Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi
Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Sciences Journal of Science
2022, 17(1): 242-249
DOI: 10.29233/sdufeffd.1098313
Atıf için / For Citation: N. Yumak, "Python tabanlı destek vektörü regresyon modeli kullanılarak farklı ısıtma hızlarında yaşlandırılmış β titanyum alaşımının sürtünme katsayılarının değerlendirilmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17(1), 242-249, 2022.
Araştırma Makalesi

Python Tabanlı Destek Vektörü Regresyon Modeli Kullanılarak Farklı Isıtma Hızlarında Yaşlandırılmış β Titanyum Alaşımının Sürtünme Katsayılarının Değerlendirilmesi

Nihal YUMAK[*1]

[1]*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, 03200, Afyon, Türkiye*

**yazışılan yazar e-posta: nyumak@aku.edu.tr*

(Alınış: 04.04.2022, Kabul: 24.05.2022, Yayımlanma: 27.05.2022)

Öz: Bu çalışmada, Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr metastabil β titanyum alaşımının mikro yapısal ve aşınma özelliklerine yaşlandırma sıcaklığına ısıtma hızının etkisi incelenmiştir. Alaşım yaşlandırma sıcaklığına 0,4°C/dk, 4°C/dk, 25°C/dk ve 50°C/dk olmak üzere dört farklı hızda ısıtılmıştır. Isıl işlemler sonrasında alaşımın mikro yapısal özellikleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiziyle incelenmiştir. Alaşımın mekanik özellikleri ise mikro sertlik ve aşınma testleri uygulanarak belirlenmiştir. En küçük boyda α fazları (393±43nm) 0,4°C/dk hızla yaşlandırma sıcaklığına ısıtılmış numunede elde edilmiştir. Isıtma hızının artmasıyla birlikte ise α fazları büyümüş ve böylece en yüksek mikro sertlik 0,4°C/dk hızla ısıtılan numunede, en düşük mikro sertlik ise 50°C/dk hızla ısıtılan numunede elde edilmiştir. Aşınma testleri 3N ve 10N olmak üzere iki farklı yükte ve 150 metre ve 400 metre olmak üzere iki farklı kayma mesafesinde uygulanmıştır. Aşınma testi sonrası kütle kaybı yük ve kayma mesafesinin artmasıyla birlikte tüm numune gruplarında artmıştır. Aşınma testleri sonrasında elde edilen verilere, istatistiki veri analizi uygulanarak sürtünme katsayıları tayin edilmiştir. Ayrıca aşınma testinde elde edilen sürtünme katsayısı verileri, %40 test ve %60 eğitim olmak üzere iki sete bölünmüştür. Model performansı, ortalama hata karesi, ortalama karekök sapması ve regresyon değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Model, farklı ısıtma hızlarında yaşlandırma sıcaklığına ısıtılmış numunelerin sürtünme katsayılarını %76'nın üzerinde doğrulukla tahmin edebilmiştir.

Anahtar kelimeler: Isıtma hızı, Aşınma direnci, Metastabil β titanyum alaşımı, Makine öğrenmesi, Destek vektörü regresyon modeli, Python

Investigation of Friction Coefficient of β Titanium Alloy Aged At Different Heating Rates Using A Python-Based Support Vector Regression Model

Abstract: In this study, the effect of heating rate on the microstructural and wear properties of Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr metastable β titanium alloy was investigated. Four heating rates, namely 0.4 °C/min, 4 °C/min, 25 °C/min, and 50 °C/min, were used during heating to the aging temperature. After heat treatment, the microstructural properties of the alloy were investigated by Scanning Electron Microscope (SEM) analysis. The mechanical properties of the alloy were determined by applying microhardness and wear tests. The finest α phases (393±43nm) were observed in the sample's microstructure, whose heating rate was 0.4 °C/min.. With the increase in the heating rate, the α phases grew, and thus the highest and the lowest microhardness were

Nihal YUMAK, nyumak@aku.edu.tr, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4492-7142

observed respectively at 0.4°C/min and at 50°C/min heating rates. Wear tests were carried out at loads of 3N and 10N and with two different sliding distances, 150 meters, and 400 meters. Mass loss after the wear test increased in all sample groups with increasing load and sliding distance. The friction coefficients were determined by applying statistical analysis to the data obtained from the wear tests. The data was divided into two sets, such as 40% test and 60% training. Model performance was evaluated by considering the mean square error, root means square error, and regression score value. The model was able to predict the friction coefficients of the samples heated to the aging temperature at different heating rates with an accuracy of above 76%.

