



**Erdal Karadeniz  
Metecan İşçioğlu**

Sakarya University, Sakarya-Turkey  
erdalk@sakarya.edu.tr; mete.iscioglu@hotmail.com

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0144">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0144</a>	
ORCID ID	0000-0002-0865-1639	
CORRESPONDING AUTHOR	Erdal Karadeniz	

### **AISI 1040 ÇELİKLERİ İÇİN VICKERS MİKROSERTLİK-UYGULANAN YÜK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

#### **ÖZ**

Bu çalışmanın amacı, Vickers mikro-sertliğin uygulanan yüke bağımlılığını incelemektir. Çünkü mikro-sertlik ölçüm sonuçları uygulanan yük değerleri artışı ile azalan veya artan değerler şeklinde olabilmektedir. Bu olgu, iz boyut etkisi (ISE) veya ters iz boyut etkisi (RISE) olarak ifade edilir ve AISI 1040 çeliğinden martenzitik, 300-450-600°C'lerde temperlenmiş matenzitik numuneler için incelenmiştir. İncelenen numuneler için mikro-sertlik ölçüm sonuçları, uygulanan yük değerleri artışı ile artan değerler (RISE) şeklindedir. Deneysel sonuçlar ile Meyer's yasası, Orantılı numune direnci (PSR) ve Modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modelleri karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler ile en uyumlu sonuçlar MPSR modeliyle elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Vickers Mikro-sertlik, ISE, Yük, Temperlenmiş Çelik, AISI 1040 Çeliği

### **INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN VICKERS MIKROHARDNESS-APPLIED LOAD FOR AISI 1040 STEELS**

#### **ABSTRACT**

The purpose of this study was to examine the applied load dependence of the Vickers microhardness. Because microhardness measurement results can be in the form of decreasing or increasing values with the applied load values increment. This phenomenon is referred to as indentation size effect (ISE) or inverse indentation size effect (RISE) and was investigated for martensitic microstructure and tempered martensite microstructures from AISI 1040 steel. The microhardness measurement results for the samples examined was in the form of increasing values (RISE) with the applied load values increment. Experimental results are compared with Meyer's law, Proportional Sample Resistance (PSR) and Modified Proportional Sample Resistance (MPSR) models. The most compatible results with experimental data were obtained with the MPSR model.

**Keywords:** Vickers Microhardness, Indentation Size Effect (ISE), Load, Tempered Steel, AISI 1040 Steel

#### **How to Cite:**

Karadeniz, E., ve İşçioğlu, M., (2018). AISI 1040 Çelikleri İçin Vickers Mikrosertlik-Uygulanan Yük Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(2):145-156, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0144.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Vickers mikro-sertlik yöntemi malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde küçük bir hacime uygulanabilmesi ve kullanım kolaylığı nedeniyle kaynaklı birleştirmeler, yüzey sertleştirme uygulamaları, yüzey kaplamaları, seramik ve biyomalzemelerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1 ve 16]. Vickers mikro-sertlik yöntemi kullanılarak yapılan araştırma sonuçları sertlik değerlerinin uygulanan yük değerlerine bağımlı olduğunu göstermektedir [1, 4, 17 ve 28]. Bu nedenle, uygulanan yük ve sertlik değerleri arasındaki ilişki çok sayıda çalışma ile incelenmiştir [1, 5, 17 ve 30]. Araştırmacılar deneysel çalışmalarında 10gr ile 2000gr arasında çok sayıda farklı yük değerleri tercih etmişlerdir. Benzer konularda yapılan araştırmalar arasında yararlı ilişki kurulabilmesi için elde edilen mikro-sertlik değerleri arasında yükten bağımsız bir ilişki üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır [1, 5, 17 ve 31]. Başka bir ifadeyle, uygulanan yük farklılığı nedeniyle elde edilen Vickers mikro-sertlik değerlerinin aynı yük uygulandığındaki sonucunu tahmin edilebilecek yöntemler araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde yararlı olacaktır. Mikro-sertlik uygulanan çalışmalar incelendiğinde yük artışı ile azalan sertlik değerleri sonuçları ve yük artışı ile artan sertlik değerleri şeklinde iki farklı durum görülmektedir [1, 4, 17, 29 ve 31]. Bunlar; uygulanan yük artışı ile azalan sertlik değişimi iz boyutu etkisi (ISE), uygulanan yük artışı ile artan sertlik değişimi ters iz boyutu etkisi (RISE) olarak tanımlanmıştır. ISE oluşumunun nedeni mercek çözünürlüğü, uygulanan yükün ölçüm yetersizliği gibi deney ekipmanları, operatör farklılığı, pekleşme, elastik geri dönüşüm ve sürtünme şeklinde açıklanmıştır [2, 4, 20, 22, 23, 26 ve 31]. RISE oluşumunun nedeni ise titreşim enerji kayıpları, çatlaklar ve kalıntı gerilmeler şeklinde açıklanmıştır [26 ve 31].

