmanı, arakatman (gizli katman) ve çıkış katmanından oluşur. Katmanlar arasındaki bağlantılar ve ağırlıkların güncellenmesi farklı tasarım mimarilerine göre yapılabilmektedir. YSA'lar tasarım ve eğitim mimarilerine göre isimlendirilmektedir[22]. Şekil 2'de ileri beslemeli YSA örneği görülmektedir.



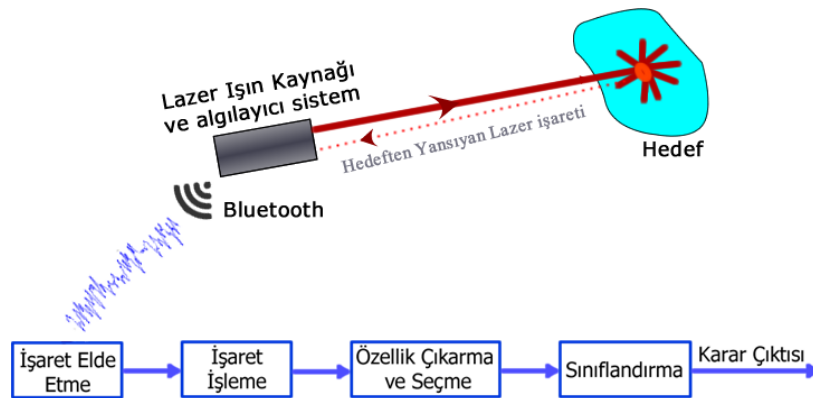
Şekil 2. İleri beslemeli YSA örneği[23]

Şekil 2'de belirtilen ileri beslemeli YSA örneğinde giriş katmanından alınan veriler ağırlıkları ile çarpılarak gizli katmana aktarılır ve gizli katmandaki sinirlere gelen veriler toplanarak aynı şekilde gelen veriler bir sonraki katmana aralarındaki ağırlıklarla çarpılarak aktarılır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1 Sistem Tasarımı

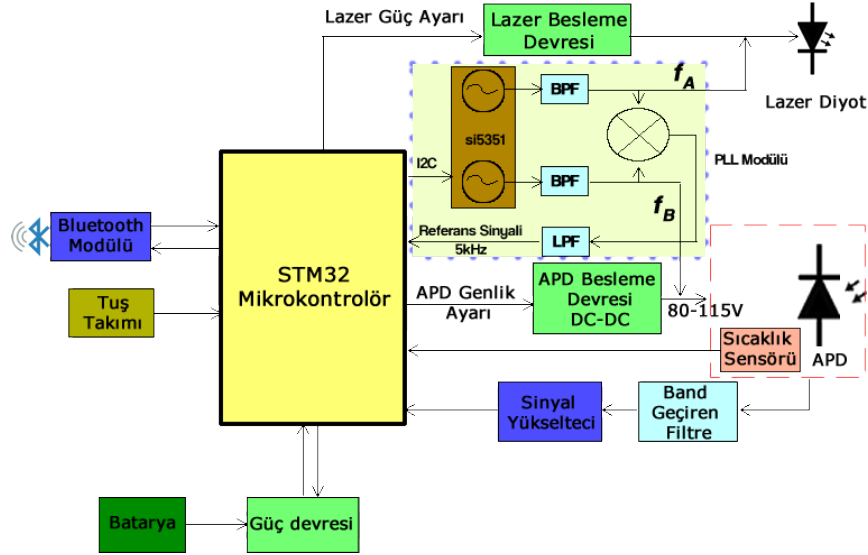
Çalışmada kullanılan sistemin Blok şeması Şekil 3'te verilmiştir. Çalışma kapsamında farklı hedef türleri lazer ışınları ile işaretlenmekte ve hedeften yansıyan ışınlar algılayıcı sistem ile elektrik sinyallerine dönüştürülerek bluetooth üzerinden bilgisayara aktarılmaktadır. Elde edilen işaretler ön işleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından geçirilerek karar çıktısı alınmaktadır.