Key words: Heating rate, Wear resistance, Metastable β titanium alloy, Machine learning, Support vector regression model, Python

1. Giriş

Destek vektörü regresyon modeli Vapnik tarafından sınıflandırma ve regresyon için kullanılmak üzere geliştirilen kernel tabanlı bir yöntemdir [1]. Yöntemin geleneksel metodlardan en büyük farkı doğrusal olmayan problemleri çözmedeki üstün performansıdır. Destek vektörü regresyon modelinin tüm bu özellikleri düşünüldüğünde, mühendislik problemlerinin çözümü için elverişli bir yöntem olduğu görülmektedir.

Metastabil β titanyum alaşımlarının kolay şekillendirilebilme, sertleştirilebilme, yüksek korozyon direnci ve nispeten hafif yapıları sayesinde biyomedikal ve havacılık gibi alanlarda kullanımı her geçen gün artmaktadır [2]. Yüksek ısıl işlem verimlilikleri sayesinde ise alaşımın ısıl işlemlerle birlikte mikro yapısı tasarlanarak mekanik özellikleri belirlenebilmektedir [3]. β geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda, alaşımın mikro yapısındaki metastabil β fazları, ısıl işlemler sırasında stabil β ve α fazlarına dönüşerek alaşımın çekme özelliklerini ve yorulma dayanımını arttırmaktadır [4], [5]. Literatür incelendiğinde, mikro yapının tasarlanmasında işlem sıcaklığının, süresinin, yaşlandırma işlem sıcaklığına ısıtma hızının ve yaşlandırma işlem basamaklarının (dubleks yaşlandırma gibi) oldukça etkili olduğu görülmüştür [2]. Ti-15Mo alaşımının yaşlandırma sıcaklığına 5°C/dk gibi bir ısıtma hızıyla ısıtıldığı çalışmada, ω fazının α fazı oluşmadan önce çözüldüğünü gözlemlenmiştir [6]. Öte yandan, daha yavaş bir ısıtma hızı olan 1,9°C/dk gibi bir ısıtma hızında ise α ve ω fazlarının bir arada oluştuğu bir sıcaklık aralığı tespit edilmiştir. Bir diğer çalışmada ise ısıtma hızının Ti-1,5Al-8Mo-3Cr-2,5Fe alaşımında tane sınırı α (α_{TS}) faz oluşumuna etkisi incelenmiştir [7]. Çalışma sonucunda düşük ısıtma hızıyla yaşlandırma işlemi uygulanan numunede α_{TS} fazı oluşumunun baskılandığı görülmüştür. Diğer bir çalışmada ise Ti-5Al-3Mo-3V-2Cr-2Zr-1Nb-1Fe alaşımına farklı ısıtma hızlarında (10°C/dk-100°C/dk) yaşlandırma işlemi uygulanarak ısıtma hızının alaşımın mikro yapısına etkisi değerlendirilmiştir[8]. O', ω_{iso} ve O" metasabil fazlarının oluşumunun ısıtma hızından etkilendiği gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen bir diğer ilginç sonuç ise yavaş ve hızlı ısıtma hızlarında, benzer akma mukavemeti elde edilirken, yavaş ısıtma hızında, sürekli α tabakaları yerine süreksiz α_{TS} kolonilerinin oluşumu nedeniyle daha iyi süneklik elde edilmiştir. Ayrıca ısıtma hızındaki yavaşlama ara fazların oluşumu için gerekli süreyi sağlayarak α fazlarının daha ince bir şekilde çökelmesine neden olmaktadır [2]. Metastabil β titanyum alaşımları kullanım şartlarında havacılık ve biyomedikal uygulamalarda sıkça aşınmaya maruz kalmaktadır [2]. Bu nedenle alaşımın kullanım alanlarını arttırmak için aşınma davranışlarını geliştirmek önemli hale gelmektedir. Yapılan bir çalışmada Ti-6Al-2Sn-2Zr-3Mo-1Cr-2Nb-Si