Malzemelerin uygulanan yük ve sertlik değerleri arasındaki ilişkisini açıklamak için Meyer's kanunu, Hats-Kendall yaklaşımı, Bull'un elastik/plastic deformasyon modeli, Enerji-Denge yaklaşımı, Orantılı numune direnci, Modifiye edilmiş orantılı numune direnci modelleri ve farklı eğri uydurma analizleri önerilmiştir. Araştırmacılar incelemeleri kapsamındaki malzemeler için uygulanan yük ve sertlik değerleri ilişkilerini tanımlamada yukarıda adı geçen kriterlerin bir veya bir kaçını çalışmalarında kullanmışlardır [1, 3, 18, 22, 23, 25, 29 ve 31]. AISI 1040 çeliği endüstride çok sık kullanılan bir mühendislik malzemesidir. AISI 1040 çeliğinden kaynaklı birleştirme ve yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış mühendislik ürünleri ile yaygın olarak karşılaşılmaktadır. Bu ürünlerin mekanik özelliklerinin tayininde farklı sertlik ölçme yöntemleri uygulanmakla birlikte Vickers mikro-sertlik ölçme yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir [27]. Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinden martenzitik ve 300-450-600°C'lerde temperlenmiş matenzitik numuneler ile iz boyutu etkisi analiz edilmiştir. Vickers mikro-sertlik ölçümleri sık kullanılan 50gr ile 2000gr yük aralığı içinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler, Meyer's yasası, Orantılı numune direnci (PSR) ve Modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modellerine göre analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile model sonuçları karşılaştırılmış ve en uyumlu sonuçlar MPSR modeliyle elde edilmiştir.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Literatürde, %0.53 C'lu çelik için 550°C'de temperlenmiş numunelere 10gr ile 100gr arası değişen yükler uygulanarak Vicker mikro-sertlik ölçümleri çalışılmış ve sonuçlar RISE olgusu şeklinde sunulmuştur [27]. Bir başka araştırmada, %0.54 C'lu çelik için 200-

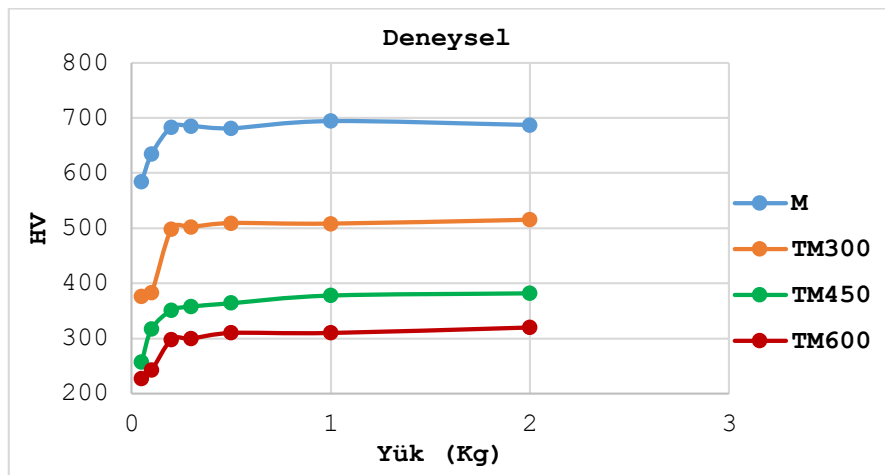
400-600°C'lerde temperlenmiş numunelere 300gr. ile 2kg arası değişen yükler uygulanarak sertlik ölçümleri çalışılmış ve sonuçlar ISE olgusu şeklinde sunulmuştur [32]. Her iki araştırma sonuçları arasındaki çelişkili durum temperlenmiş çeliklerin Vickers mikro-sertlik-uygulanan yük arasındaki ilişkiyi araştırmanın önemini göstermektedir. Çeliklerin martenzitik ve temperlenmiş martenzitik içyapıları endüstriyel uygulamalarda sık karşılaşılan bir olgudur. Bu çalışma, uygulamalarda Vickers mikro-sertlik ölçme ile mekanik özellik değerlendirmelerinde yararlı olacaktır. Örneğin, aynı çelik ve ısıl işlem durumu çalışan araştırmacıların farklı yük uygulamaları sonucu elde edecekleri Vickers sertlik değerleri arasında ilişki kurulabilecektir. Bundan başka, martenzitik ve temperlenmiş martenzitik içyapılı çelikler için mikro-sertlik-yük ilişkisi modelleri arasında en uygun olan model önerilmektedir. Bu nedenle, konuyu ileri aşamalara taşıyacak araştırmacılara yön verebilecek bir çalışmadır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Deneysel çalışmalarda AISI 1040 çeliği kullanılmıştır. Ø12mm çubuk numunelere ısıl işlemler, muffle fırında 850°C sıcaklıkta 40dk. Ostenitleme, sonrası suda soğutma ve 300-450-600°C'lerde 1 saat süreyle temperleme şeklinde uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanmış numuneler metalografik kesme cihazında eksenli boyunca kesilmiş ve bakalite alınmıştır. Numune yüzeyleri 6 kademe sonrası 800 nolu zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalanmış yüzeylere Alumina pasta ile polisaj uygulanmış ve Vickers mikro-sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Shimadzu HMV-2 mikro-sertlik cihazında, 50gr., 100gr, 200gr, 300gr, 500gr, 1kg ve 2kg yük değerlerinin 10sn uygulanması şeklindedir. Her yük değeri için 10 ölçüm uygulanmıştır. Deneysel veriler, Meyer's yasası, Orantılı numune direnci (PSR) ve Modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modellerine göre analiz edilmiştir.

### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Şekil 1, uygulanan yüke göre numunelerdeki Vickers sertliğinin değişimini göstermektedir. Her veri noktası on ölçümün ortalamasını temsil etmektedir.