Şekil 3. Çalışmanın blok şeması

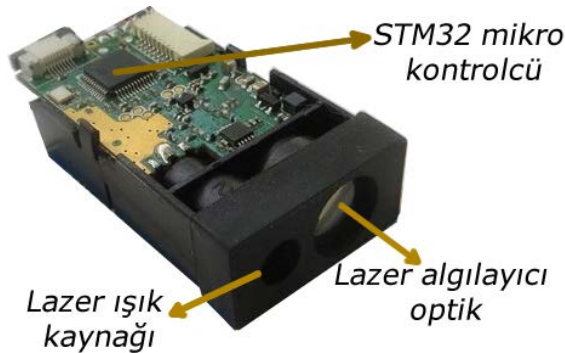
3.2 Lazer Işın Kaynağı ve Algılayıcı Sistem

Çalışma kapsamında piyasada bulunan bir lazer metre donanımı kullanılmıştır[24]. Lazer metreye bluetooth modülü eklenerek, üzerinde bulunan 32 bit Stm32 mikro kontrolcü yeniden programlanarak [25], lazer metrenin kablosuz bir lazer ışın kaynağı ve algılayıcı sistem olarak çalışması sağlanmıştır. Cihaz her ölçümde 2000 adet ham veri örneği alabilmektedir.



Şekil 4. Lazer ışık kaynağı ve algılayıcı sistemin blok şeması

Çalışmada kullanılan prototipte; 1mw çıkış gücüne sahip 630-660 nm dalga boyunda Class II lazer ışın kaynağı bulunmaktadır. Algılayıcı sistemde ise yüksek ışık duyarlığına sahip çığ foto diyot (avalanche photodiode - APD) kullanılmaktadır. Çığ foto diyotlar kendine yansıyan ışık dalgalarını elektrik sinyallerine dönüştürürler. Diğer foto diyotların aksine APD'ler yüksek kazançla sahiptirler. Bu foto diyotların kazançları ortamın sıcaklığından etkilenmekte ve kazançları besleme gerilimleri ile ayarlanabilmektedir. Algılayıcı sistemin blok şeması Şekil 4'teki gibidir. Sistemde kullanılan APD'nin kazanç katsayısı 80-115 V arasında DC besleme gerilimi ile ayarlanabilmektedir. Sistem üzerinde bulunan Faz kilitlemeli çevrim (Phase Lock Loop, PLL) modülü sayesinde lazer ışınları ve hedeften yansıyan ışıktan faz farkı hesaplanabilmektedir[26], [27]. Hesaplanabilen faz farkı sayesinde de hedefin uzaklığı tespit edilebilmektedir. Yapılan çalışmada sistem üzerinde bulunan PLL devresi devre dışı bırakılarak lazer ışınlarının sürekli modda çalışması sağlanmıştır. Şekil 5'te lazer ışık kaynağı ve algılayıcı sistem görülmektedir.



Şekil 5. Lazer ışık kaynağı ve alıcı sistem

3.3 Kullanılan Materyaller

Hedef analizi kapsamında cam bardak, el, kavak ağacı, mermer, tuğla ve 2 adet farklı taş türleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan materyaller Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Deneysel çalışmada kullanılan materyaller (soldan sağa sırasıyla bardak, el, kavak, mermer, tuğla ve 3 adet farklı taş türü)