alaşımına çeşitli tiplerde ısıl işlem uygulanmış ve alaşım suda ve havada soğutularak, alaşımın mikro yapı, çekme ve aşınma özellikleri incelenmiştir[9]. Suda soğutulan alaşımda birincil α fazlarının %58 artmasıyla birlikte alaşımın en yüksek aşınma oranı elde edilmiştir. Dass ve Chauhan tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise Grade 5 titanyum alaşımının aşınma oranının yük ve kayma hızı ile birlikte değişimi incelenmiştir[10]. Sonuçlar, uygulanan normal yük ve kayma hızındaki artışla aşınma oranının arttığını göstermiştir. Bir diğer çalışmada ise Ti-6Al-4V alaşımının aşınma davranışları farklı yük ve kayma mesafesinde incelenmiştir [11]. Sonuçlar, artan kayma hızı ve azalan normal yük ile Ti-6Al-4V alaşımının aşınma oranının azaldığını göstermektedir. Ayrıca çalışmada birkaç istisna dışında normal yük arttıkça ortalama sürtünme katsayısı azalmıştır. Ayrıca tüm yükler ve kayma hızları için kayma mesafesi arttıkça ortalama sürtünme katsayısı da artmıştır. Yapılan çalışmalara rağmen metastabil β titanyum alaşımlarının aşınma davranışla hala üzerine araştırma yapılması gereken bir konudur.

Yapılan çalışmalarda aşınma testleri sonrası verilerin değerlendirilmesinde ve çeşitli tahminlerin yapılmasında makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan biri olan destek vektörü regresyon algoritmasının ise literatürde çok farklı alanlarda verimli şekilde kullanıldığı görülmektedir. Bunlara örnek verilebilecek bir çalışmada 1 Mart-20 Nisan 2020 arasındaki Covid verileri incelenerek salgının gelecek dönemlerdeki seyri hakkında bilgiler verilmiştir [12]. Bir diğer çalışmada ise karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları destek vektörü regresyon algoritması kullanılarak araştırılmıştır[13]. Görüldüğü gibi algoritmanın literatürde geniş bir kullanım alanı vardır. Fakat özellikle aşınma testi gibi malzemenin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Yapılan literatür araştırmasında farklı ısıtma hızlarında ısıl işlem uygulanmış metastabil β titanyum alaşımlarıyla ilgili çalışmalara rastlanmıştır. Fakat bu çalışmalar genellikle alaşımın mikro yapısal özellikleri üzerine odaklanmıştır. Isıtma hızının alaşımın mekanik özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu nedenle yapılan çalışmada, Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr alaşımına farklı ısıtma hızlarında yaşlandırma işlemi uygulanmış, ısıtma hızının alaşımın aşınma davranışlarına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar makine öğrenmesi algoritmalarından destek vektör regresyon modeli kullanılarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr alaşımının kimyasal kompozisyonu.