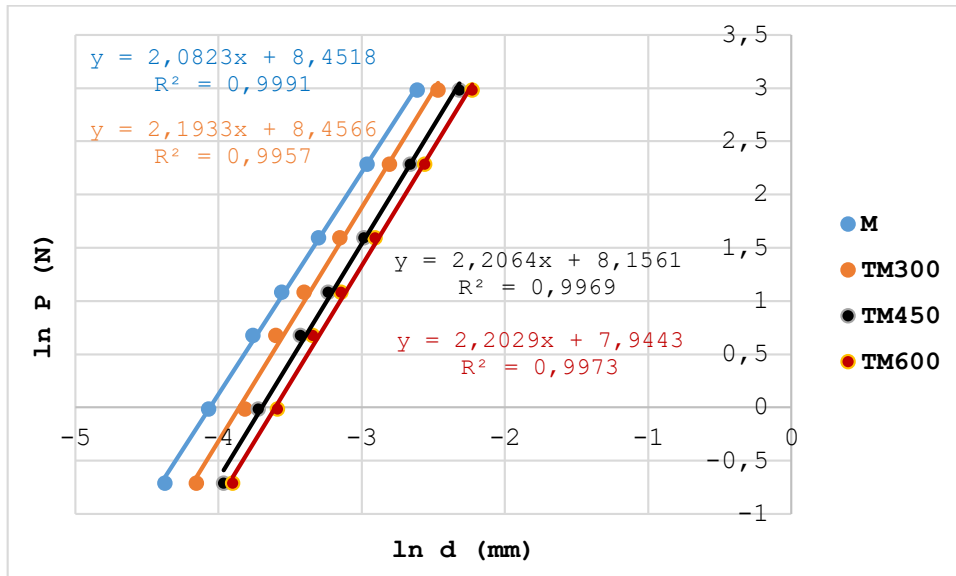
Şekil 1. Farklı ısıl işlem koşullarında AISI 1040 çeliği için uygulanan yüke göre Vickers sertliğinin değişimi  
(Figure 1. Variation of Vickers hardness according to load applied for AISI 1040 steel in different heat treatment conditions)

Şekil 1'de görüldüğü gibi, farklı ısıl işlem koşullarına sahip AISI 1040 çeliklerinde tün durumlarda Vickers sertlik-Yük ilişkisi ters iz boyutu etkisi (RISE) şeklindedir. Martenzitik içyapılı numune sertlik değerleri en yüksek, temperlenmiş martenzitik numunelerin temperleme sıcaklığı artışı ile azalan sertlik değerleri ölçülmüştür. Temperleme sıcaklığı arttıkça, yüke bağlı sertlik değeri değişim oranları azalmıştır. 200 gramdan küçük yük değerlerinde sertlik değerleri arasında büyük değişim görülmektedir. 200 gramdan büyük yük değerlerinde ise sertlik değerleri arasındaki değişim küçük miktarlardadır. Bu sonuçlar, 200 gramdan küçük yükler ile çalışmaların yük değerlerinden daha çok etkilendiğini açıkça göstermektedir. İz boyutu etkisi (ISE) genel olarak Meyer's yasası, Orantılı numune direnci (PSR) ve Modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modelleri ile tanımlanmıştır. Meyer' yasası modeli, uygulanan yük (P) ve sonuçta elde edilen iz boyut (d) arasındaki ilişkileri tanımlamıştır.

$$P=Kd^n \quad (1)$$

$$\text{Log } P = \text{Log } K + n \text{ Log } d \quad (2)$$

Burada, P uygulanan yükü, d izin köşegenler arası boyutlarının ortalamasını, n ve K ise malzeme sabitlerini ifade eder. n sabiti iz boyut etkisi davranışının bir ölçütüdür ve bu modele göre n değerleri 2.0'dan küçük ise ISE, 2.0 değerinden büyük ise RISE davranışı görülür. Meyer' yasası modeli malzemenin K ve n malzeme sabitleri değerleri ile uygulanan yüke göre iz boyutu tahmini esasına dayanır. Buradan, herhangi bir yük değeri için Vickers mikro-sertlik değeri hesaplanır. Malzemenin K ve n malzeme sabitleri değerleri Ln P-Ln d verilerinden hazırlanan grafikten elde edilir (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı ısıl işlem koşullarında AISI 1040 çeliği için Meyer' yasası Ln P-Ln d grafikleri.

(Figure 2. Ln P-Ln d plots of the Meyer's law for AISI 1040 steel in different heat treatment conditions)

Şekil 2 grafik verilerinden tüm numunelerin K ve n malzeme sabitleri elde edilmiş ve Tablo 1 de sunulmuştur. Tüm numunelerin n değerleri 2.0'dan büyüktür ve RISE davranışı ile uyumludur. K değerleri temperleme sıcaklığı artışı ve sertlik değerleri azalışı ile azalan değerler şeklindedir. n değerleri arasında temperleme sıcaklığı ve sertlik değerlerine bağlı bir ilişki görülmemiştir.

