

## AA6082-T6 ve AA1035-H14 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA HADDELEME YÖNÜNÜN ve ÇEKME DEFORMASYON HIZININ ÇEKME ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

*Hakan AYDIN\**  
*Oğuz TUNÇEL\**  
*Kurtuluş YİĞİT\**  
*Furkan BALAMUR\**  
*Oktay ÇAVUŞOĞLU\**  
*Oğuzalp DÜZGÜN\**

Alınma: 10.03.2017; düzeltme: 12.09.2017; kabul: 22.09.2017

**Öz:** Bu çalışmada, demir esaslı malzemelerden sonra en önemli metal grubunu oluşturan alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığında deformasyon hızı ve haddeleme yönüne bağlı olarak çekme testi davranışları incelenmiştir. Alüminyum alaşımlarından ısıtıl işlem uygulanabilir gruptan AA6082-T6 alaşımı, ısıtıl işlem uygulanamaz gruptan AA1035-H14 alaşımı seçilmiştir. Haddeleme yönünün çekme eksenine yaptığı açılar 0°, 45° ve 90°, deformasyon hızları  $2.4 \times 10^{-4}$ ,  $2.4 \times 10^{-3}$ ,  $2.4 \times 10^{-2}$  ve  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızında AA1035-H14 alaşımında 45° ve 90° hadde yönünde çekme mukavemeti düşük kalmıştır. Her iki alaşımda da en yüksek çekme dayanımı değeri 0° hadde yönünde elde edilmiştir. Ancak, AA6082-T6 alaşımında en düşük çekme mukavemeti 90° hadde yönünde iken, AA1035-H14 alaşımında en düşük çekme mukavemeti 45° hadde yönündedir. Diğer taraftan, AA6082-T6 alaşımında 90° hadde yönünde nispeten daha yüksek akma dayanımı değeri elde edilmişken, AA1035-H14 alaşımında akma dayanımı 0° hadde yönünde daha yüksek değer almıştır.  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızında, AA1035-H14 alüminyum alaşımında hadde yönünün mukavemet üzerindeki etkisi daha belirgin olmuştur. Kopma uzaması her iki alaşımda da 90° hadde yönünde önemli ölçüde düşük kalmıştır. Her iki alaşımda da, genel olarak deformasyon hızı artışıyla mukavemet değerleri artmıştır. Bu artış her iki alaşımda da, çekme mukavemetinde nispeten sınırlı kalırken akma mukavemetinde daha belirgindir. Ayrıca, AA1035-H14 alaşımı ile karşılaştırıldığında AA6082-T6 alaşımında deformasyon hızının mukavemet üzerindeki etkisi daha dikkat çekicidir. Kopma uzaması AA6082-T6 alaşımında genel olarak yüksek deformasyon hızında düşük kalırken, AA1035-H14 alaşımında ise genel olarak deformasyon hızı artışıyla kopma uzaması değerleri artmaktadır. Ancak, AA1035-H14 alaşımında, 45° ve 90° hadde yönünde  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızında kopma uzamasında belirgin olarak düşüş de meydana gelmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** AA6082 Al Alaşımı, AA1035 Al Alaşımı, Hadde Yönü, Deformasyon Hızı, Çekme Özellikleri.

### The Effect of Rolling Direction and Strain Rate on the Tensile Properties of AA6082-T6 and AA1035-H14 Aluminum Alloys

**Abstract:** In this study, the tensile test behaviors of aluminum alloys, which are the most important metal group after iron based materials, were investigated depending on the strain rate and rolling direction at room temperature. From the aluminum alloys, AA6082-T6 alloy from the heat-treatable group and

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle-Bursa, Türkiye

İletişim Yazarı: Oğuz Tunçel (otuncel@uludag.edu.tr)

AA1035-H14 alloy from the non-heat-treatable group were selected. Angles between rolling direction and tensile axis were 0°, 45° and 90°, strain rates  $2.4 \times 10^{-4}$ ,  $2.4 \times 10^{-3}$ ,  $2.4 \times 10^{-2}$  and  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  were determined. AA 1035-H14 alloy has a low tensile strength at 45° and 90° rolling direction at a strain rate of  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . The highest tensile strength values in both alloys were obtained in the 0° rolling direction. However, the lowest tensile strength in the AA1035-H14 alloy is 45°, the lowest tensile strength in the AA 6082-T6 alloy is in the 90° rolling direction. On the other hand, the relatively high yield strength in the AA6082-T6 alloy was obtained in the 90° rolling direction, while the yield strength in AA1035-H14 alloy was higher in the 0° rolling direction. At a strain rate of  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  the impact on the strength of the rolling direction was more pronounced in the AA 1035-H14 aluminum alloy. The fracture elongation is considerably lower in the 90° rolling direction in both alloys. In both alloys, strength values increased with increasing deformation rate in general. In both alloys, this increase is relatively limited in tensile strength, but more significant in yield strength. Furthermore, the effect of strain rate on the strength of AA6082-T6 alloy is more remarkable. While the fracture elongation in AA 6082-T6 alloy generally decreases with the deformation rate, in AA1035-H14 alloy the values of fracture elongation increases with the deformation rate. However, in AA1035-H14 alloy, the decrease in the fracture elongation at 45° and 90° rolling direction of  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  strain rate occurs considerably.

**Key Words:** AA6082 Aluminum Alloy, AA1035 Aluminum Alloy, Rolling Direction, Strain Rate, Tensile Properties

## 1. GİRİŞ

Alüminyumu hafifliği, korozyon dayanımı ve mekanik özellikleri teknolojik kullanımda vazgeçilmez kılar (Demirci, Yiğit ve Aydın, 2004). Alüminyum ve Al- Alaşımları, demir esaslı alaşımlardan sonra, ileri teknoloji gerektiren uygulamalarda olduğu kadar günlük hayatın en basit kademelerinde de kullanımı en yaygın endüstriyel malzemelerdir (Demirci, 2005). Alüminyum esaslı malzemelerin bütün iyi özelliklerine rağmen kullanımlarının yine de sınırlı kalması, bu metalin mukavemet değerlerinin düşük olması yüzündendir (Demirci, 2004). Özellikle, saf alüminyumun düşük mukavemet değerleri, alaşımlandırma ile artırılır. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Bu ilave edilen alaşım elementlerine bağlı olarak, alüminyum alaşımları ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımlarında, çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) sayesinde dayanım ve sertlik önemli ölçüde artırılabilir. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları ise çökelmeyle sertleştirilemez, dayanımlarının artırılabilmesi katı eriyik sertleşmesi, pekleşme ve dispersiyon sertleşmesi ile sağlanabilir.

Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri, diğer metallerde olduğu gibi hadde yönüne ve deformasyon hızına bağlı olarak değişir. Endüstride kullanılan sac metallerin birçoğu haddelemeden dolayı, farklı doğrultularda değişik özellikler göstermektedir. Başka bir deyişle özellikler yöne bağlı hale gelir ve anizotropi olarak isimlendirilir. Sözkonusu anizotropi (plastik deformasyon sırasında deformasyon yönünde tanelerin, ikinci fazların, mikro boşlukların ve inklüzyonların yönlenmesi), mekanik özelliklerin numune yönüne göre farklı olmasına neden olur. Diğer taraftan, çoğu metalde, genel olarak deformasyon hızı arttıkça malzemenin mukavemeti artmakta diğer bir ifade ile çekme eğrisi yukarı doğru kaymakta ve kopma uzaması değerleri ise düşmektedir. Genel olarak, deformasyon hızının akma gerilmesine etkisi, çekme dayanımına etkisinden daha fazladır. Hacim merkezli kübik (HMK) kafes yapısına sahip metallerde deformasyon hızının artışı, çekme eğrisini yüksek değerlere ötelirken, Yüzey merkezli kübik (YMK) yapıli metallerin aynı deformasyon oranında fakat yüksek deformasyon hızında gösterdikleri gerçek mukavemet değerleri farkı daha da yükselir (Demirci, 2004). Özellikle otomotiv sanayinde kullanılacak metalik sacların mekanik özelliklerinin hadde yönü ve deformasyon hızı ile değişiminin tespiti önemli bir teknolojik sonuçtur.