Ti	V	Al	Sn	Cr	Fe	C	N	O	H
Kalan	15,79	2,74	3,03	3,12	0,008	0,01	0,008	0,096	0,001

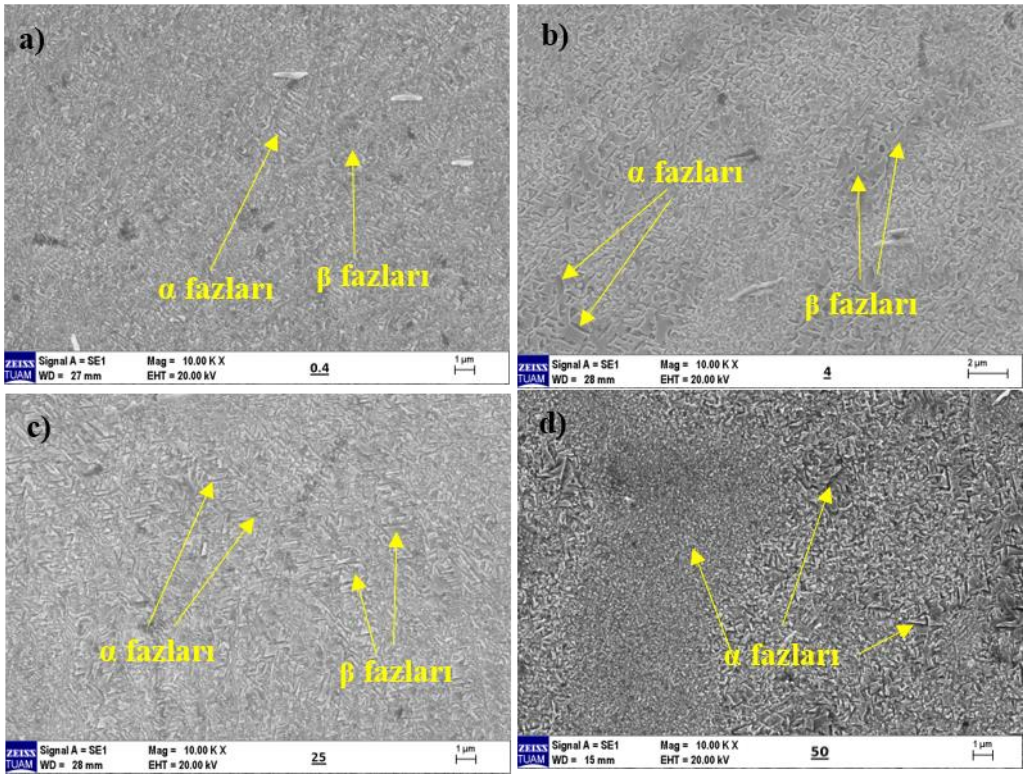
Çalışmada, 0,4°C/dk, 4°C/dk, 25°C/dk ve 50°C/dk olmak üzere dört farklı ısıtma hızı seçilerek Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr alaşımına tek basamaklı yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi yüksek yaşlandırma işlem sıcaklığı olan 500°C'de 10 saat uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemlerinde numuneler argon atmosferinde ısıl işlem sıcaklığına ısıtılmış, argon atmosferinde yaşlandırma işlem sıcaklığında 10 saat bekletilmiş ve yine argon atmosferinde fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Mikro yapı SEM (taramalı elektro mikroskopu) ve XRD analizi ile incelenmiş ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Numuneler mikro yapı incelemesi için 800, 1000 ve 1200 numara

zımpara kullanılarak zımparalanmış ardından 1μm alümina solüsyonu ile parlatılmıştır. Dağlayıcı olarak 2 ml HF, 2 ml HNO_3 ve 100 ml H_2O kullanılmıştır. Dağlayıcı 15-45 saniye arasında değişen sürelerde uygulanmıştır. SEM analizleri için hazırlanmış numuneler daha sonrasında LEO 1430 VP model SEM kullanılarak analiz edilmiştir. XRD faz analizleri ise Bruker Marka D8 Advance Model (2.2 KW Cu anot) cihaz kullanılarak 1^o/dk adım hızıyla 30-90^o aralığındaki 2θ değerleri taranarak incelenmiştir. Vickers mikro sertlik ölçümleri ise 500g yükün 10s boyunca uygulanması ile belirlenmiştir. Her bir numuneye mikro sertlik testleri 10 defa uygulanmış elde edilen sonuçların ortalaması verilmiştir. Farklı ısıtma hızlarıyla yaşlandırma sıcaklığına ısıtılan her bir numuneden elde edilen 10 SEM analizi görüntüsü MIPAR mikro yapı analizi programıyla incelenmiş ve numunenin mikro yapısındaki ortalama α fazı boyları ve genişlikleri bulunmuştur. MIPAR görüntü analiz programı bir algoritma geliştirme ve görüntü analizi yazılımı şirketi tarafından 2017 yılında geliştirilmiş, karmaşık görüntülerin işlenerek çeşitli ölçümlerinin yapılması için kullanılmaktadır. Aşınma testleri ball-on-disk tribometer kullanılarak, DIN 50324 standardına uygun olarak kuru ortamda, 3N ve 10N yük altında ve 150m ve 400m kayma mesafesinde uygulanmıştır. Kayma hızı ise 0,25 m/s olarak belirlenmiştir. Veri analizi için aşınma testlerinden elde edilen veri iki kolana bölünmüştür. Bunlardan kayma mesafesi bağımsız değişken ve sürtünme katsayısı ise bağımlı değişken olarak adlandırılmıştır. Daha sonrasında veriler %60 eğitim ve %40 test verileri olmak üzere ikiye bölünmüştür. Hem test hemde eğitim verilerine standartlaştırma işlemi uygulanmıştır. Her iki kolon için ayrı nesneler oluşturulmuştur. Eğitim ve test verileri, sklearn Python kütüphanesinin StandardScaler() nesnesi kullanılarak standartlaştırılmıştır. Destek vektör regresyon modeli hiperdüzlem için genelleştirilmiş denklem y = wX + b şeklindedir ve burada w ağırlıklar ve bX = 0'daki kesişme noktasıdır. Yöntemle elde edilen veriler, matplolib Python kütüphanesi kullanılarak çizilmiştir. Modelin performansı ise ortalama kare hata, ortalama karekök hata ve R^2 değerleri kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