Tablo 1. Meyer' yasası için deneysel verilerin regresyon analizi sonuçları

(Table 1. Regression analysis results of experimental data according for Meyer's law)

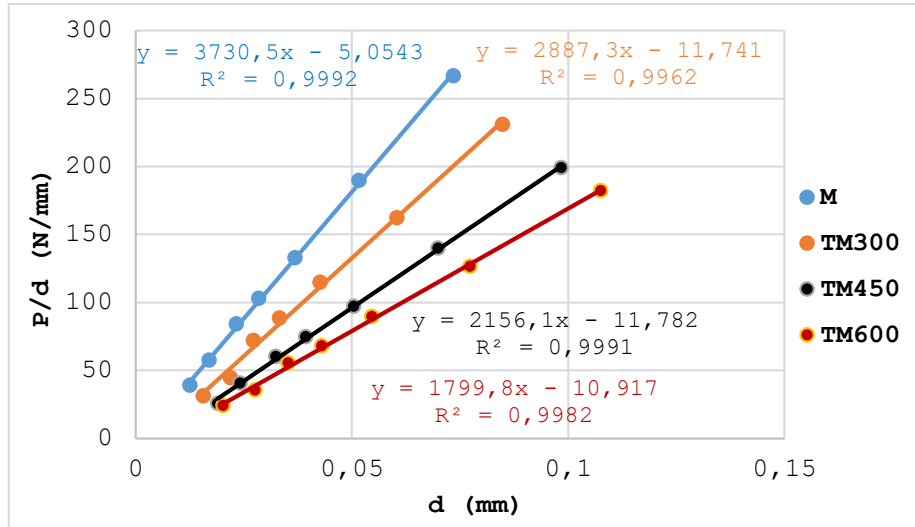
Numuneler	n	Ln K	K (MPa)	R <sup>2</sup>
M	2.0823	8.4518	4683.5	0.9991
TM300	2.1933	8.4566	4706.03	0.9957
TM450	2.2064	8.1561	3484.57	0.9969
TM600	2.2029	7.9443	2819.46	0.9973

Orantılı numune direnci (PSR) modeli, uygulanan yük (P) ve elde edilen iz boyut (d) oranı ile elde edilen iz boyut (d) arasındaki ilişkileri tanımlamıştır.

$$P = a_1 d + a_2 d^2 \quad (3)$$

$$P/d = a_1 + a_2 d \quad (4)$$

Bu eşitliklerde,  $a_1$  parametresi, sertliğin yük bağımlılığını karakterize eder ve  $a_2$  yükten bağımsız sabittir.  $a_1$ , yeni yüzey oluşumunda tüketilen enerjiyi,  $a_2$  daimi deformasyon veya deformasyonun hacim enerjisini temsil eder. Denklem (4), Şekil 3'te gösterildiği gibi ölçülen verileri tanımlamak için kullanılır.



Şekil 3. Farklı ısı işleme koşullarında AISI 1040 çeliği için PSR modeli P/d-d grafikleri

(Figure 3. P/d-d plots of the PSR model for AISI 1040 steel in different heat treatment conditions)

Şekil 3 deki grafik verilerinden  $a_1$  ve  $a_2$  değerleri elde edilir. Bu değerler Tablo 2 de sunulmuştur. Denklem (3) kullanılarak  $a_1$  ve  $a_2$  sabitleri bilinen malzemenin farklı uygulama yükleri için iz boyutu d değerleri hesaplanır.

Tablo 2. PSR modeli için deneysel verilerin regresyon analizi sonuçları

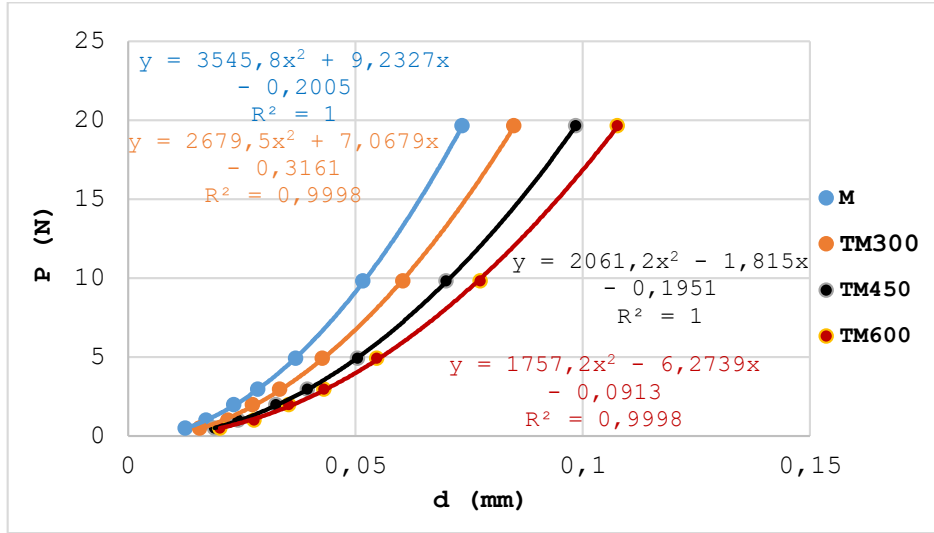
(Table 2. Regression analysis results of experimental data according for PSR model)

Numuneler	$a_1$ (N/mm)	$a_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>
M	-5.0543	3730.5	0.9992
TM300	-11.741	2887.3	0.9962
TM450	-11.782	2156.1	0.9991
TM600	-10.917	1799.8	0.9982

Tablo 2'deki  $a_2$  değerleri incelendiğinde, numunelerdeki sertlik azalışı ile bu değerlerinde azalan değerler şeklinde olduğu görülmektedir.  $a_1$  değerlerinde anlamlı bir ilişki görülmemektedir. Modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modeli, uygulanan yük (P) ve elde edilen iz boyut (d) arasındaki ilişkileri tanımlamıştır.

$$P = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 \quad (5)$$

Burada,  $a_0$  numune hazırlama esnasında yüzey öğütme ve parlatma işlemleriyle ilişkili artık yüzey gerilmeleri ile ilgili bir sabitedir.  $a_1$  ve  $a_2$  parametreleri, PSR modelinde tanımlanan sabitlerdir. Bu sabitler Şekil 4 deki eğri denklemlerinden elde edilir. Tüm numuneler için bu değerler Tablo 3 de sunulmuştur.