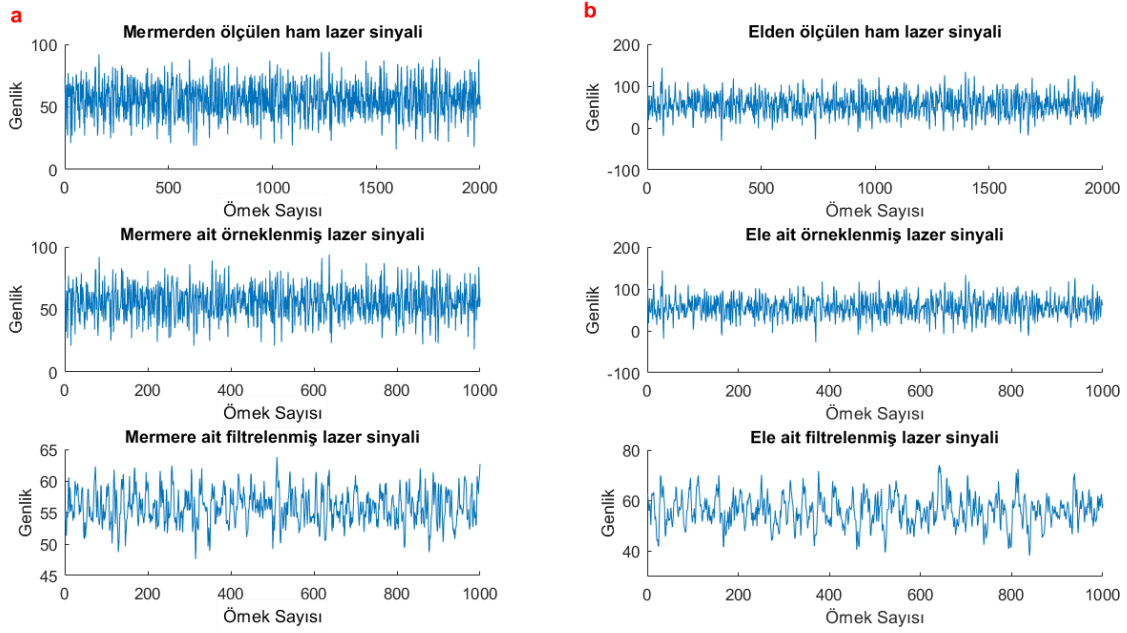
3.4 Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar gün ışığı olmayan ve yeterince aydınlatmayan LED ışık kaynağı altında kapalı bir alanda yapılmıştır. Ölçümler hedeften 130 cm uzaklıkta yapılmıştır. Şekil 7'de deneysel çalışma düzeneği görülmektedir.



Şekil 7. Deneysel çalışma düzeneği

Çalışmada her bir materyal için 50 adet ölçüm yapılmış ve her ölçüm öncesinde materyal kendi etrafında döndürülerek, ölçümlerin materyalin farklı bölgelerinden yapılması sağlanmıştır. Ölçüm cihazından elde edilen 2000 adet ham lazer sinyali alt örnekleme yapılarak 1000 örneğe düşürüldü. Özellik çıkarma işleminden önce örneklenen sinyaller pencere boyutu 10 olan ortalama filtresi ile ön işleme tabii tutuldu. Şekil 8'de mermer ve ele ait ham sinyaller, örneklenmiş sinyaller ve pencere boyutu 10 olan ortalama filtresi sonucu elde edilmiş sinyaller görülmektedir.



Şekil 8. Mermer ve ele ait lazer sinyalleri a) Mermere ait ham lazer sinyalleri, örneklenmiş sinyaller ve filtrelenmiş sinyaller b) Ele ait ham lazer sinyalleri, örneklenmiş sinyaller ve filtrelenmiş sinyaller

Her bir nesneye ait filtrelenmiş sinyallerden minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, enerji ve otokorelasyon katsayıları kullanılarak her bir sinyale ait 7 boyutlu özellik seti çıkartılmıştır.

Bu çalışmada sınıflandırma için ileri beslemeli çok katmanlı YSA kullanılmıştır. YSA’da veri setinin %70’i eğitim, %30’u ise test için kullanılmıştır. Veri setini oluşturan veriler her seferinde rastgele olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması ve Bayesian Regulation eğitim algoritması uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında Tablo 1’de belirtilen nesnelere ait sinyaller eğitime alınmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. YSA eğitim sınıfları ve parametreleri

Nesneler	Eğitim Modeli	Öğrenme katsayısı	Giriş Katmanı Nöron Sayısı	Gizli Katman Nöron Sayısı	Çıkış Katmanı Nöron Sayısı
<ul style="list-style-type: none"> • Bardak • El • Kavak • Mermer 	Bayesian Regulation eğitim algoritması	0.05	7	[10,8,5]	4
	Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması	0.05	7	[10,8,5]	4
<ul style="list-style-type: none"> • Beyaz taş • Mermer • Siyah taş • Tuğla 	Bayesian Regulation eğitim algoritması	0.05	7	[10,8,5]	4
	Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması	0.05	7	[10,8,5]	4

4. Sonuçlar

Her bir sınıflandırma hedef gurubu ve eğitim modeli için YSA 10’ar defa çalıştırılmıştır. Cam bardak, el, kavak, mermer için Bayesian Regulation eğitim algoritması kullanılarak test verilerinden elde edilen en yüksek sonuç %100 olmuştur. Bu durum Şekil 9’daki karışıklık matrisinde (confusion matris) görülmektedir.