3.1. Mikro yapı incelemeleri

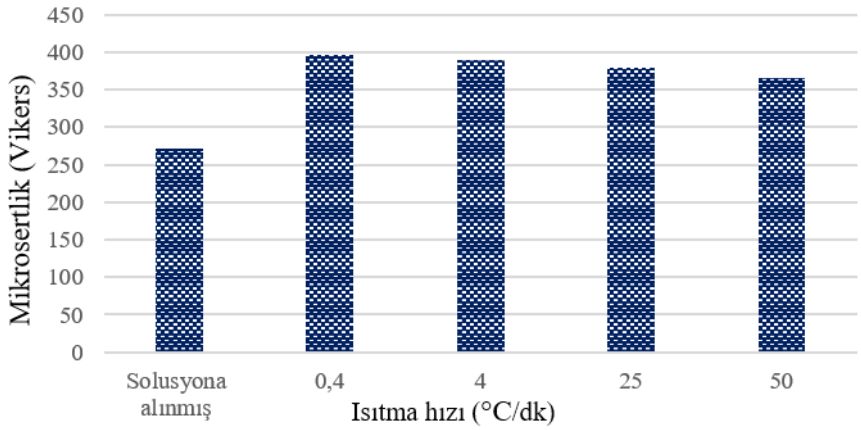
Yaşlandırma sıcaklığına ısıtma hızının yavaş şekilde gerçekleştiği durumlarda ara fazların oluşmasına imkân sağlandığı ve böylece α fazlarının daha ince bir şekilde çökeldiği yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir[2]. Burada da buna benzer bir sonuç elde edilmiştir. Şekil 1a'da görüldüğü gibi 0,4°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırılmış numunede mikro yapıda α fazları oldukça küçük boyutlarda çökelmiştir. MIPAR mikro yapı analiz programıyla yapılan incelemeler sonucunda 0,4°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırılmış numunede α fazı boylarının ve genişlikleri 393±43nm ve 83±12nm olarak bulunmuştur. Fakat ısıtma hızının 4°C/dk'ya arttırılmasıyla birlikte görüldüğü gibi α fazları büyümeye başlamıştır. Böylelikle 4°C/dk hızla yaşlandırma sıcaklığına ısıtılan numunede α fazlarının ortalama boy ve enleri ise 437±25nm ve 102±10nm olarak bulunmuştur(Şekil 1b). Isıtma hızının 25°C/dk'ya artmasıyla α fazları büyümeye devam etmiş ve α fazlarının ortalama boy ve enleri 620±50nm ve 95±12nm olarak bulunmuştur(Şekil 1d). 50°C/dk gibi yüksek bir ısıtma hızına çıkıldığında ise mikro yapıda α fazlarının küçük boyutlarda ve iri şekilde çökeldiği bölgeler oluşmuş ve mikro yapıda uniform olmayan bir dağılım ortaya çıkmıştır. 50°C/dk hızla yaşlandırma işlem sıcaklığına ısıtılan numunede ortalama α faz boyutları ise 641±109nm ve 111±40nm olarak ölçülmüştür(Şekil 1d).



Şekil 1. Farklı ısıtma hızlarıyla yaşlandırma sıcaklığına ısıtılmış numunelerin mikro yapı incelemeleri, a) 0,4°C/dk, b) 4°C/dk, c) 25°C/dk, d) 50°C/dk.