Meriç ve diğ., (1997) deformasyon sıcaklığının ve deformasyon hızının Al 99.0'un mekanik özelliklerine etkilerini incelemiştir. Belli bir sıcaklık değeri için artan deformasyon hızı ile

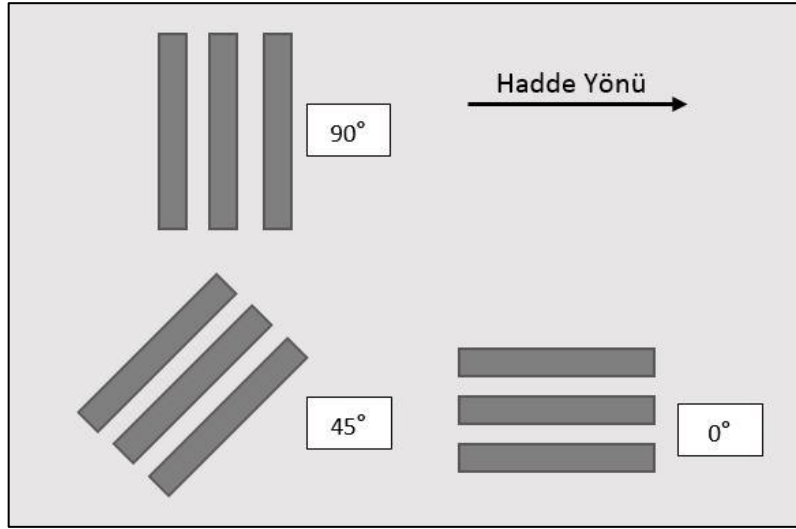
malzemenin akma mukavemeti değerlerinde bir artış olduğu, çekme mukavemeti değerlerinde ise belirgin bir artış olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, belli bir sıcaklık değeri için artan deformasyon hızı ile malzemenin kopma uzaması değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Najib ve diğ. (2014) ise, 5083 alüminyum alaşımında haddeleme yönünün çekme özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Hadde yönü açısının artışı maksimum çekme gerilmesini de artırmıştır. Amrutkar ve Borse (2015) yaptıkları çalışmada, deformasyon hızı ve deformasyon sıcaklığının A413 alüminyum alaşımının çekme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Aynı sıcaklıklar göz önüne alındığında deformasyon hızının artması çekme dayanımını artırdığını tespit etmişlerdir. Cadoni ve diğ. (2016) ise, zırlı askeri uygulamalar için kullanılabilen 7081 alüminyum alaşımı için deformasyon hızının mekanik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Deformasyon hızı arttıkça kesit daralması azalmış, çekme dayanımı ve üniform uzama artmıştır. Tajally ve Emadoddin (2010), 7075 alaşımının haddeleme yönüne ve deformasyon sıcaklığına göre gösterdiği özellikleri incelemişlerdir. Her bir sıcaklık için en yüksek şekil değiştirme miktarına 45°'de ulaşılmıştır ve bu değer de sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmıştır. Higashi ve diğ. (1991), oda sıcaklığındaki çeşitli deformasyon hızlarında 1050, 3003, 3004, 5182 ve 7N01 alüminyum alaşımlarının süneklik ve akma dayanımı değişimini araştırmışlardır. Artan deformasyon hızıyla birlikte 1050 ve 3003 alaşımlarının akma dayanımları artmıştır. Buna karşın, diğer alaşımların akma dayanımlarında, artan hızla birlikte belirli bir noktaya kadar azalma görülmüş daha sonra artış başlamıştır. Bu alaşımlardaki istisnai davranışların sebebi olarak da çözünen halde bulunan magnezyum atomları gösterilmiştir. Çekme dayanımında da diğer üç alaşım bir noktaya kadar deformasyon hızıyla ters orantılı iken sonrasında çekme dayanımı deformasyon hızı ile artmıştır. Uzama oranları ise 7N01 alaşımı dışında deformasyon hızıyla birlikte artmaktadır. Picu ve diğ. (2004) ise, deformasyon hızı duyarlılığını incelemek amacıyla 5182 alüminyum alaşımına -120 ile 150 °C arasındaki deformasyon sıcaklıklarında ve  $10^{-6}$  ile  $10^{-1} s^{-1}$  arasında değişen deformasyon hızlarında çekme deneyleri uygulamışlardır. Deformasyon hızı duyarlılığı sıcaklıkla birlikte artmıştır. Ohwue ve diğ. (2002), 5000 serisi alaşımların deformasyon hızı ve deformasyon sıcaklığına bağlı mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deformasyon hızı arttıkça uzama yani süneklik azalmıştır ve bu durum yüksek sıcaklıklarda daha belirgin gerçekleşmiştir. Artan deformasyon hızı çekme dayanımını genel olarak yükseltmesine rağmen oda sıcaklığındaki deneylerde çekme dayanımına hemen hemen hiç etkisi olmamıştır. Nicholas (1981) 6061-T6 alüminyum alaşımına  $10^{-3}$  ile  $10^4 s^{-1}$  arasında değişen deformasyon hızları uygulamış ve artan deformasyon hızı ile akma ve çekme mukavemetlerinde belirgin artışlar tespit etmiştir.

Bu çalışmada, ısıtma işlemi uygulanabilir alüminyum alaşımı olarak AA6082-T6, ısıtma işlemi uygulanamaz alüminyum alaşımı olarak AA1035 seçilmiştir. Son yıllarda, AA6082-T6 alüminyum alaşımı otomotiv endüstrisinde kendine yer bulmaya başlamış ve bu sektörde kullanımı gittikçe artmaya başlamış dikkat çekici bir alaşımdır. AA6082-T6 alaşımı otomotivde ekstrüde gövde ve şasi komponentleri, dövme süspansiyon parçaları, tampon ve yapı elemanları, mekanik bağlantı elemanları, kırımlar, fren komponentleri üretiminde tercih edilmektedir. AA6082 alaşımı, esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur ve bu elementler yapıdaki sertleştirici özelliğe sahip  $Mg_2Si$  metaller arası bileşimini oluşturur. Mükemmel korozyon direncine sahip olup 6XXX serisi içerisinde en yüksek dayanıma sahip alaşımlardan biridir. Isıtma işlemi uygulanamaz 1XXX serisi alüminyum alaşımları ise, minimum % 99 saflığa sahip alaşımlardır. AA1035-H14 alaşımı ticari olarak saf kabul edilir. Ticari olarak saf alüminyum düşük yoğunluklu, yüksek elastik modül, iyi termal ve elektrik iletkenliği nedeniyle endüstriyel amaçlar için en çok kullanılan metallerden biridir (Davis, 1999). AA1035-H14 alaşımı, alaşımlı alüminyum malzemelerden daha düşük mekanik özelliklere sahip olmakla beraber saflığından ötürü daha yüksek korozyon direncine sahiptir. Uygulama alanları olarak basınçlı kaplar, karayolu bariyerleri, sokak levhaları, ısı eşanjörü bileşenleri, bazı inşaat malzemeleri, mutfak gereçleri, elektrik-elektronik ekipmanları (kondansatör kutusu, elektrik şebekeleri, güç kondansatörü tankı vb.) gösterilebilir.