Eğitim sonuçları - Karışıklık matrisi

Çıktı sınıfları	Hedef Sınıfları				
	Cam Bardak	El	Kavak	Mermer	
Cam Bardak	20 33.3%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
El	0 0.0%	14 23.3%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
Kavak	0 0.0%	0 0.0%	13 21.7%	0 0.0%	100% 0.0%
Mermer	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	13 21.7%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%

Şekil 9. Cam bardak, el, kavak ve mermer için en iyi sonucu veren test sonuçlarına ait karmaşıklık matrisi

Cam bardak, el, kavak, mermer için kullanılan her iki eğitim modeli kullanılarak elde edilen eğitim sonuçları ve test sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 2. Cam bardak, el, kavak, mermer için kullanılan Bayesian Regulation eğitim algoritması ile elde edilen başarımlar

Sınıflandırmaya Tabii Tutulan Nesnelere	Eğitim Modeli	Eğitim Başarımı	Test Başarımı
<ul style="list-style-type: none"> Bardak El Kavak Mermer 	Bayesian Regulation eğitim algoritması	100	96.7
		100	95.0
		100	100
		100	96.7
		100	93.3
		100	96.7
		100	93.3
		100	93.3
		100	98.3
		100	100
Ortalama		100	95,67

Tablo 3. Cam bardak, el, kavak, mermer için kullanılan Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması ile elde edilen başarımlar

Sınıflandırmaya Tabii Tutulan Nesnelere	Eğitim Modeli	Eğitim Başarımı	Test Başarımı
<ul style="list-style-type: none"> Bardak El Kavak Mermer 	Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması	100	90.0
		100	96.7
		100	96.7
		100	96.7
		100	93.3
		100	98.3
		100	95.0
		100	91.7
		100	90.0
		100	88.3
Ortalama		100	93,7

Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde bardak, el, kavak, mermer için en iyi sınıflandırma sonuçlarının Bayesian Regulation eğitim algoritması ile elde edildiği görülmektedir.

Beyaz taş, mermer, siyah taş ve tuğla için Bayesian Regulation eğitim algoritması kullanılarak test verilerinden elde edilen en yüksek sonuç %55 olmuştur. Bu durum Şekil 10'daki hata matrisinde görülmektedir.

Eğitim sonuçları - Karışıklık matrisi

Çıktı sınıfları	Eğitim sonuçları - Karışıklık matrisi				Başarımlar	
	Beyaz Taş	Mermer	Siyah Taş	Tuğla	Eğitim	Test
Beyaz Taş	6 10.0%	4 6.7%	3 5.0%	3 5.0%	37.5%	62.5%
Mermer	2 3.3%	5 8.3%	2 3.3%	5 8.3%	35.7%	64.3%
Siyah Taş	0 0.0%	1 1.7%	14 23.3%	2 3.3%	82.4%	17.6%
Tuğla	1 1.7%	3 5.0%	1 1.7%	8 13.3%	61.5%	38.5%
	66.7% 33.3%	38.5% 61.5%	70.0% 30.0%	44.4% 55.6%	55.0%	45.0%
	Beyaz Taş	Mermer	Siyah Taş	Tuğla		

Hedef Sınıfları

Şekil 10. Beyaz taş, mermer, siyah taş ve tuğla için en iyi sonucu veren test sonuçlarına ait karmaşıklık matrisi

Beyaz taş, mermer, siyah taş ve tuğla için kullanılan her iki eğitim modeli kullanılarak elde edilen eğitim sonuçları ve test sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 4. Beyaz taş, mermer, siyah taş ve tuğla için kullanılan Bayesian Regulation eğitim algoritması ile elde edilen başarımlar

