

YENİ NESİL EZ43 MAGNEZYUM ALAŞIMLARI ND-CE VE ÇOK YÖNLÜ DÖVME ETKİLERİ

EDİTÖR

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI

YAZAR

Dr. Özcan BÜYÜKGENÇ



© Copyright 2026

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

Bu Kitapta Yer Alan Fikirler ve Düşünceler Yazara Ait Olup, Hiçbir Kurum veya Kuruluşun Görüşünü Yansıtmamaktadır. Bu Kitap, “Ez43 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik ve Biyoyumluluk Davranışlarına Neodinyum ve Seryum Alaşım Elementleri İle Çok Yönlü Dövme İşleminin Etkilerinin İncelenmesi” Doktora Tezinden Üretilmiştir.

ISBN 978-625-375-906-3	Sayfa ve Kapak Tasarımı Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı Yeni Nesil EZ43 Magnezyum Alaşımları Nd-Ce ve Çok Yönlü Dövme Etkileri	Yayıncı Sertifika No 47518
Editör Hayrettin AHLATÇI ORCID iD: 0000-0002-6766-4974	Baskı ve Cilt Vadi Matbaacılık
Yazar Özcan BÜYÜKGENÇ ORCID iD: 0000-0002-9647-6198	Bisac Code SCI013000
	DOI 10.37609/akya.3958
Yayın Koordinatörü Yasin DİLMEN	

Kütüphane Kimlik Kartı
Büyükgenç, Özcan.
Yeni Nesil EZ43 Magnezyum Alaşımları Nd-Ce ve Çok Yönlü Dövme Etkileri / Özcan Büyükgenç; ed.
Hayrettin Ahlatçı.
Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2026.
135 s. : tablo, şekil. ; 160x235 mm.
Kaynakça var.
ISBN 9786253759063

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2

MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI	11
2.1. MAGNEZYUM	11
2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI	13
2.3. ALAŞIM ELEMENTLERİ	15
2.3.1. Nadir Toprak (Re) Elementleri	15
2.3.2. Mg-Re Çoklu Alaşım Sistemleri	25
2.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ PLASTİK ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ	26
2.4.1. Eşit Kanallı Açısal Presleme (Ekap)	27
2.4.2. Ekstrüzyon	28
2.4.3. Çok Yönlü Dövme Yöntemi	29
2.5. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI	31

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
3.1. ÜRETİM	33
3.2. HOMOJENİZASYON İŞLEMİ	36
3.3. EKSTRÜZYON İŞLEMİ	37
3.4. ÇOK YÖNLÜ DÖVME İŞLEMİ	40
3.5. EKSTRİZYON VE ÇOK YÖNLÜ DÖVME İŞLEMİ SONRASI YAPILAN DENEYLER	42
3.5.1. Optik Mikroyapı Görüntüleme İşlemleri	42
3.5.2. XRD Analizi	42
3.5.3. SEM, EDX ve MAP Görüntüleme İşlemleri	43

3.6. MEKANİK TESTLER	43
3.6.1. Sertlik Testi.....	43
3.6.2. Çekme Testi	43
3.7. AŞINMA TESTLERİ.....	44
3.7.1. Adhezif Aşınma Testi.....	44
3.7.2. Korozif Aşınma Testi	45
3.8. KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU	45
3.8.1. Daldırma Korozyon Testi	46
3.8.2. Potansiyodinamik Polarizasyon (Pd) Testi	47
3.8.3. Empedans Testi	47
3.8.4. Hidrojen Evolution Testi.....	48
3.9. BİYOUYUMLULUK HÜCRE KÜLTÜRÜ TESTLERİ	48
3.9.1. MTT Sitotoksosite Testi	49
3.9.2. In-vitro Mikronükleus Genotoksosite Testi.....	49

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. ALAŞIM KARAKTERİZASYONU İLE İLGİLİ YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	51
4.1.2. Ekstrüzyon İşlemi Sonrası Yapılan Mikro Yapı Görüntüleme İşlem Sonuçları ve Değerlendirilmesi	53
4.1.3. Bir Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Mikro Yapı Görüntüleme İşlem Sonuçları ve Değerlendirilmesi	54
4.1.4. İki Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Mikro Yapı Görüntüleme İşlem Sonuçları ve Değerlendirilmesi	56
4.1.5. Ekstrüzyon İşlemi Sonrası Yapılan SEM, EDX ve MAP Görüntüleme İşlem Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	59
4.1.6. Bir Dövme İşlemi Sonrası Yapılan SEM, EDX ve MAP Görüntüleme İşlem Sonuçları ve Değerlendirilmesi	62
4.1.7. İki Dövme İşlemi Sonrası Yapılan SEM, EDX ve MAP Görüntüleme İşlem Sonuçları ve Değerlendirilmesi	64
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARAKTERİZASYONU İLE İLGİLİ YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	69
4.2.1. Sertlik Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	70
4.2.2. Çekme Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	71
4.2.3. Aşınma Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	72