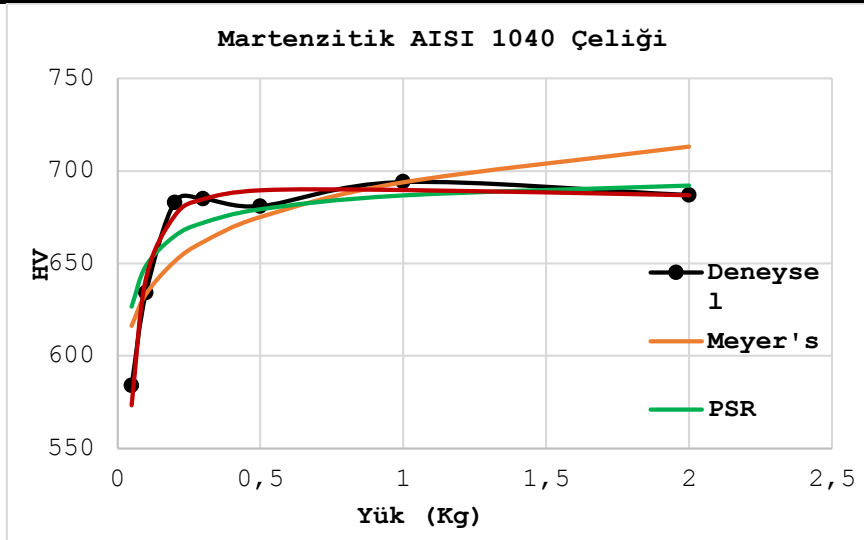


Şekil 4. Farklı ısıl işlem koşullarında AISI 1040 çeliği için modifiye edilmiş PSR modeli P-d grafikleri  
(Figure 4. P - d plots of the modified PSR model for AISI 1040 steel in different heat treatment conditions)

Tablo 3. Modifiye edilmiş PSR modeli için deneysel verilerin regresyon analizi sonuçları  
(Table 3. Regression analysis results of experimental data according for modified PSR model)

Numuneler	$a_0$ (N)	$a_1$ (N/mm)	$a_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R^2$
M	-0.2005	9.2327	3545.8	1
TM300	-0.3161	7.0679	2679.5	0.9998
TM450	-0.1951	-1.815	2061	1
TM600	-0.0913	-6.2739	1757.2	0.9998

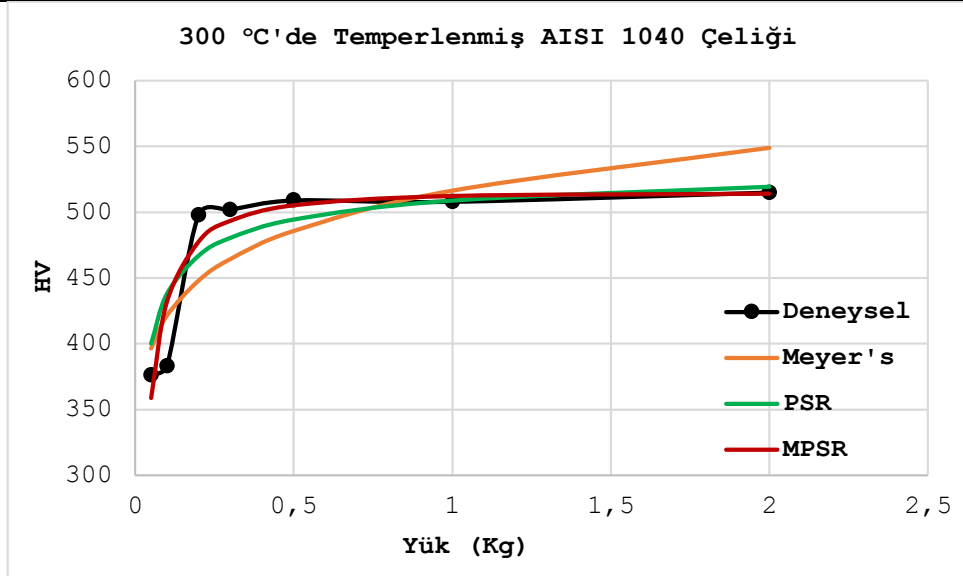
Tablo 3 değerleri,  $a_0$  sabitinin martenzitik ve temperlenmiş martenzitik numune değerleri ile ilişkilendirilemeyeceğini, temperlenmiş numuneler arası ilişkinin sıcaklık artışı ve sertlik azalışı ile artan değerler şeklinde olduğu görülmektedir. Diğer sabitler  $a_1$  ve  $a_2$ 'de ise tüm numuneler için sertlik azalışı ile bu sabitlerinde azalan değerler şeklinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, temperleme sıcaklığı ile bir ilişki kurulabileceğini düşündürmektedir. Modifiye edilmiş PSR modeli korelasyon katsayıları diğer modellere göre en yüksek değerlerdir. Martenzitik AISI 1040 çeliği için deneysel sonuçlar ile incelenen tüm modellerin hesaplanmış Vickers sertlik sonuçları Şekil 5'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Martenzitik AISI 1040 çeliği için HV-P ilişkisi eğrilerinin karşılaştırması

(Figure 5. Comparison of HV-P relationship curves for Martensitic AISI 1040 steel)