3.2. Mikro sertlik test sonuçları

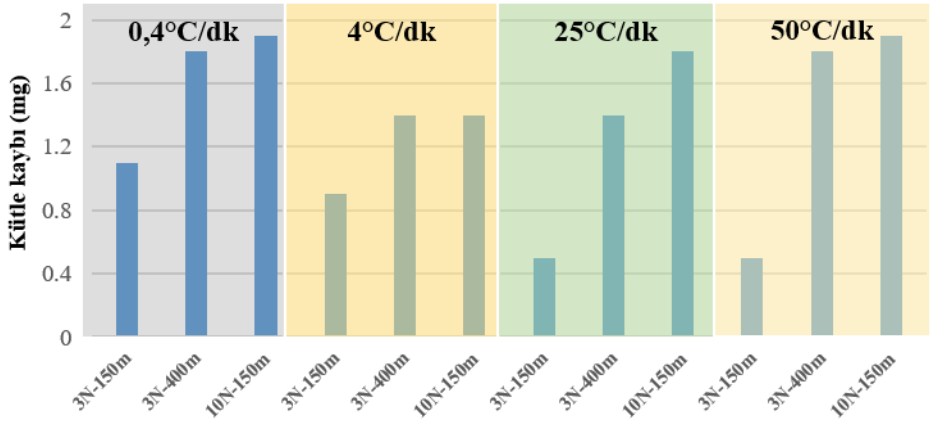
Mikro sertlik testi sonuçları incelendiğinde mikro yapı analizleriyle aynı doğrultuda sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Alaşımın mikro sertliği yaşlandırma sıcaklığına ısıtma hızının artmasıyla birlikte bir azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumun en büyük nedeni ısıtma hızlarının değişmesiyle birlikte mikro yapıda farklı boyutlarda ve hacimsel oranda çökelen α fazlarıdır. Düşük ısıtma hızlarında α fazları çok daha küçük boyutlarda çökelirken, artan ısıtma hızlarında daha büyük boyutlarda ve düzensiz bir dağılımda çökelmiştir. Böylelikle en küçük α fazlarının çökeldiği 0,4°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırma sıcaklığına ısıtılan numunede en büyük sertlik elde edilmiştir. Isıtma hızının artmasıyla ise 50°C/dk hızla ısıtılan numunede mikro sertlik yaklaşık %7 oranında daha düşük ölçülmüştür.



Şekil 2. Farklı ısıtma hızlarında yaşlandırılmış numunelerin mikro sertlikleri

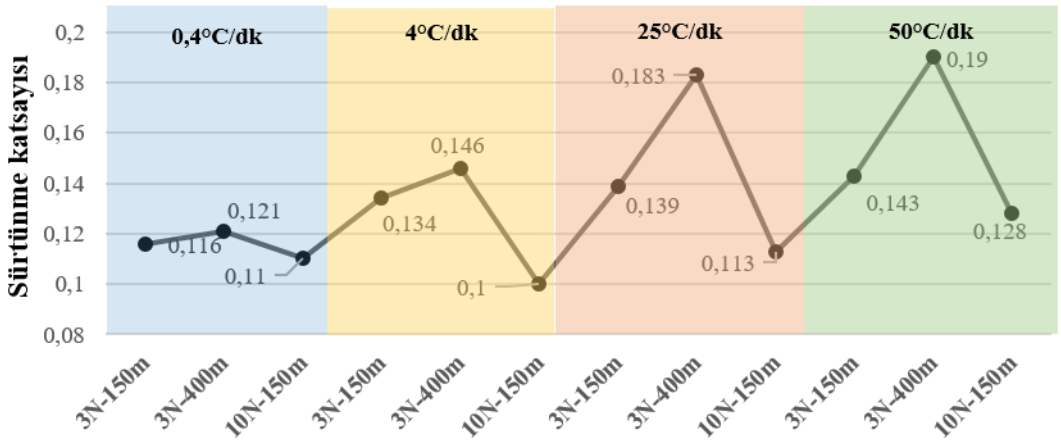
3.3. Aşınma testi sonuçları

Aşınma testlerinden elde edilen kütle kaybı ölçümleri Şekil 3'de verilmiştir. Görüldüğü gibi özellikle 3N yük altında 150 metre boyunca aşındırılan numunelerde en büyük kütle kaybı 0,4°C/dk ısıtma hızında gerçekleşmiştir. Aynı şartlar altında ısıtma hızının artmasıyla birlikte ise kütle kaybı sürekli olarak azalmıştır. Tüm ısıtma hızlarında artan yük ve kayma mesafesi kütle kaybı miktarını arttırmıştır. Bunun nedeni ise artan yük ve kayma mesafesiyle birlikte iki yüzey arasında sıcaklık artışının oluşması ve bu durumun malzeme yüzeyinin yumuşamasına ve kolayca deforme olmasına neden olmasıdır[12].