4.3. KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU İLE İLGİLİ YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	90
4.3.1. Ekstrüzyon İşlemi Sonrası Yapılan Daldırma Korozyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	90
4.3.2. Bir Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Daldırma Korozyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	94
4.3.3. İki Kere Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Daldırma Korozyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	96
4.4. POTANSİYODİNAMİK POLARİZASYON (PD) TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	102
4.4.1. Ekstrüzyon İşlemi Sonrası Yapılan Potansiyodinamik Polarizasyon (Pd) Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	102
4.4.2. Bir Kere Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Potansiyodinamik Polarizasyon (Pd) Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	103
4.4.3. İki Kere Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Potansiyodinamik Polarizasyon (Pd) Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	105
4.5. HİDROJEN EVOLÜTİON TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	107
4.5.1. Ekstrüzyon İşlemi Sonrası Yapılan Hidrojen Evolution Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	108
4.5.2. İki Dövme İşlemi Sonrası Yapılan Hidrojen Evolution Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	112
4.6. EMPEDANS TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	113
4.7. BİYUYUMLULUK HÜCRE KÜLTÜRÜ TESTLERİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	115
4.7.1. Genotoksisite Testi.....	115
4.7.2. Sitotoksisite Testi.....	116
BÖLÜM 5	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	117
5.1. GENEL SONUÇLAR.....	117
5.2. ÖNERİLER.....	121
KAYNAKLAR	122