Bu çalışmada, ısıt işlem uygulanabilir AA6082-T6 alüminyum alaşımı ve ısıt işlem uygulanamaz AA1035-H14 alüminyum alaşımına üç farklı haddelenme yönünde üretilen numunelere dört farklı deformasyon hızında oda sıcaklığında çekme testleri uygulanmıştır. Uygulanan çekme testleri sonucunda bu alaşımlarda hadde yönünün ve deformasyon hızının, malzemenin mukavemet ve sünekliğiyle alakalı temel mekanik özellikler olan akma mukavemetine, çekme mukavemetine ve kopma uzamasına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

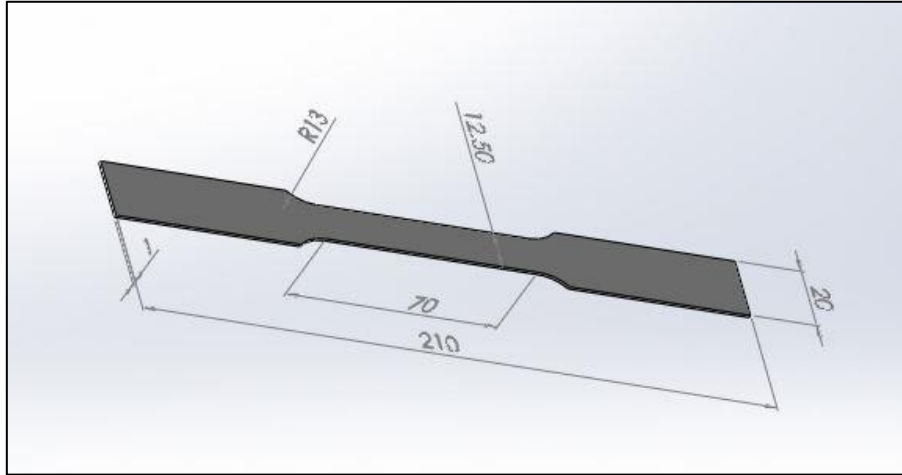
Çalışmada kullanılan AA6082-T6 ve AA1035-H14 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir Bu alaşımlara ait levhalar haddelenmiş şekilde ticari olarak temin edilmiştir. 1x1000x2000 mm ebatlarına sahip AA6082-T6 alaşımı levhadan haddelenme yönünün çekme eksenine yapmış olduğu açıya (0°, 45° ve 90°) bağlı olarak giyotin makas ile kesim sonucunda numuneler alınmıştır (Şekil 1). Sonrasında, çekme numunelerinin ölçüleri frezeleme işlemiyle ASTM-E8 standardında hazırlanmıştır (ASTM-E8) (Şekil 2). Aynı boyutlardaki çekme numunesi, 1x1000x2000 mm ebatlarındaki AA1035-H14 alaşımı levhadan doğrudan su jeti ile kesme ile alınmıştır. Su jeti ile kesim sonrası kesim yüzeyleri uygun bir şekilde zımparalanarak çentik etkisi ortadan kaldırılmıştır.



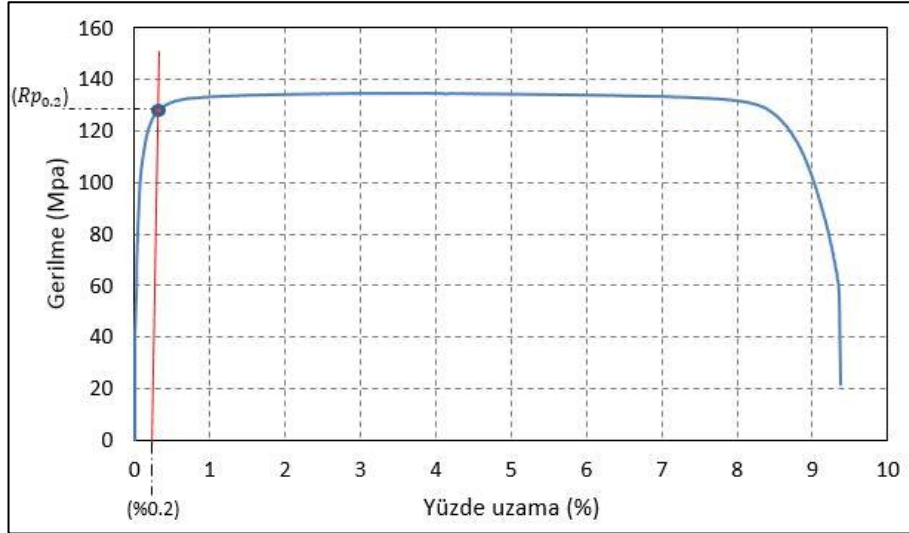
Şekil 1:

*AA6082-T6 ve AA1035H14 alaşımlarından haddeleme yönüne bağlı olarak alınan numunelerin gösterimi*

Çekme testleri, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme ve Mekanik Test Laboratuvarında tamamen bilgisayar kontrollü 25 ton kapasiteli UTEST-7014 çekme cihazında oda sıcaklığında  $2.4 \times 10^{-4}$ ,  $2.4 \times 10^{-3}$ ,  $2.4 \times 10^{-2}$  ve  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızlarında gerçekleştirilmiştir. Uzama ölçümlerinde otomatik uzama-ölçer (ekstansometre) kullanılmıştır. Numunelerin çekme testlerinden akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan alaşımların belirgin bir akma göstermemesinden dolayı % 0.2’lik plastik uzamaya karşılık gelen gerilme değeri, akma dayanımı olarak alınmıştır ( $R_{p0.2}$ ). Her numunenin çekme eğrileri üzerinde %0.2’lik plastik uzama değerinden elastik bölge içerisindeki eğime paralel doğrular çekilerek numunelerin akma dayanımları belirlenmiştir (Şekil 3). Her bir numune için en az 3 adet çekme testi uygulanmıştır. Numunelerin çekme değerleri olarak ortalama değerler alınmıştır.



**Şekil 2:**  
Çekme test numunesi



**Şekil 3:**  
Numunelerin  $R_{p0.2}$  akma dayanımı değerinin elde edilmesi

**Tablo 1. Çalışmada kullanılan AA6082-T6 alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)**

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0.93	0.40	0.08	0.48	0.74	0.03	0.01	0.05	0.02	Geri Kalan

**Tablo 2. Çalışmada kullanılan AA1035-H14 alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)**

Si	Fe	Mn	Ti	Mg	Zn	Sn	Cu	Cr	Al
0.1	0.26	0.07	0.02	0.02	0.06	0.03	0.003	0.002	Geri Kalan