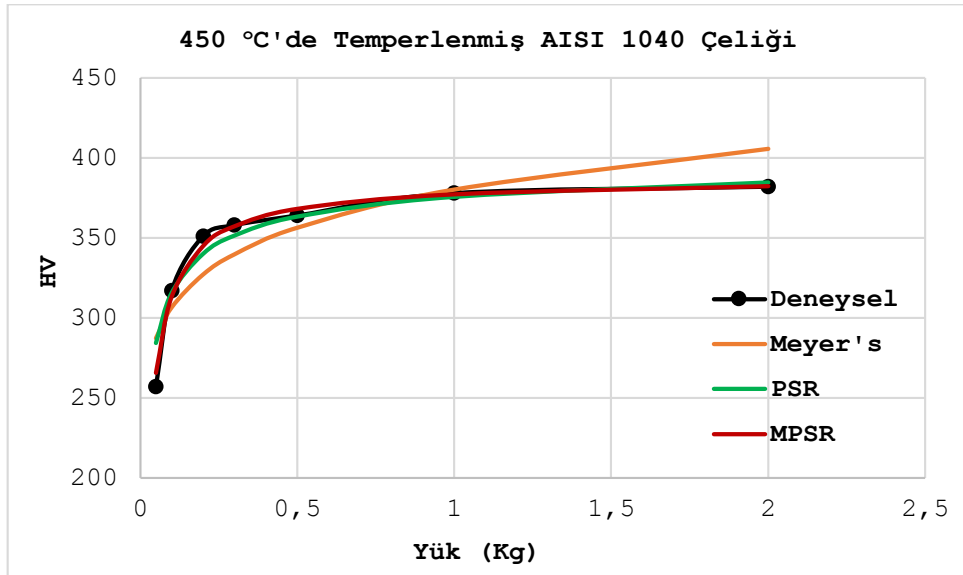
Şekil 5 deneysel sonuçlar ile en uyumlu sonuçların modifiye edilmiş PSR modeli sonuçları olduğunu göstermektedir. İkinci uyumlu sonucu PSR modeli, meyer's yasası modeli ise en uyumsuz sonucu göstermektedir. Fakat incelenen tüm modeller farklı hassasiyette olsalar da anlamlı bir ilişki kurulabilecek şekildedir. Deneysel sonuçlar ile Meyer' yasası sonuçları, maksimum +32 HV ve -32HV, +%5.5 ve %-.7, PSR modeli sonuçları ise maksimum +43HV ve -18HV, +%7.3 ve %2.7, Modifiye edilmiş PSR modelinde ise maksimum +9HV ve -11HV, +%1.3 ve %-1.9, hassasiyetlidir. Özellikle maksimum sapmaların görüldüğü 300 gram ve daha küçük yük değerleri bölgesi için modifiye edilmiş PSR modeli çok yüksek hassasiyet ile uyum göstermektedir. 300°C'de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için deneysel sonuçlar ile incelenen tüm modellerin hesaplanmış Vickers sertlik sonuçları Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. 300°C'de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için deneysel sonuçlar ile en uyumlu sonuçların modifiye edilmiş PSR modeli sonuçları olduğu Şekil 6 da görülmektedir. Uygunluk sıralaması martenzitik numunede olduğu gibidir. Modellerin deneysel sonuçlara göre maksimum sapma değerleri 100 gram yük noktası dikkate alınmadığında, Meyer's yasası modeli için +34HV ve -50HV, +%6.6 ve %-10, PSR modeli için +24HV ve -31HV, +%6.4 ve %-6.2, modifiye edilmiş PSR modeli için +4HV ve -20HV, +%0.8 ve %-4.6 şeklindedir.



Şekil 6. 300°C de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için HV-P ilişkisi eğrilerinin karşılaştırması.

(Figure 6. Comparison of HV-P relationship curves for AISI 1040 steel tempered at 300°C)

450°C de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için deneysel sonuçlar ile incelenen tüm modellerin hesaplanmış Vickers sertlik sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir. 450°C'de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için deneysel sonuçlar ile en uyumlu sonuçların önceki numunelerde olduğu gibi modifiye edilmiş PSR modeli sonuçları olduğu Şekil 7'de görülmektedir. PSR modeli sonuçlarının uyumluluğunda ise artış görülmektedir.



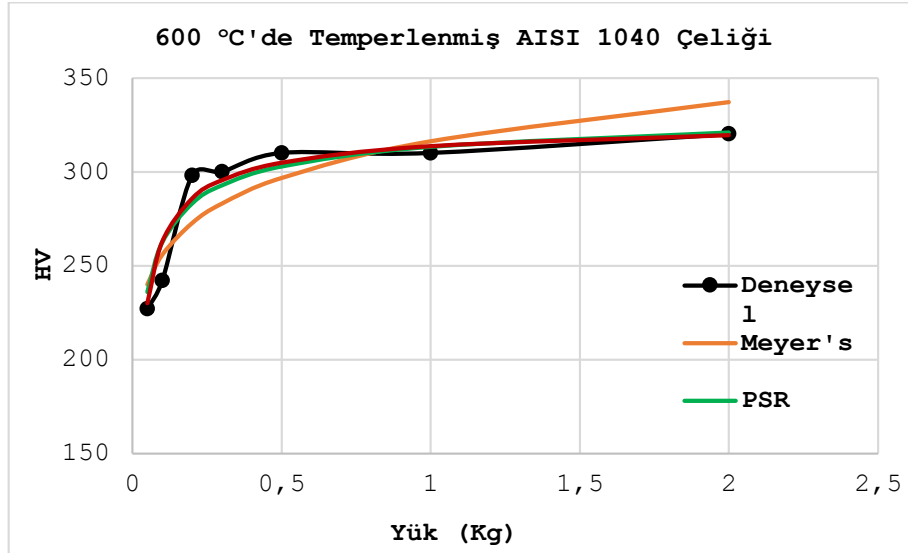
Şekil 7. 450°C de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için HV-P ilişkisi eğrilerinin karşılaştırması