SİMGELER VE KISALTMALAR

$Cr_{eş}$: krom eşdeğerliliği

$Ni_{eş}$: nikel eşdeğerliliği

Ag : gümüş

Al : alüminyum

Ar : argon

Au : altın

Cu : bakır

H_2 : hidrojen

He : helyum

Mo : molibden

Ni : nikel

$erf(z)$: hata işlevi

γ : birim hacim ağırlığı

$\Gamma(x)$: gama işlevi

θ : kutupsal açı

σ : normal gerilme

σ_c : tek eksenli basınç dayanımı

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standardı

KAYNAKLAR

- Alemdağ, Y., Karabıyık, S. and Pürçek G., “Effect of multi-directional hot forging on mechanical and tribological properties of Al-7Si-4Zn-3Cu alloy”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi university*, 36 (1): 255 – 256 (2021).
- Andreas, F., Christian, L., Andreas, F. and Johann, W., “The new BMW inline six-cylinder composite Mg/Al crankcase”, *BMW AG: IMA*, Germany, (2005).
- Aoba, T., Kobayashi, M. and Miura, H., “Microstructural Evolution and Enhanced Mechanical Properties by Multi-Directional Forging and Aging of 6000 Series Aluminum Alloy”, *Materials Transactions*, 59 (3): 373-379 (2018).
- Avedesian, M. M. and Baker, H., “ASM Specialty Handbook: Magnesium and Magnesium Alloys”, *ASM International*, 336 SAYFA-EKSİK (1999).
- Aydın, H., Şendeniz, M., Demirci, A. H., “Ekstrüzyon Öncesi ve Sonrası Uygulanan Isıl İşlemlerin AA 6063 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14 (2), 1-10, (2009).
- Azushima, A., Kopp, R., Korhonen, A., Yang, D. Y., Micari, F., Lahoti, G. D., Groche, P., Yanagimoto, J., Tsuji, N., Rosochowski, A. and Yanagida, A., “Severe Plastic Deformation (SPD) Processes for Metals”, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 57: 716-735 (2008).
- Baik, S. C., Hellmig, R. J., Estrin, Y. and Kim, H. S., “Modelling of Deformation Behavior of Copper under Equal Channel Angular Pressing”, *Zeitschrift fuer. Metallkunde*, 94 (6): 754-760 (2003).
- Ball, E. A. and Prangnell, P.B., “Tensile-compressive yield asymmetries in high strength wrought magnesium alloys”, *Scr. Metall. Mater.* 31: 111–116 (1994).
- Barber, L.P., “Characterization of the solidification behavior and resultant microstructures of magnesium-aluminum alloys”, A Thesis of Master, *Worcester Polytechnic Institute*, Worcester, 10 – 46 (2004).
- Barnett, M. R., Keshavarz, Z., Beer, A. G. and Atwell, D., “Influence of grain size on the compressive deformation of wrought Mg–3Al–1Zn”, *Acta Mater.* 52: 5093 (2004).
- Bhadeshia, H.K.D.H., “Solid Solutions: The Hume-Rothery Rules”, <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2004/titanium/hume.rothery.html> (2023)
- Bingöl, S., “Kalıp girişinin ekstrüzyon edilebilirlik üzerindeki etkisi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7 (1): 159 – 167 (2016). Biribilis, N., Cavanaugh, M. K., Sudholz, A. D., Zhu, S. M., Easton, M. A. and Gibson, M. A. “Performance-driven design of Biocompatible Mg alloys”, *Corros. Sci.* 53: 168–176 (2010).
- Biswas, S. and Suwas, S., “Evolution of sub-micron grain size and weak texture in magnesium alloy Mg–3Al–0.4Mn by a modified multi-axial forging process”, *Scripta Materialia*, 66 (2): 89-92 (2012).
- Blawert, C., Hort, N. and Kainer, K. U., “Automotive applications of magnesium and its alloys”, *Trans. Indian. Inst. Met.*, 57: 397–408 (2004).
- Bohlen, J., Yi, S., Letzig, D. and Kainer, K. U., “Effect of Rare Earth Elements on the Microstructure and Texture Development in Magnesium–Manganese Alloys During Extrusion”, *Materials Science and Engineering A*, 527: 7092– 7098 (2010).
- Bourget, J. P., Fafard, M., Shakeri, H. R. and Côté, T. “Optimization of heat treatment in cold-drawn 6063 aluminium tubes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (11): 5035-5041 (2009).
- Büyükgünç, Ö., “AM60 and AZ61 Magnezyum Alaşımlarının Soğuma Hızına Bağlı Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2011).

- Büyükgenç, Ö., "EZ43 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik ve Biyouyumluluk Davranışlarına Neodimyum ve Seryum Alaşım Elementleri İle Çok Yönlü Dövme İşleminin Etkilerinin İncelenmesi", *Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü*, Karabük. (2024)
- Büyükgenç, Ö., Ahlatcı, H., Türen, Y., & Esen, İ., "The effect of Ce and Nd addition on dry/corrosive wear behavior of newly developed EZ43 grade Mg alloys", *Materials Science*. **31** (2) (2025a)
- Büyükgenç, Ö., Çiçek, B., Ahlatcı, H., "Corrosion Performance of Novel EZ43 Mg Alloys Enriched with Ce and Nd", *Materials Performance Characterization*, 14(1) (2025b)
- Cao, Y., Ni, S., Liao, X., Song, M. and Zhu, Y., "Structural evolutions of metallic materials processed by severe plastic deformation", *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 133: 1-59 (2018).
- Cherukuri, B., Nedkova, T. S. and Srinivasan, R., "A comparison of the properties of SPD-processed AA – 6061 by equal-channel angular pressing, multi-axial compressions/forgings and accumulative roll bonding", *Materials Science and Engineering: A*, 93: 410-411, 394 – 397, (2005).
- Chia, T. L., Easton, M. A., Zhu, S. M. and Gibson, M. A., Birbilis, N., Nie, J. F., "The effect of alloy composition on the microstructure and tensile properties of binary Mg-rare earth alloys", *Intermetallics*, 17: 481-490 (2009).
- Ding Y, Wen C, Hodgson P, Li Y. "Effects of alloying elements on the corrosion behavior and biocompatibility of biodegradable magnesium alloys: a review", *J Mater Chem B*, 2: 1912-1933 (2014).
- Dobrzanski, L.A., Tanski, T., Cizek, L., Brytan, Z., "Structure and properties of magnesium cast alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 192/193: 567-574 (2007).
- Dong, K., Y. Song, D. Shan, and E. H. Han, "Formation mechanism of a self-sealing pore micro-arc oxidation film on AM60 magnesium alloy", *Surf Coat Technol*, 266: 188-196, (2015).
- Elen, L., "Mg-Ag Alaşımlarının Mekanik ve Biyo çözünebilirlik Özelliklerine İlave Elementlerin Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2021).
- Eliezer, D., Aghion, E. and Froes, F. H., "Magnesium science, technology and applications", *Advanced Performance Materials*, 5: 201-212 (1998).
- Elmar Willbold, E., Gu, X., Devon, A., Kalla, K., Bobe, K., Brauneis, M., Janning, C., Nellesen, J., Czayka, W., Tillmann, W., Zheng, Y. and Witte, F. "Effect of the addition of low rare earth elements (lanthanum, neodymium, cerium) on the biodegradation and biocompatibility of magnesium", *Acta Biomaterialia*, 11: 554-562 (2015).
- Fei, Z. D., Gang Q. F., Wei L., Liang S. G. and Bing Z. X., "Effects of Ce Addition on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-6Zn-1Mn Alloy", *Trans. Nonferrous Met. Soc.* 21 (4): 703-710 (2011).
- Friedrich, H. E. and Mordike, B. L., "Magnesium technology metallurgy", Design Data, Applications, *Springer*, Berlin, 80-124 (2006).
- Friedrich, H. and Schumann, S., "Research for a new age of magnesium in the automotive industry", *Journal of Materials Processing Technology*, 117: 276-281 (2001).
- Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsky, F. and Wu, S., "Potential automotive uses of wrought magnesium alloys", *Automotive Technology Development*, Detroit, Michigan, 1-7 (1996).
- Gao, L., Chen, R. S. and Han, E. H., "Effects of rare-earth elements Gd and Y on the solid solution strengthening of mg alloys", *J. Alloy. Compd.*, 481: 379-384 (2009a).
- Golmakanioon, S. and Mahmudi, R., "Comparison of the Effects of La – and Ce-Rich Rare Earth Additions on the Microstructure, Creep Resistance, and High – Temperature Mechanical Properties of Mg-6Zn-3Cu Cast Alloy", *Materials Science and Engineering A*, 528: 5228-5233 (2011).