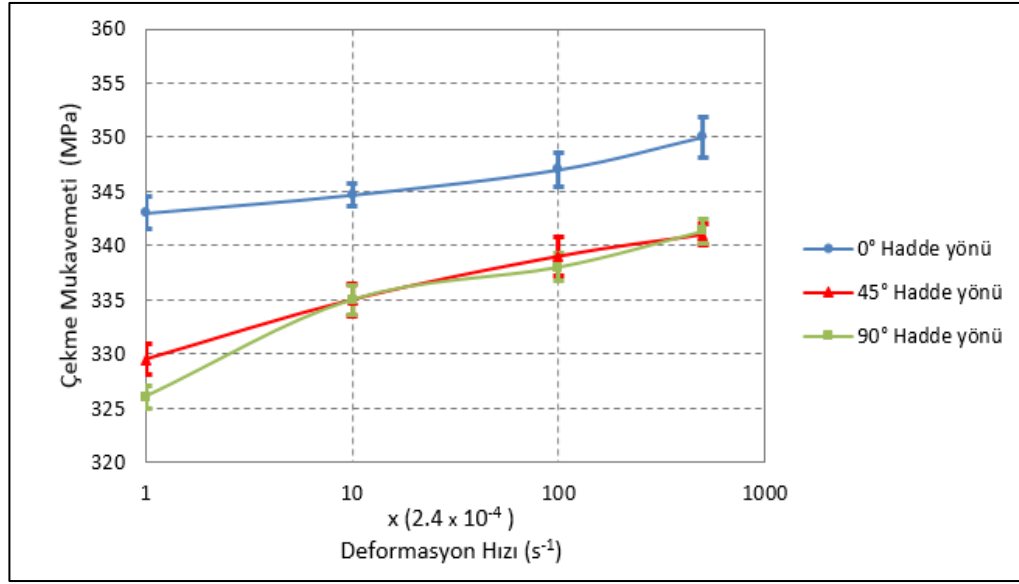
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı hadde yönlerinde AA6082-T6 alaşımı numunelerinin farklı deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinin ortalama sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. İlgili sonuçların grafiksel gösterimleri de (x-ekseni logaritmik) Şekil 4-6 arasında görülmektedir. Ayrıca  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızında değişen hadde yönü ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$ ) için çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması grafikleri sırasıyla Şekil 7-9 arasında verilmiştir. Hadde yönünün etkisini belirlemek için en düşük deformasyon hızı esas alındığında, hadde yönü açısı artışıyla çekme mukavemeti düşmüştür:  $0^\circ$  hadde yönünde en yüksek çekme dayanımı değeri elde edilmiştir (Şekil 7). Bu durum,  $0^\circ$  hadde yönünde plastik deformasyon mukavemetlenmesinin daha etkin olduğuna işaret etmektedir. Bu da, plastik deformasyonun devamında yaşlandırma sonucu oluşturulmuş tane içi ince çökelti partikülleri ile dislokasyonların etkileşimiyle ilişkilidir: Haddeleme ile  $0^\circ$  hadde yönündeki plastik deformasyon mukavemetlenmesine ek olarak yine bu yönde çekme testi esnasında plastik deformasyonun devamında kısa mesafeli çökelti partikülleri arasında dislokasyon yığımlarının meydana geldiği düşünülmektedir. Akma dayanımında ise hadde yönü açısı artışıyla akma mukavemeti artmıştır.  $90^\circ$  hadde yönünde nispeten daha yüksek akma dayanımı değeri elde edilmiştir (Şekil 8). Bu beklenmeyen durum, yine bu alaşımda yaşlandırma ile oluşturulmuş çökelti partikülleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir: Haddeleme esnasında tane içerisinde yaşlandırma ile ince çökelti partiküllerinin etrafında yeni dislokasyon halkalarının oluşturulması (çökelti partiküllerinin yeni dislokasyon kaynağı olarak davranması) sayesinde haddeleme yönünde ( $0^\circ$  hadde yönünde) plastik deformasyonun nispeten daha erken başlamasına neden olmuştur. Kopma uzaması  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  hadde yönünde hemen hemen aynı kalırken, kopma uzaması değeri  $90^\circ$  hadde yönünde önemli ölçüde düşmüştür (Şekil 9). Diğer taraftan, genel olarak, deformasyon hızıyla mukavemet değerleri artarken uzama değerleri düşmektedir (Şekil 4-6). Deformasyon hızının  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 'den  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'e çıkarılmasıyla; çekme dayanımı  $0^\circ$  hadde yönünde %2,  $45^\circ$  hadde yönünde %3.5,  $90^\circ$  hadde yönünde %4.7, akma dayanımı  $0^\circ$  hadde yönünde %10.3,  $45^\circ$  hadde yönünde %11.2,  $90^\circ$  hadde yönünde %8.8 artmıştır. Görüldüğü gibi deformasyon hızı akma mukavemeti üzerinde daha etkindir. Nitekim, deformasyon hızının mukavemet üzerindeki etkisi dislokasyonlar üzerinden gerçekleşmektedir. Deformasyon hızı artışı ile dislokasyon hareketi nispeten zorlaşmaktadır veya gecikmektedir. Buna istinaden, deformasyon hızının elastik bölgeden plastik bölgeye geçiş noktası olan akma mukavemetine etkisinin de belirgin olacağı açıktır. Deformasyon hızıyla çekme mukavemetindeki artış oranı hadde yönü açısı artışıyla artmıştır. Diğer taraftan, deformasyon hızıyla da akma mukavemetindeki artış oranı  $90^\circ$  hadde yönünde nispeten düşük kalmıştır. Kopma uzaması değerlerinde ise deformasyon hızı artışı ile önce nispi bir artış kaydedilse de özellikle  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızında belirgin bir düşüş görülmüştür (Şekil 6). Deformasyon hızının  $2.4 \times 10^{-4}$ 'ten  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'e çıkarılmasıyla; kopma uzaması  $0^\circ$  hadde yönünde %23.6,  $45^\circ$  hadde yönünde %24.8, ve  $90^\circ$  hadde yönünde %27.5 düşmüştür. Deformasyon hızının kopma uzaması üzerindeki etkisi de çok belirgin olmuştur. Deformasyon hızı artışı ile kopma uzamasındaki düşüş oranı hadde yönü açısı artışıyla da artmıştır.

**Tablo 3. AA6082-T6 alüminyum alaşımı için çekme testi sonuçları (ortalama değerler)**

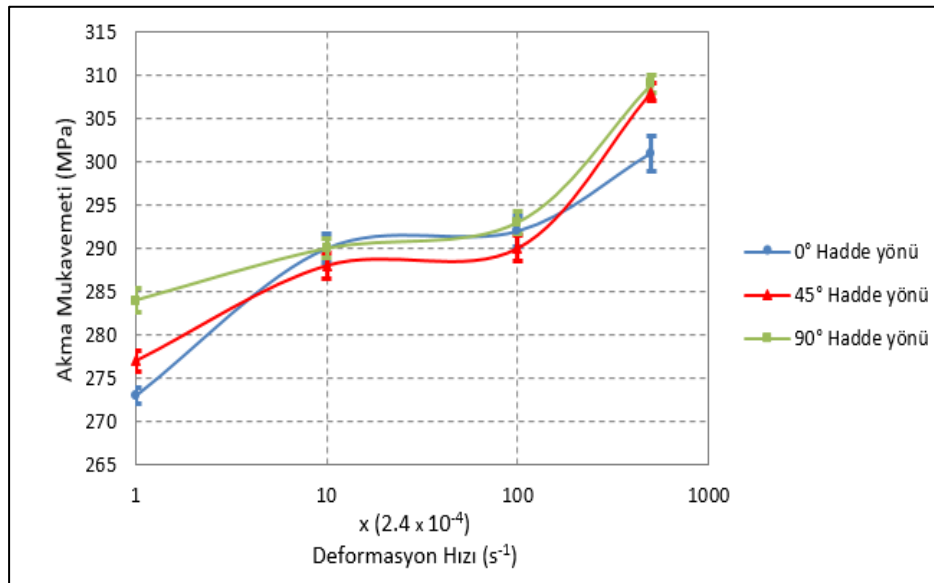
Hadde Yönü	Deformasyon Hızı [s <sup>-1</sup> ]	Çekme Dayanımı Rm [MPa]	Standart Sapma	Akma Dayanımı Rp <sub>0.2</sub> [MPa]	Standart Sapma	Kopma Uzaması A [%]	Standart Sapma
0°	$2.4 \times 10^{-4}$	343	1.53	273	1	14.27	0.27
	$2.4 \times 10^{-3}$	344.67	1.05	290	1.63	13.87	0.3
	$2.4 \times 10^{-2}$	347	1.53	292	1.76	14.8	0.25
	$1.2 \times 10^{-1}$	350	1.9	301	2	10.9	0.28
45°	$2.4 \times 10^{-4}$	329.5	1.4	277	1.26	14.1	0.21

	$2.4 \times 10^{-3}$	335	1.53	288	1.4	15.27	0.28
	$2.4 \times 10^{-2}$	339	1.73	290	1.53	13.87	0.28
	$1.2 \times 10^{-1}$	341	1	308	1.03	10.6	0.21
90°	$2.4 \times 10^{-4}$	326	1.1	284	1.42	11.03	0.26
	$2.4 \times 10^{-3}$	335	1.35	290	1.15	13.95	0.12
	$2.4 \times 10^{-2}$	338	1.25	293	1.26	12.93	0.25
	$1.2 \times 10^{-1}$	341.33	1.15	309	1.01	8	0.3



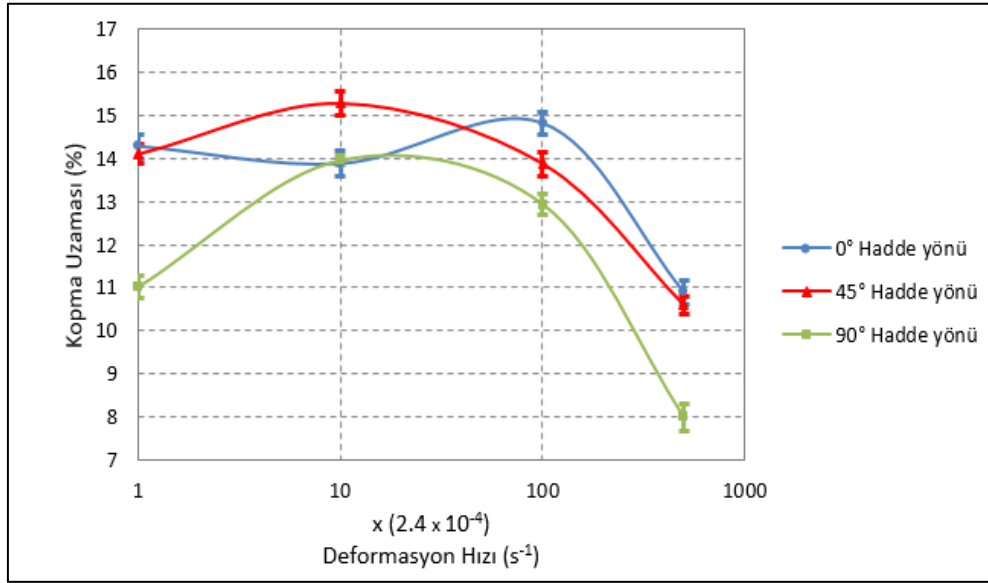
**Şekil 4:**

0°, 45° ve 90° hadde yönündeki numunelerde (AA6082-T6) çekme mukavemetinin deformasyon hızı ile değişimi