(Figure 7. Comparison of HV-P relationship curves for AISI 1040 steel tempered at 450°C)

Modellerin deneysel sonuçlara göre maksimum sapma değerleri, Meyer's yasası modeli için +30HV ve -24HV, %+12 ve %-7, PSR modeli



için +27HV ve -11HV, %+10.6 ve %-3.1, modifiye edilmiş PSR modeli için +9HV ve -6HV, %+3.4 ve %-1.7 şeklindedir. 600°C de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için deneysel sonuçlar ile incelenen tüm modellerin hesaplanmış Vickers sertlik sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir. Deneysel sonuçlar ile en uyumlu sonuçların önceki numunelerde olduğu gibi modifiye edilmiş PSR modeli sonuçları olduğu Şekilden görülmektedir. PSR modeli sonuçlarının uyumluluğunda ise artışın devam ettiği görülmektedir. Modellerin deneysel sonuçlara göre maksimum sapma değerleri, Meyer's yasası modeli için +17 HV ve -25HV, %+5.8 ve %-8.4, PSR modeli için +21HV ve -15HV, %+8.5 ve %-5, modifiye edilmiş PSR modeli için +21HV ve -12HV, %+8.7 ve %-4.1 şeklindedir.



Şekil 8. 600°C de temperlenmiş AISI 1040 çeliği için HV-P ilişkisi eğrilerinin karşılaştırması.

(Figure 8. Comparison of HV-P relationship curves for AISI 1040 steel tempered at 600°C)

Numunelerin her biri için deneysel sonuçlar ve model sonuçları ters iz boyutu etkisi (RISE) göstermiştir. Literatürde iki farklı iz boyut etkisi bulunmaktadır [27 ve 32] ve bu çalışma sonuçları [27] ile uyumludur. RISE olgusunun kalıntı gerilmeler nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Sertlik değerleri ile RISE etkisi arasında bir ilişki görülmekte olup, sertlik değeri azalan numunelerde etki azalan şekildedir. RISE etkisinin martenzitik içyapıda yüksek olmasının nedeni kalıntı gerilmenin yüksek olmasına, temperlenmiş içyapılı numunelerde etki azalışı olması ise temperleme ısıl işlemi ve temperleme sıcaklığı yükselişi ile kalıntı gerilmenin azalan değerlerde olmasına bağlıdır.

##### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Vickers mikro-sertlik deneylerinde uygulanan yükün sertlik değerlerine etkisinin AISI 1040 çeliğinin martenzitik ve farklı sıcaklıklarda temperlenmiş içyapılı numunelerle incelendiği bu çalışmanın genel sonuçları:

- Tüm numunelerin deneysel ve model sonuçlarında ters iz boyut etkisi (RISE) görülmüştür.
- İncelenen üç model sonuçları farklı hassasiyetlerde olsa da uyumlu sonuçlar vermiş olup modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modeli en uyumlu sonuçları sunmuştur.

- Modifiye edilmiş orantılı numune direnci (MPSR) modeli regresyon analizi sonuçları temperleme sıcaklığı ile bir ilişki kurulabileceğini düşündürmektedir.

#### **TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)**

Numune yüzey hazırlama işlemlerine laboratuvar desteği için Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ve Vickers sertlik ölçümü laboratuvar desteği için Prof.Dr. Fatih Üstel hocamıza teşekkür ederiz.

#### **NOT (NOTE)**

Bu çalışmanın bir bölümü, 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen "II. International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017)" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Sidjanin, L., Rajnovic, D., Ranogajec, J., and Molnar, E., (2007). Measurement of Vickers Hardness on Ceramic Floor Tiles. Journal of the European Ceramic Society, Vol:27, pp:1767-1773.
- [2] Spakova, J., Dorcakova, F., and Dusza, J., (2011). Indentation Load/Size Effect of Structural Ceramic Materials. Chemicke Listy, Vol:105, pp:218-222.
- [3] Suszynska, M., (2012). Load Dependence of Hardness of the Doped Soda-Lime Silicate Glasses. Optica Applicata, Vol:42, No:2, pp:399-406.
- [4] Portune, A.R., and Hilton, C.D., (2012). Quantifying Uncertainty in Load-Hardness Relationships. Journal of Materials Science, Vol:47, pp:4851-4859.
- [5] Dall'Ara, E., Öhman, C., Baleani, M., and Viceconti, M., (2007). The Effect of Tissue Condition and Applied Load on Vickers Hardness of Human Trabecular Bone. Journal of Biomechanics, Vol:40, pp:3267-3270.
- [6] Kara, S. ve Korkut, M.H., (2012). Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Zırh Plakalarında Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Birleşim Mukavemetine Etkisinin Araştırılması. Savunma Bilimleri Dergisi, Cilt:11, Sayı:2, ss:159-171.
- [7] Köse, C. ve Kaçar, R., (2015). AISI 420 Martenzitik Paslanmaz Çeliğin CO2 Lazer Işını Kaynak Yöntemiyle Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması. Technological Applied Sciences (NWSATAS), Vol:10, No:4, pp:13-27.
- [8] Karabulut, H. ve Türkmen, M., (2016). Temperleme İşleminin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Mikroalaşımli Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik dergisi, Cilt:7 Sayı:3, ss:587-594.
- [9] Özen, M., Ertek Emre, H., Najafıgharehtapeh, A. ve Kaçar, R., (2015). Hardoks 400 Çeliklerin Elektrik Ark Kaynak Kabiliyeti. 2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS'15), Karabük, Türkiye.
- [10] Li, W.Y., Yu, M., Li, J., Zhang, G., and Wnag, S., (2009). Characterizations of 21-4N to 4Cr9Si2 Stainless Steel Dissimilar Joint Bonded by Electric-Resistance-Heat-Aided Friction Welding. Materials and Design, Vol:30, pp:4230-4235.
- [11] Krishnaraj, N., Iyer, K.J.L., and Sundaresan, S., (1997). Behaviour of Austenitic Nitrocarburised AISI 1040 Steel in Falex Testing. Materials Letters, Vol:32, pp:355-357.