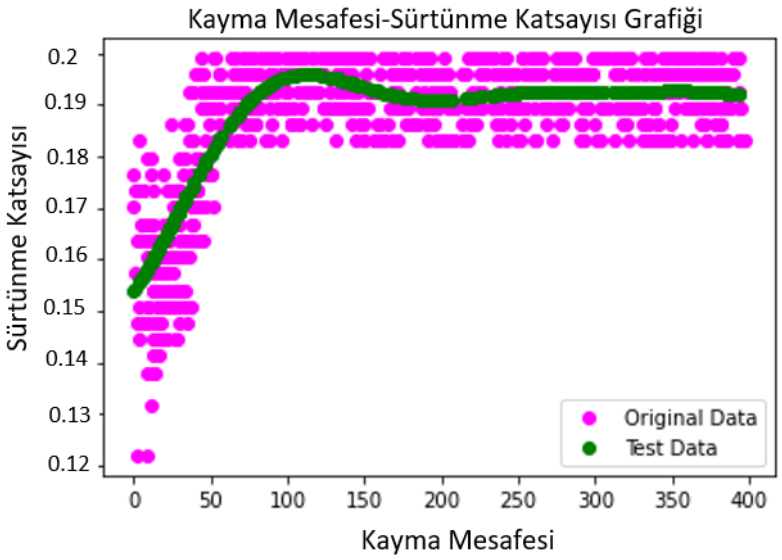
Şekil 3. Farklı ısıtma hızlarında yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin kütle kaybı değerleri

Sürtünme katsayısının kayma mesafesi boyunca değişimi aşınma testlerinde elde edilmiştir. Elde edilen veriler pandas kütüphanesi kullanılarak Phyton ile incelenmiştir. Farklı ısıtma hızıyla yaşlandırılmış numunelerin farklı yük ve kayma mesafesi ile birlikte sürtünme katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Aşınma testlerinden elde edilen en önemli sonuçlardan bir tanesi ısıtma hızının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının artmasıdır. Bu durum artan ısıtma hızıyla birlikte α fazlarının büyümesi ve mikro yapıda uniform olmayan dağılımlar göstermeye başlamasıyla açıklanabilir. Bu durum çökeltiden yoksun bölgelerin oluşması ve α/β ara yüzeylerinin azalmasına neden olarak mikro sertliği düşürmüştür[2]. Azalan mikro sertlikle birlikte ise artan ısıtma hızlarında daha yüksek sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Ayrıca artan yük miktarı sürtünme kaysayısını Şekil 4'den de görülebileceği gibi azaltmıştır. Bunun yanında artan kayma mesafesi ise sürtünme katsayısını tüm numune gruplarında azaltmıştır.



Şekil 4. Isıl işlem uygulanmış numunelerin sürtünme katsayısı değerleri

50°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırılmış numunelerin sürtünme katsayısı ve kayma mesafesin değerleri makine öğrenmesi algoritmalarından destek vektörü regresyon modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Aşınma testlerinden elde edilen değerler öncelikle %60 eğitim ve %40 oranında test verisi olmak üzere bölünerek Phyton programıyla incelenmiştir(Şekil 5). Model deney verileriyle yüksek oranda uyumluluk göstermiş, korelasyon katsayısı R^2 değerleri ise %76 olarak bulunmuştur. Bunun dışında model parametrelerinden olan deney verileri ve model verilerinin birbirlerine uzaklığını gösteren ortalama kare hata 0,029 ve elde edilen eğri etrafındaki veri yoğunluğunun bir ölçüsü olan ortalama karekök hata 0,054 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi hem ortalama kare hata hemde ortalama karekök hata değerleri oldukça düşük değerlerdir ve modelin test verileriyle oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Aşınma testlerinden elde edilen veriler ve program tarafından tahmin edilen verilerin gösterimi

4. Sonuç ve Yorum

Destek vektörü regresyon modeli kullanılarak çeşitli hızlarda yaşlandırma işlemi uygulanmış metastabil β titanyum alaşımının aşınma testi sonuçları değerlendirilmiş çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- En küçük boyda α fazları (393±43nm) 0,4°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırma işlemi sıcaklığına ısıtılmış numunede elde edilmiştir. Isıtma hızının artmasıyla α fazları büyümüş ve en büyük α fazları 641±79nm olarak 50°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırma işlemi sıcaklığına ısıtılmış numunede elde edilmiştir.
- α fazlarının en küçük boyutlarda çökeldiği 0,4°C/dk ısıtma hızıyla yaşlandırma işlemi sıcaklığına ısıtılmış numunede en yüksek sertlik (396 HV) olarak bulunurken, ısıtma hızının 50°C/dk'ya artmasıyla birlikte mikro sertlik %7 azalmıştır.
- Kütle kaybı tüm numunelerde yük ve kayma mesafesinin artmasıyla birlikte artmıştır.
- Isıtma hızının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı azalan mikro sertlikle birlikte artmıştır.
- Aşınma testinde elde edilen veriler, %40 test ve %60 eğitim olmak üzere iki sete bölünmüştür. Model, farklı ısıtma hızlarında yaşlandırma sıcaklığına ısıtılmış numunelerin sürtünme katsayılarını %76'nın üzerinde doğrulukla tahmin edebilmiştir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Nihal YUMAK: Araştırma, Malzeme Temini, Isıl İşlemlerin Gerçekleştirilmesi, Testlerin Yapılması, Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Makalenin Yazılması