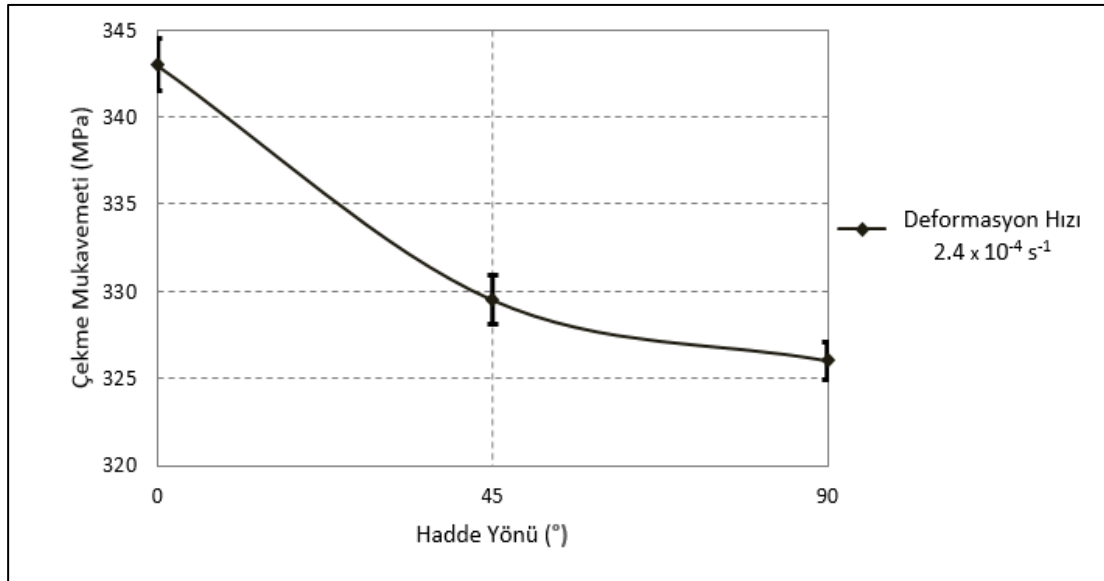


**Şekil 5:**

0°, 45° ve 90° hadde yönündeki numunelerde (AA6082-T6) akma mukavemetinin deformasyon hızı ile değişimi

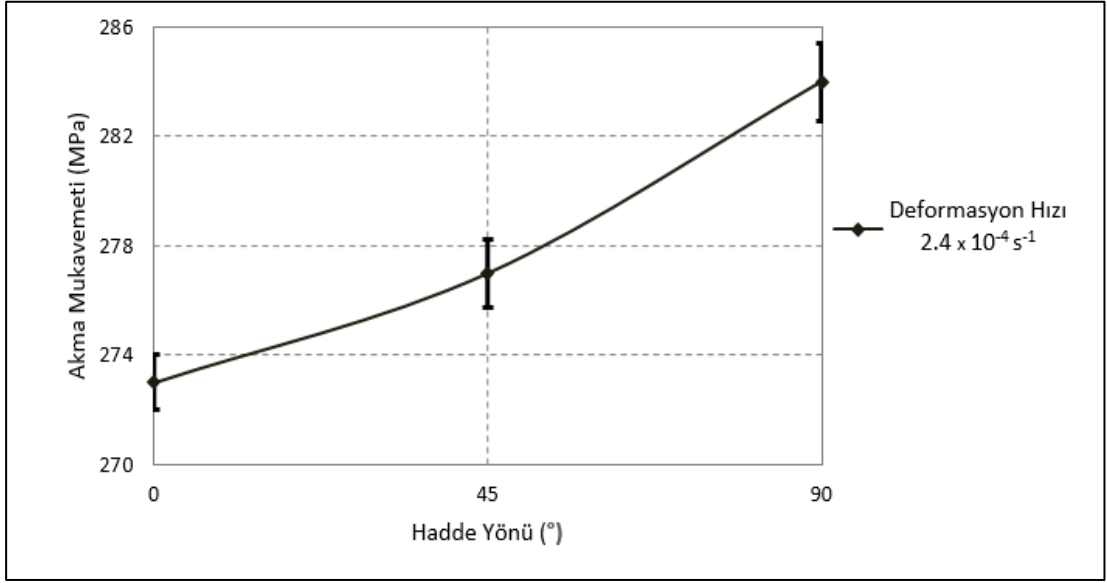


**Şekil 6:**  
*0°, 45° ve 90° hadde yönündeki numunelerde (AA6082-T6) kopma uzamasının deformasyon hızı ile değişimi*

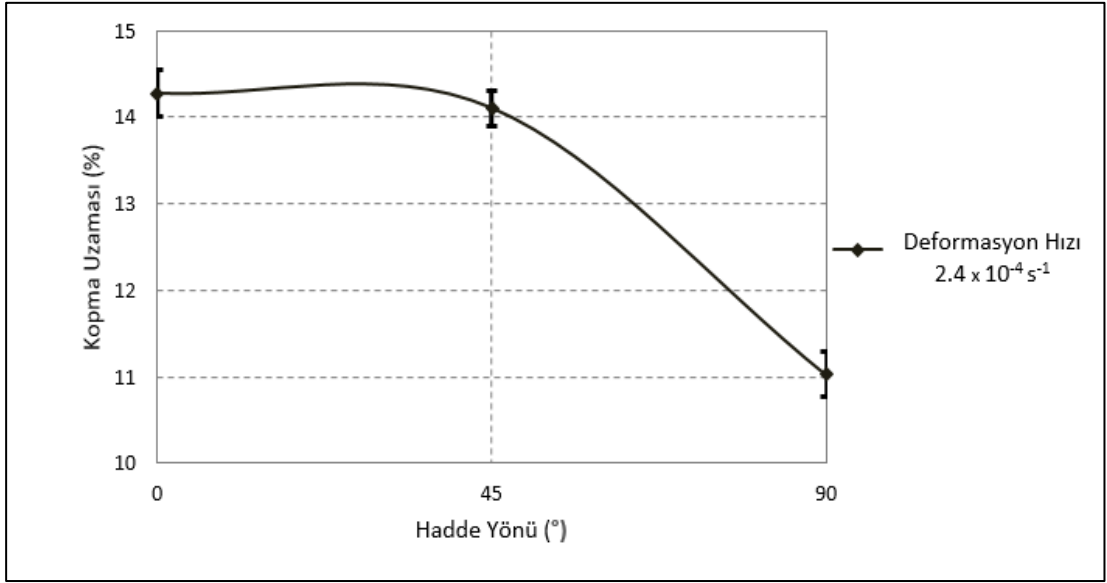


**Şekil 7:**  
*2.4 x 10⁻⁴ s⁻¹ deformasyon hızı için (AA6082-T6) çekme mukavemetinin hadde yönü ile değişimi*





**Şekil 8:**  
 $2.4 \times 10^{-4} s^{-1}$  deformasyon hızı için (AA6082-T6) akma mukavemetinin hadde yönü ile değişimi