- Hirsch, J. and Al-Samman, T. "Superior light metals by texture engineering: Optimized aluminum and magnesium alloys for automotive applications", *Acta Mater.*, 61: 818-843 (2013).
- Hort, N., Huang, Y., Fechner, D., Störmer, M., Blawert, C., Witte, F., Vogt, C., Drücker, H., Willumeit, R. and Kainer, K. U., "Magnesium alloys as implant materials – Principles of property design for Mg-RE alloys", *Acta Biomater.*, 6: 1714-1725 (2010).
- Hort, N., Huang, Y., Fechner, D., Störmer, M., Blawert, C., Witte, F., Vogt, C., Drücker, H., Willumeit, R. and Kainer, K. U., "Magnesium alloys as implant materials Principles of property design for Mg-RE alloys", *Acta Biomater.*, 6: 1714-1725 (2010).
- Huang, Y., Gan, W., Kainer, K. U. and Hort, N., "Role of multi-microalloying by rare earth elements in ductilization of magnesium alloys", *J. Magnes. Alloys*, 2: 1-7 (2014).
- Huppmann, M., Müller, S. and Reimers, W., "Changes of the Texture and the Mechanical Properties of the Extruded Mg Alloy ME21 as a Function of the Process Parameters", *Materials Science and Engineering A*, 528: 342-354 (2010).
- İslam, M. M., Mostafa, A. O. and Medraj, M., "Essential Magnesium Alloys Binary Phase Diagrams and Their Thermochemical Data. Journal of Materials", *Article ID 704283*, 33: (2014).
- Jun, J. H., Kim, J. M., Park, B. K., Kim, K. T. and Jung, W. J." Effects of rare earth elements on microstructure and high temperature mechanical properties of ZC63 alloy", *J. Mater. Sci.*, 40: 2659-2661 (2005).
- Kahriman, Ö. F. and Akata, H. E., "Eşit Kanallı Açısız Presleme (Ekap) Kalıplarının Geliştirilmesi ve Alüminyum Malzeme Uygulanması", *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi* 36: 51-59 (2017).
- Kainer, K. U. and Von Buch, F., "The current state of technology and potential for further development of magnesium applications.", *Magnesium-alloys and technology*, 1-22 (2003).
- Kainer, K. U., "Magnesium – Alloys and Technologies", *John Wiley & Sons.*, Weinheim, 1-13 (2003).
- Kai-Yang, Z., Xiao-Dong, P. and Wei-Dong, X., "Effects of Ce on Microstructure of Semi Continuously Cast Mg-1.5Zn-0.2Zr Magnesium Alloy Ingots", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20 (2): 324-330 (2010).
- Kammer, C. and Aluminium-Zentrale, D., "Magnesium taschenbuch", *Aluminium – Verlag*. Düsseldorf, Germany (2000).
- Kara, İ. H., "Nadir Toprak Elementi İlaveli Sıcak Haddelenmiş Az31 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Korozyon ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2019).
- Karabıyık, S., "Çok Yönlü Dövme İşleminin Çinko ve Bakır İçeren Al-7Si Esaslı Alaşımların Yapı, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2019).
- Karaer, H., "Biyomalzeme Olarak Magnezyum Alaşımlarının Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, (2019).
- Kazdal, H. K., "Magnezyum Alaşımları : Otomotiv Endüstrisinde Uygulanması ve Geleceği", *Tubitak Marmara Araştırma Merkezi*, Kocaeli, 3-39 (1999).
- Kiani, M., Gandikota, I., Rais-Rohani, M. and Motoyama, K., "Design of lightweight magnesium car body structure under crash and vibration constraints", *Journal of Magnesium and Alloys*, 2 (2): 99-108 (2014).
- Kim, H. S., Seo, M. H. and Hong, S. I., "Plastic Deformation Analysis of Metals during Equal Channel Angular Pressing", *Journal of Materials Processing Technology*, 113: 622-626, (2001).
- Kim, I., Kim, J., Shin, D. H., Lee, C. S. and Hwang, S. K., "Effect of Equal Channel Angular Pressing Temperature on Deformation Structure of Pure Ti", *Materials Science and Engineering A*, 342: 302-310 (2003).
- Kim, W. J., An, C. W., Kim, Y. S. and Hong, S. I., "Mechanical Properties and Microstructures of an AZ61 Mg Alloy Produced by Equal Channel Angular Pressing", *Scripta Materialia*, 47: 39-44 (2002).