Sınıflandırmaya Tabii Tutulan Nesneler	Eğitim Modeli	Eğitim Başarımı	Test Başarımı
<ul style="list-style-type: none"> • Beyaz taş • Mermer • Siyah taş • Tuğla 	Bayesian Regulation eğitim algoritması	98.6	41.7
		98.6	46.7
		27.1	20
		99.3	41.7
		100	45.0
		95.0	55.0
		100	55.0
		99.3	31.7
		98.6	40.0
96.4	41.7		
Ortalama		91.3	41.9

Tablo 5. Beyaz taş, mermer, siyah taş ve tuğla için kullanılan Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması eğitim algoritması ile elde edilen başarımlar oranları

Sınıflandırmaya Tabii Tutulan Nesnelere	Eğitim Modeli	Eğitim Başarımı	Test Başarımı
<ul style="list-style-type: none"> • Beyaz taş • Mermer • Siyah taş • Tuğla 	Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması	95,7	41,7
		95,0	41,7
		89,3	43,3
		97,1	36,7
		100	35,0
		95,0	51,7
		92,9	38,3
		100	45,0
		97,9	40
		87,9	53,3
Ortalama		95,1	42,7

Tablo 4 ve Tablo 5 incelendiğinde beyaz taş, mermer, siyah taş ve tuğla için ortalama sınıflandırma sonuçlarının en yüksek Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması ile elde edildiği görülmektedir.

Bu çalışmada, lazer ışık kaynağı ve algılayıcı sistem kullanılarak lazer ile işaretlenen farklı hedef türlerinin otomatik olarak tanımlanması ve sınıflandırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında farklı materyallerden lazer ışınları ile ham veriler elde edilmiş ve bu veriler bir ön işlemden geçilerek özellik çıkarma işlemi yapılmıştır. Ham lazer sinyallerinden elde edilen özellikler çok katmanlı bir YSA'da eğitilmiş ve sınıflandırma yapılmıştır. Önerilen sistem ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, lazer işaretleri ile hedef tanımlama yaklaşımının başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

İlerleyen zamanlarda yapılacak çalışmalarda lazer işaretleri ile hedef tanımlama sisteminde sınıflandırma performansının öğrenme verisi boyutuna bağlı olarak değişimi incelenebilir. Bu yönde yapılacak kapsamlı bir çalışma, lazer işaretleri ile yüksek başarımlı hedef tanımlanması için toplanması gereken örnek sayısı hakkında fikir verebilir.

Kaynaklar

- [1] H. Kaushal ve G. Kaddoum, "Applications of Lasers for Tactical Military Operations", *IEEE Access*, c. 5, ss. 20736–20753, 2017.
- [2] Peter W. Milonni ve Joseph H. Eberly, *Laser Physics*, 2. baskı. ohn Wiley & Sons, Incorporated, 2010.
- [3] R. Uğur ERTEM, "Investigation Of The Effect Of The Laser Welding Parameters Change On Welding Seam For Stainless Steel", *J. Eng. Nat. Sci.*, c. 31, ss. 583–593, 2013.
- [4] H. Xuan, H. Igarashi, S. Ito, C. Qu, Z. Zhao, ve Y. Kobayashi, "High-Power, Solid-State, Deep Ultraviolet Laser Generation", *Appl. Sci.*, c. 8, sayı 2, s. 233, Şub. 2018.
- [5] R. D. Schaeffer, *Fundamentals of Laser Micromachining - Ronald Schaeffer - Google Kitaplar*. CRC Press., 2012.
- [6] S. Yazdanfar, M. D. Kulkarni, ve J. A. Izatt, "High resolution imaging of in vivo cardiac dynamics using color Doppler optical coherence tomography", *Opt. Express*, c. 1, sayı 13, s. 424, Ara. 1997.
- [7] G. Berkovic ve E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements", *Adv. Opt. Photonics*, c. 4, sayı 4, s. 441, Ara. 2012.
- [8] C.-C. Wang vd., "Human life signs detection using high-sensitivity pulsed laser vibrometer", *IEEE Sens. J.*, c. 7, sayı 9, ss. 1370–1376, Eyl. 2007.
- [9] C. Wang, S. Trivedi, S. Kutcher, P. Rodriguez, ve F. Jin, "Non-Contact Human Cardiac