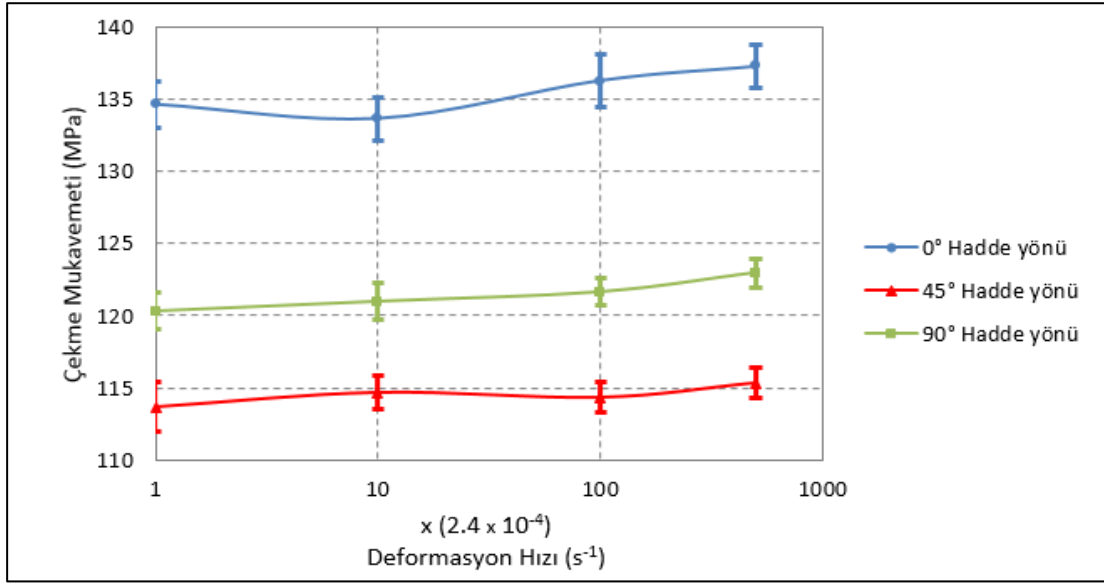
**Şekil 9:**  
 $2.4 \times 10^{-4} s^{-1}$  deformasyon hızı için (AA6082-T6) kopma uzamasının hadde yönü ile değişimi

Farklı hadde yönünde AA1035-H14 alaşımı numunelerinin farklı deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinin ortalama sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. İlgili sonuçların grafiksel gösterimleri de (x-ekseni logaritmik) Şekil 10-12 arasında görülmektedir. Ayrıca  $2.4 \times 10^{-4} s^{-1}$  deformasyon hızında değişen hadde yönü ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$ ) için çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması grafikleri sırasıyla Şekil 13-15 arasında verilmektedir. Hadde yönünün etkisini belirlemek için en düşük deformasyon hızı esas alındığında, AA6082-T6 alaşımına benzer şekilde  $0^\circ$  hadde yönünde en yüksek çekme dayanımı değeri elde edilmiştir (Şekil 13). Ancak, AA6082-T6 alaşımından farklı olarak AA1035-H14 alaşımında akma dayanımı da beklendiği gibi  $0^\circ$  hadde yönünde maksimum olmuştur (Şekil 14). Bu alaşımda çökelti partiküllerinin mevcut olmaması  $0^\circ$  hadde yönünde de akma dayanımının maksimum olmasına yol açmıştır. Her iki mukavemet değeri de  $45^\circ$  hadde yönünde en düşük değerindedir

(Şekil 13,14). Hadde yönü her iki mukavemet değerinde de etkin rol oynamıştır. Kopma uzaması da beklendiği gibi 45° ve 90° hadde yönünde önemli ölçüde düşmüştür. En yüksek değerini 0° hadde yönünde, en düşük değerini ise 45° hadde yönünde görmüştür (Şekil 15). Diğer taraftan, genel olarak, deformasyon hızıyla mukavemet değerleri artmıştır (Şekil 10,11). Bu artış çekme mukavemetinde çok düşük düzeyde kalırken, AA6082-T6 alaşımında olduğu gibi akma mukavemetinde daha belirgin olmuştur. Deformasyon hızının  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 'den  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'e çıkarılmasıyla; çekme dayanımı 0° hadde yönünde %2, 45° hadde yönünde %1.5, 90° hadde yönünde %2.2, akma dayanımı 0° hadde yönünde %6.3, 45° hadde yönünde %5.6, 90° hadde yönünde %8 artmıştır. Deformasyon hızı artışı ile çekme mukavemetindeki artış oranı hadde yönünden etkilenmemiştir denilebilir. Deformasyon hızıyla akma mukavemetindeki artış oranı ise 90° hadde yönünde daha yüksektir. Kopma uzaması değerlerinde ise genel olarak deformasyon hızı artışı ile bir artış göze çarpmaktadır (Şekil 12). Özellikle, deformasyon hızının  $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 'den  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'e çıkarılmasıyla; kopma uzaması 0° hadde yönünde %8.5 artmıştır. 45° ve 90° hadde yönünde de kopma uzaması önce deformasyon hızı artışıyla artarken,  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızında ise belirgin olarak düşmüştür.

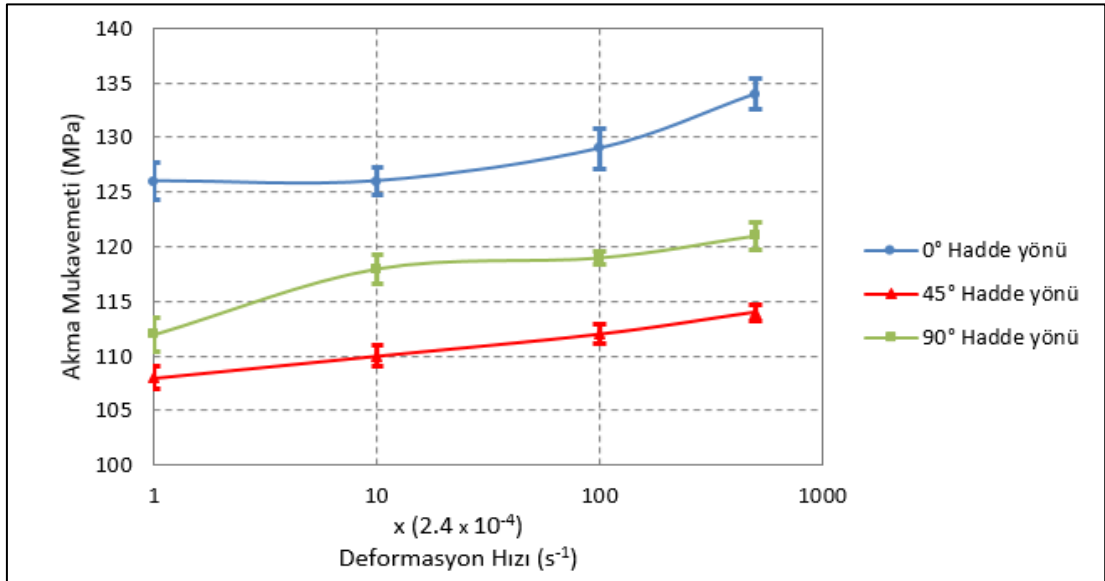
**Tablo 4. AA1035-H14 alüminyum alaşımı için çekme testi sonuçları (ortalama değerler)**

Hadde Yönü	Deformasyon Hızı [s <sup>-1</sup> ]	Çekme Dayanımı R <sub>m</sub> [MPa]	Standart Sapma	Akma Dayanımı R <sub>p0,2</sub> [MPa]	Standart Sapma	Kopma Uzaması A [%]	Standart Sapma
0°	$2.4 \times 10^{-4}$	134.67	1.64	126	1.66	9.19	0.24
	$2.4 \times 10^{-3}$	133.67	1.53	126	1.32	9.45	0.21
	$2.4 \times 10^{-2}$	136.33	1.82	129	1.82	9.93	0.15
	$1.2 \times 10^{-1}$	137.33	1.47	134	1.34	9.97	0.26
45°	$2.4 \times 10^{-4}$	113.67	1.72	108	1.08	5.82	0.2
	$2.4 \times 10^{-3}$	114.67	1.16	110	0.92	6.73	0.23
	$2.4 \times 10^{-2}$	114.33	1.05	112	0.87	8.02	0.25
	$1.2 \times 10^{-1}$	115.33	1.04	114	0.72	5.89	0.22
90°	$2.4 \times 10^{-4}$	120.33	1.26	112	1.53	6.92	0.21
	$2.4 \times 10^{-3}$	121	1.3	118	1.32	7.03	0.25
	$2.4 \times 10^{-2}$	121.67	0.9	119	0.57	9.8	0.15
	$1.2 \times 10^{-1}$	123	1	121	1.22	8.4	0.18