- Koç, E., "Biyočözünür Magnezyum Alaşımlarının Korozyona Bağlı Mekanik Davranışlarının Araştırılması" Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2013).
- Kokubo T., Takadama H., "How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity?", *Biomaterials*, 27: 2907–2915 (2006).
- Kul, O., "Aşırı Plastik Deformasyonun Saf Titanyum ve Al-12si Alaşımının Yapısal, Mekanik ve Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2009).
- Lee, S.-M. and Langdon, T.G., "High Strain Rate Superplasticity in a Zn-22%Al Alloy after Equal-Channel Angular Pressing", *Materials Science Forum*, 357 (3): 321-326 (2001).
- Leil, T. A., "Development of New Magnesium Alloys for High Temperature Applications", Doktora Tezi, *Clausthal University of Technology*, Bethlehem, (2009).
- Li, C. K.-Y., Xia, Z. Y. and Sue, H. J., "Simple Shear Plastic Deformation Behavior of Polycarbonate Plate II. Mechanical Property Characterization", *Polymer*, 41: 6285-6293 (2000).
- Li, Y. and Langdon, T. G., "Equal-Channel Angular Pressing of an Al-6061 Metal Matrix Composite", *Journal of Materials Science*, 35: 1201-1204 (2000).
- Liu, W., Cao, F., Chang, L. and Zhang Z., "Effect of Rare Earth Element Ce and La on Corrosion Behavior of AM60 Magnesium Alloy", *Corrosion Science*, 51: 1334–1343 (2009).
- Liu, W. C., Chen, M. B. and Yuan, H., "Evolution of microstructures in severely deformed AA 3104 aluminum alloy by multiple constrained compression", *Materials Science and Engineering: A*, 528 (16-17): 5405-5410 (2011).
- Lowe, T. C. and Zhu, T. Z., "Commercialization of Nanostructured Metals Produced by Severe Plastic Deformation", *Advanced Engineering Materials*, 5: 373-378, (2003).
- Luo, A. A., "Wrought Magnesium Alloys and Manufacturing Processes for Automotive Applications" *SAE Trans.-J. Mater. Manuf.*, 114: 411–421 (2005).
- Luo, A., Wu, W., Mishra, R., Jin, L., Sachdev, A. and Ding, W., "Microstructure and mechanical properties of extruded magnesium-aluminum-cerium alloy tubes", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 41 (10): 2662-2674 (2010).
- Luo, A. A., "Materials comparison and potential applications of magnesium in automobiles", *Magnesium Technology 2000*, Nashville, 89-99 (2000).
- Mabuchi, M., Chino, Y. and Iwasaki, H., "Tensile properties at room temperature to 823 K of Mg-4Y-3RE alloy", *Mater. Trans.*, 43: 2063–2068 (2002).
- Mercer, W. E. and Hill J. E., "Magnesium Die Cast Alloys for Elevated Temperature Applications", *SAE Technical Paper*, 920073, (1992).
- Meyers, M. A., Mishra, A. and Benson, D. J., "Mechanical Properties of Nanocrystalline Materials", *Progress in Materials Science*, 51: 427-556 (2006).
- Mingbo, Y., Tingzhang, G., Caiyuan, Q. and Fusheng, P., "Microstructure, Tensile and Creep Properties of As-Cast Mg-3.8Zn-2.2Ca-Xce (X=0, 0.5, 1 and 2 Wt.%) Magnesium Alloys", *Journal of Rare Earths*, 30 (2), 181 (2012).
- Ming-bo, Y., Yan-long, M. and Fu-sheng, P., "Effects of Little Ce Addition on As-Cast Microstructure and Creep Properties of Mg-3Sn-2Ca Magnesium Alloy." *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 19: 1087-1092 (2009).
- Mishin, O. V., Jensen, D. J. and Hansen, N., "Microstructures and Boundary Populations in Materials Produced by Equal Channel Angular Extrusion", *Materials Science and Engineering A*, 342, 320-328 (2003).
- Mishra, R. K., Gupta, A. K., Rao, P. R., Sachdev, A. K., Kumar, A. M. and Luo, A. A., "Influence of cerium on the texture and ductility of magnesium extrusions", *Scripta Mater.*, 59: 562–565 (2008).
- Miura, H., Yu, G. and Yang, X., "Multi-directional forging of AZ61Mg alloy under decreasing temperature conditions and improvement of its mechanical properties" *Mater. Sci. Eng. A*, 528: 6981 – 6992 (2011).