- Activity Monitoring Using a High Sensitivity Pulsed Laser Vibrometer”, ss. 6–7, 2011.
- [10] A. F. Fercher, “Optical coherence tomography”, *J. Biomed. Opt.*, c. 1, sayı 2, s. 157, 1996.
- [11] P. Rodriguez vd., “Pulsed-laser vibrometer using photoelectromotive-force sensors”, *Appl. Phys. Lett.*, c. 83, sayı 9, ss. 1893–1895, Eyl. 2003.
- [12] C. C. Wang, S. Trivedi, F. Jin, V. Swaminathan, P. Rodriguez, ve N. S. Prasad, “High sensitivity pulsed laser vibrometer and its application as a laser microphone”, *Appl. Phys. Lett.*, c. 94, sayı 5, s. 051112, Şub. 2009.
- [13] P. Lutzmann, B. Göhler, F. van Putten, ve C. A. Hill, “Laser vibration sensing: overview and applications”, 2011, s. 818602.
- [14] P. Lutzmann, B. Göhler, C. A. Hill, ve F. van Putten, “Laser vibration sensing at Fraunhofer IOSB: review and applications”, *Opt. Eng.*, c. 56, sayı 3, s. 031215, 2016.
- [15] H. Tabatabai, D. E. Oliver, J. W. Rohrbaugh, ve C. Papadopoulos, “Novel Applications of Laser Doppler Vibration Measurements to Medical Imaging”, *Sens. Imaging An Int. J.*, c. 14, sayı 1–2, ss. 13–28, Haz. 2013.
- [16] M. De Melis, U. Morbiducci, ve L. Scalise, “Identification of cardiac events by Optical Vibrocardiography: Comparison with Phonocardiography”, içinde *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings*, 2007.
- [17] L. Scalise ve U. Morbiducci, “Non-contact cardiac monitoring from carotid artery using optical vibrocardiography.”, *Med. Eng. Phys.*, c. 30, sayı 4, ss. 490–7, May. 2008.
- [18] O. Steinvall, “A Review of Laser Range Profiling for Target Recognition”, içinde *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, 2017.
- [19] M. R. Ward, T. J. Bihl, ve K. W. Bauer, “Vibrometry-based vehicle identification framework using nonlinear autoregressive neural networks and decision fusion”, içinde *IEEE National Aerospace and Electronics Conference*, 2014, ss. 180–185.
- [20] M. Marsalli, “McCulloch-Pitts Neurons (Overview)”. [Çevrimiçi]. Url: <http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/modOverview.php?modGUI=212>. [Erişim: 30-Eki-2018].
- [21] A. Abraham, “Artificial Neural Networks”, içinde *Handbook of Measuring System Design*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [22] A. Arı, M. Erşen Berberler, D. Eylül Üniversitesi, B. Bilimleri Bölümü Murat Erşen Berberler, ve B. Bilimleri Bölümü, “ACTA INFOLOGICA-2017-1 (2) Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı Information of Author(s)”, 2017.
- [23] M. T. Sarker, S. Noor, ve U. K. Acharjee, “Basic Application and Study of Artificial Neural Networks”, *SK Publ.*, c. 4, sayı 4, 2017.
- [24] И. Амохин, “Laser tape reverse engineering”, 2018. [Çevrimiçi]. Url: https://github.com/iliasam/Laser_tape_reverse_engineering. [Erişim: 31-Eki-2018].
- [25] STMicroelectronics, “STM32F100 Value Line - STMicroelectronics”, *STMicroelectronics*, 2018. [Çevrimiçi]. Url: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f100-value-line.html?querycriteria=productId=LN775>. [Erişim: 30-Eki-2018].
- [26] Silicon Labs, *Si5351a/b/c-b I2C-Programmable Any-Frequency Cmos Clock Generator + Vcxo Features Applications Description*. 2018.
- [27] T. Demirdelen vd., “Şebekeye Bağlı Sistemler İçin Üç Faz ve Tek Faz PLL’lerin Performans Değerlendirmesi”, *5. Enerj. Veriml. ve Kalitesi Sempozyumu -EVK 2013*, sayı 3, ss. 5–9, 2013.