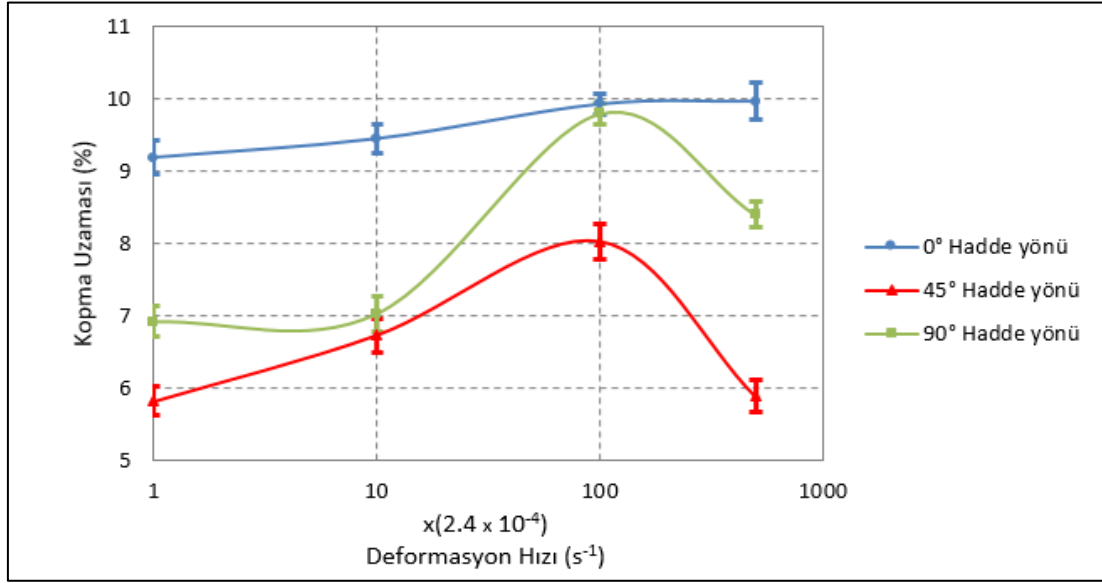
**Şekil 10:**

*0°, 45° ve 90° hadde yönündeki numunelerde (AA1035-H14) çekme mukavemetinin deformasyon hızı ile değişimi*

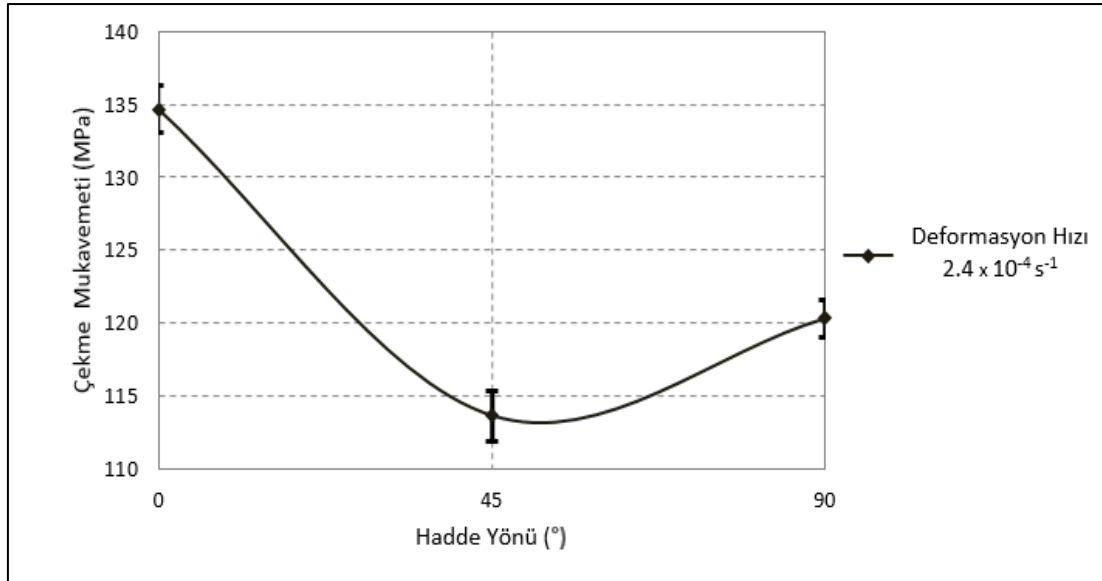


**Şekil 11:**

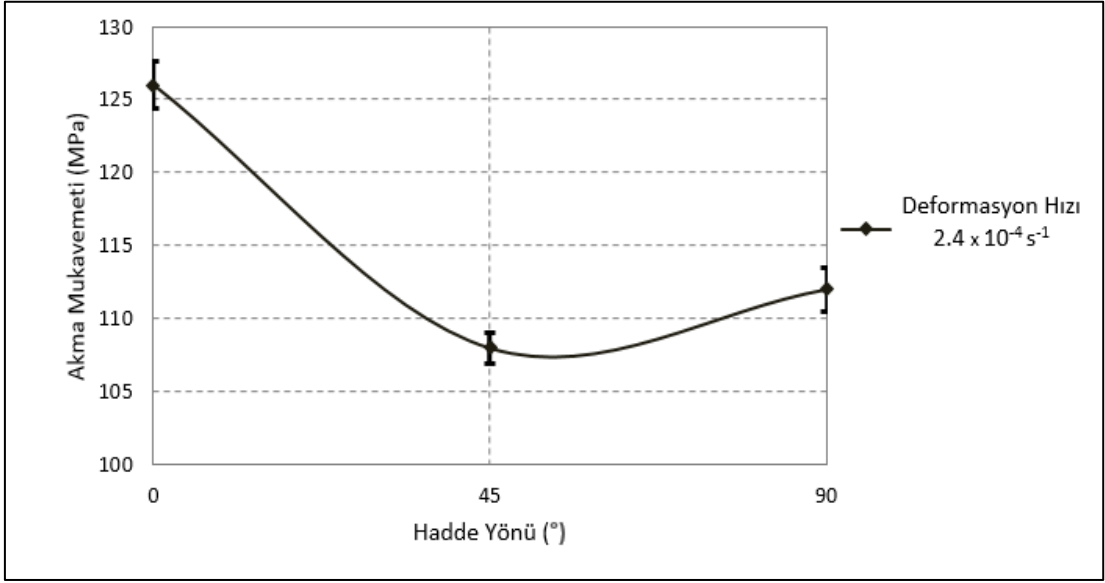
*0°, 45° ve 90° hadde yönündeki numunelerde (AA1035-H14) akma mukavemetinin deformasyon hızı ile değişimi*