- [12] Asi, O., (2004). An Investigation of Retained Austenite Contents in Carburized SAE 8620 Steel. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt:17, Sayı:4, ss:103-113.
- [13] Lima, M.S.F., Goi, F.A., Riva, R., and Santo, A.M.E., (2007). Laser Surface Remelting and Hardening of an Automotive Shaft Sing a High-Power Fiber Laser. *Materials Research*, Vol:10, No:4, pp:461-467.
- [14] Bilgin, S. ve Samur, R., (2009). Isıl Püskürtme Yöntemi ile Oluşturulan Martenzitik Paslanmaz Çelik Toz Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- [15] Khafri, M.A. and Fazlalipour, F., (2008). Vanadium Carbide Coatings on Die Steel Deposited by the Thermo-Reactive Diffusion Technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol:69, pp:2465-2470.
- [16] Palaniradja, K., Alagumurthi, N., and Soundararajan, V., (2010). Residual Stresses in Case Hardened Materials. *The Open Materials Science Journal*, Vol:4, pp:92-102.
- [17] Joshi, M.S., Joshi, V.V., Choudhari, A.L., and Kankar, R.G., (1984). Studies on Microhardness of Quenched Mesolite Crystals. *Journal of Materials Science*, Vol:19, pp:3337-3340.
- [18] Cai, X., Yang, X., and Zhou, P., (1997). Dependence of Vickers Microhardness on Applied Load in Indium. *Journal of Materials Science Letters*, Vol:16, pp:741-742.
- [19] Iost, A. and Vogt, J.B., (1997). Hardness Variation in a Cathodic Hydrogen-Charged Austenitic Stainless Steel. *Scripta Materialia*, Vol:37, No:10, pp:1499-1504.
- [20] Anandakumar, V.M., and Abdul Khadar, M., (2008). Microhardness Studies of Nanocrystalline Calcium Tungstate. *Crystal Research Technology*, Vol:43, No:2, pp:193-199.
- [21] Matyunin, V.M., Dubov, A.A., and Marchenkov, A.Y., (2010). Scale Factor in Determining the Hardness of Metal Materials. Vol:46, No:15, pp:1692-1695.
- [22] Petrik, J. and Palfy, P., (2011). The Influence of the Load on the Hardness. Vol:18, No:2, pp:223-234.
- [23] Kumar, A.S., Joseph, C., Paulose, R., Rajesh, R., Joseph, G., and Louis, G., (2015). Microhardness Studies of Sulfamic Acid Single Crystal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol:73, pp:1-7.
- [24] Loshak, M.G. and Aleksandrova, L.I., (2012). The Effect of the Indentation Load on the Results of Measuring Hardness of Superhard Materials. *Journal of Superhard Materials*, Vol:34, No:5, pp:33-36.
- [25] Renjo, M.M., Rede, V., and Curkovic, L., (2014). Reverse Indentation Size Effect of a Duplex Steel. *Kovove Materials*, Vol:52, pp:299-304.
- [26] Petrik, J., Palfy, P., Miklos, V., Horvath, M., and Havlik, M., (2014). The Influence of Operators and Applied Load on Micro-Hardness of the Standart Block. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol:11, No:9, pp:183-196.
- [27] Petrik, J., (2014). The Micro-Hardness of Heat Treated Carbon Steel. *Materials science (Medziagotyra)*, Vol:20, No:1, pp:21-24
- [28] Karaca, I., and Güzel, M.A., (2015). Bi-2212 Low Temperature Phase Optimization Condition by Vickers Hardness Numbers. *International Journal of Materials Chemistry and Physics*, Vol: 1, No: 3, pp: 407-416.
- [29] Sangwal, K., Surowska, B., and Blaziak, P., (2003). Relationship between Indentation Size Effect and Materials Properties in the



- 
- Microhardness Measurement of Some Cobalt-based Alloys. *Materials Chemistry and Physics*, Vol:80, pp:428-437.
- [30] Suwanprateeb, J., (1998). A Comparison of Different Methods in Determining Load- and Time-Dependence of Vickers Hardness in Polymers. *Polymer Testing*, Vol:17, pp:495-506.
- [31] Bektes, M., (2004). Fe-Mn Alaşımlarının Mikrosertlik Olçümleri. Yüksek Lisans Tezi, Isparta: Süleymen Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [32] Budiarsa, N., Norbury, A., Su, X., Bradley, G., and Ren, X., (2013). Analysis of Indentation Size Effect of Vickers Hardness Tests of Steels. *Advanced Materials Research*, Vols:652-654, pp:1307-1310.