Destek ve Teşekkür Beyanı

Yazar, 21.KARİYER.07 Projesine maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür eder.

Çatışma Beyanı

Bu çalışmanın yazarı herhangi bir çatışma beyanı bulunmadığını bildirir.

Etik Kurul Onayı ve/veya Aydınlatılmış Onam Bilgileri

Bu çalışmanın yazarı herhangi bir etik kurul onayı ve/veya aydınlatılmış onam bilgileri beyanı bulunmadığını bildirir.

Kaynakça

[1] B. Gu, V. S. Sheng, Z. Wang, D. Ho, S. Osman, and S. Li, "Incremental learning for ν-Support Vector Regression," *Neural Networks*, 67, 140-150, 2015.

[2] N. Yumak and K. Aslantas, "A review on heat treatment efficiency in metastable b titanium alloys: The role of treatment process and parameters," *J. Mater. Res. Technol.*, 9 (6), 15360-16280, 2020.

[3] L. Y. Chen, Y. W. Cui, and L. C. Zhang, "Recent development in beta titanium alloys for biomedical applications," *Metals*, 10 (9), 1-29, 2020.

[4] N. Yumak, K. Aslantaş, and W. Ahmed, "Effect of aging treatment on the ınitiation and propagation of fatigue cracks in the Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr metastable β titanium alloy," in *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, Dubai, 2020, pp. 1-5.

[5] N. Yumak and K. Aslantas, "Effect of heat treatment procedure on mechanical properties of Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr metastable β titanium alloy," *J. Mater. Eng. Perform.*, 32(2). 1066-1074, 2021.

[6] P. Zhánal, P. Harcuba, J. Strasky, J. Šmilauerová, P. Beran, Hensan T., H. Seiner, and M. Janecek, "Transformation pathway upon heating of metastable β titanium alloy Ti-15Mo investigated by neutron diffraction," *Mater.*, 12(21), 1-16, 2019.

[7] J. Gao and W. M. Rainforth, "The effect of heating rate on discontinuous grain boundary alpha formation in a metastable beta titanium alloy," *Metall. Mater. Trans. A*, 51 (8), 3766-3771, 2020.

[8] B. Song, Y. Chen, W. Xiao, L. Zhou, and C. Ma, "Formation of intermediate phases and their influences on the microstructure of high strength near-β titanium alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, 793, 1-11, 2020.

[9] R. N. Elshaer, K. M. Ibrahim, A. F. Barakat, and R. R. Abbas, "Effect of heat treatment processes on microstructure and mechanical behavior of TC21 titanium alloy," *Open J. Met.*, 7 (3), 39-57, 2017.

[10] S. R. Chauhan and K. Dass, "Dry sliding wear behaviour of titanium (Grade 5) alloy by using response surface methodology," *Adv. Tribol.*, 1-9, 2013.

[11] M. D. Sharma and R. Sehgal, "Dry Sliding Friction and Wear Behaviour of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V)," *Tribol. Online*, 7 (2), 87–95, 2012.

[12] D. Parbat and M. Chakraborty, "A python based support vector regression model for prediction of COVID19 cases in India," *Chaos, Solitons & Fractals*, 138, 1-5, 2020.

[13] A. Datta, M. J. Augustin, N. Gupta, S. R. Viswamurthy, K. M. Gaddikeri, and R. Sundaram, "Impact localization and severity estimation on composite structure using fiber bragg grating sensors by least square support vector regression," *IEEE Sens. J.*, 19 (12), 4463-4470, 2019.

[14] S. G. Setti and R. N. Rao, "Tribological behaviour of near β titanium alloy as a function of α + β solution treatment temperature, *Materials & Design*, 50, 997-1004, 2013.