**Şekil 12:**  
0°, 45° ve 90° hadde yönündeki numunelerde (AA1035-H14) kopma uzamasının deformasyon hızı ile değişimi

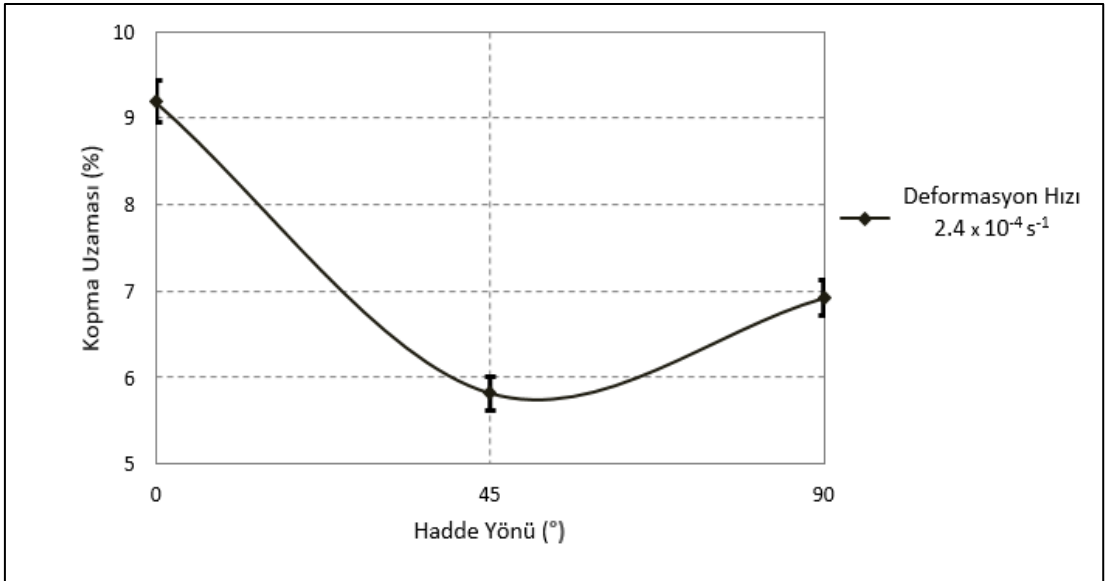


**Şekil 13:**  
 $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  deformasyon hızı için (AA1035-H14) çekme mukavemetinin hadde yönü ile değişimi



**Şekil 14:**

$2.4 \times 10^{-4} s^{-1}$  deformasyon hızı için (AA1035-H14) akma mukavemetinin hadde yönü ile değişimi



**Şekil 15:**

$2.4 \times 10^{-4} s^{-1}$  deformasyon hızı için (AA1035-H14) kopma uzamasının hadde yönü ile değişimi

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, ısıtıl işlem uygulanabilir AA6082-T6 alüminyum alaşımlarında ve ısıtıl işlem uygulanamaz AA1035-H14 alüminyum alaşımlarında haddeleme yönünün ve deformasyon hızının çekme özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Düşük deformasyon hızında ( $2.4 \times 10^{-4} s^{-1}$ ) hadde yönünün mukavemet üzerindeki etkisi AA1035-H14 alaşımında çok daha belirgindir.

- Düşük deformasyon hızında ( $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ) her iki alaşımda da en yüksek çekme dayanımı  $0^\circ$  hadde yönündedir. Diğer taraftan AA6082-T6 alaşımında en düşük çekme mukavemeti  $90^\circ$  hadde yönünde iken, AA1035-H14 alaşımında en düşük  $45^\circ$  hadde yönündedir.
- Düşük deformasyon hızında ( $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ) 6082-T6 alaşımında akma dayanımı  $90^\circ$  hadde yönünde nispeten daha yüksektir. AA1035-H14 alaşımında ise akma dayanımı  $0^\circ$  hadde yönünde daha yüksek değer almıştır. AA6082-T6 alaşımında en düşük akma mukavemeti  $0^\circ$  hadde yönünde iken, AA1035-H14 alaşımında ise en düşük akma mukavemeti  $45^\circ$  hadde yönündedir.
- Düşük deformasyon hızında ( $2.4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ) AA6082-T6 alaşımında kopma uzaması  $0^\circ$  ile  $45^\circ$  hadde yönünde yüksek iken 1035-H14 alaşımında ise en yüksek kopma uzaması  $0^\circ$  hadde yönündedir. Kopma uzaması AA1035-H14 alaşımında  $45^\circ$  hadde yönünde en düşük iken AA6082-T6 alaşımında ise  $90^\circ$  hadde yönünde en düşük değerdedir.
- Her iki alaşımda genel olarak deformasyon hızı artışıyla mukavemet değerleri artmıştır. Artış, her iki alaşımda çekme mukavemetinde nispeten sınırlı kalırken, artış akma mukavemetinde daha etkin olmuştur. Ancak, AA6082-T6 alaşımında deformasyon hızının mukavemet üzerindeki etkisi daha belirgindir.
- AA6082-T6 alaşımında deformasyon hızıyla çekme mukavemetindeki artış oranı hadde yönü açısı artışıyla artmaktadır. AA1035-H14 alaşımında ise deformasyon hızı artışı ile çekme mukavemetindeki artış oranı hadde yönünden etkilenmemiştir. Diğer taraftan, her iki alaşımda da deformasyon hızıyla akma mukavemetindeki artış oranı ve hadde yönü açısı arasında bir ilişki gözlenmemiştir. Ancak, AA6082-T6 alaşımında deformasyon hızıyla akma mukavemetindeki artış oranı  $90^\circ$  hadde yönünde nispeten düşük iken AA1035-H14 alaşımında ise bu artış oranı  $90^\circ$  hadde yönünde yüksektir.
- AA6082-T6 alaşımında deformasyon hızı artışı ile kopma uzaması değerleri düşerken, AA1035-H14 alaşımında deformasyon hızı artışıyla kopma uzaması değerleri artmaktadır. Ancak, AA1035-H14 alaşımında,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  hadde yönünde  $1.2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'lik deformasyon hızında belirgin bir düşüşte meydana gelmektedir. AA6082-T6 alaşımında deformasyon hızı artışı ile kopma uzamasındaki düşüş oranı hadde yönü açısı artışıyla artarken, AA1035-H14 alaşımında deformasyon hızıyla kopma uzamasındaki düşüş-artış oranı ve hadde yönü açısı arasında belirgin bir korelasyon mevcut değildir.

## KAYNAKLAR

1. Amrutkar, P., Borse, R.R. (2015). High temperature tensile testing of aluminium alloy-A413 by FEA, International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering, 3(12), 119-124.
2. ASTM E8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, Annual Book or ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Vol. 3.01.
3. Cadoni, E. Dotta, M., Forni, D., Kaufmann, H. (2016). Effects of strain rate on mechanical properties in tension of commercial aluminium alloy used in armour applications. 21st European Conference on Fracture, Catania, Italy, Volume 2, 986-993.
4. Davis J.R. (1999). Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, Materials Park.
5. Demirci, A.H., Yiğit, K., Aydın, H. (2004). MgCu<sub>2</sub> partikülleri içeren Al-Cu alaşımının verilen bir tribosistem ve yaşlandırma şartlarında aşınma davranışlarının belirlenmesi. 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi Konferansı, Denizli, Türkiye, 187-193.

6. Demirci, A.H. (2004). Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, Alfa Yayınevi.
7. Demirci, A.H. (2005). Mühendislik Malzemeleri, Alfa Yayınevi.
8. Higashi K., Mukai T., Kaizu K., Tsuchida S., Tanimura S., (1991). Strain rate dependence on mechanical properties in some commercial aluminum alloys, Journal de Physique IV, 341-346, doi:10.1051/jp4:1991349
9. Meriç,C., Atik,E., Özkaya,E. (1997). Deformasyon sıcaklığının ve deformasyon hızının al 99.0'un mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3 (1), 293-298.
10. Najib, L.M., Alisibramulisi, A., Amin, N.M., Bakar, I.A.A., Hasim. S. (2014). The effect of rolling direction to the tensile properties of AA5083 specimen, InCIEC, 779-787, doi:10.1007/978-981-287-290-6\_67 .
11. Nicholas, T. (1981).Tensile test of materials at high rates of strain, Experimental Mechanics, 21(5), 177-185, doi:10.1007/BF02236644.
12. Ohwue, T., Takata, K., Saga, M., Kikuchi, M. (2002). Temperature and strain rate dependence of mechanical properties and square shell deep drawability of Al-Mg alloy sheets in warm working condition, Material Transactions, Vol. 43, No.12, 3184-3188.
13. Picu,R.C.,Vincze,G.,Ozturk,F.,Gracip,J.J.,Barlat,F.,Maniatty,A.M. (2005).Strain rate sensitivity of the commercial aluminum alloy AA5182-O, Materials Science and Engineering A, 390, 334-343, doi:10.1016/j.msea.2004.08.029.
14. Tajally, M., Emadoddin, E. (2011). Mechanically and anisotropic behaviors of 7075 aluminum alloy sheets, Materials and Design 32(3):1594-1599, doi:10.1016/j.matdes.2010.09.001.