- Miura, H., Maruoka, T., Yang, X. and Jonas, J. J., “Microstructure and mechanical properties of multi-directionally forged Mg–Al–Zn alloy” *Elsevier science sciencedirect*, 49-51 (2012).
- Monteiro, W. A., Buso, S. J. and Da Silva, L. V., “Application of magnesium alloys in transport”, *InTech*, 6-9 (2012).
- Mordike, B. L. and Ebert, T., “Magnesium properties-applications-potential”, *Materials Science&Engineering A*, 302: 37-45 (2001).
- Munoz-Morris, M. A., Oca, C. G., Gonzalez-Doncel, G. and Morris, D.G., “Microstructural Evolution of Dilute Al-Mg Alloys During Processing by Equal Channel Angular Pressing and during Subsequent Annealing”, *Materials Science and Engineering A*, 375-377, 853-856 (2004).
- “MÜGE Projesi – Magnezyum Döküm Teknolojisi”, Milli Savunma Bak., <https://www.millisavunma.com/muge-projesi-magnezyum-dokum-teknolojisi>, (2024).
- Naser, T. S. B., Bobor, K. and Krállics, G., “Tensile behavior of multiple forged 6082 Al alloy”, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 58 (2): 113-117. (2014).
- Nayeb-Hashemi, A. A., “Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys”, *ASM International: Metals Park*, OH, USA, (1998).
- Neishi, K., Horita, Z. and Langdon, T. G., “Grain Refinement of Pure Nickel Using Equal-Channel Angular Pressing”, *Materials Science and Engineering A*, 325: 54-58. (2002).
- Neishi, K., Uchida, T., Yamauchi, A., Nakamura, K., Horita, Z. and Langdon, T. G., “Low-Temperature Superplasticity in a Cu-Zn-Sn Alloy Processed by Severe Plastic Deformation”, *Materials Science and Engineering A*, 307: 23-28. (2001).
- Polmear I., Honeycombe, J. and Hancock, R.V.K., “Magnesium alloys, Light alloys”, *Metallurgy and Materials Science Series*, New York, 169-210 (1989).
- Purcek, G., Atlán, B. S., Miskioglu, I. and Ooi, P. H., “Processing of Eutectic Zn-5%Al Alloy by Equal-Channel Angular Pressing”, *Journal of Materials Processing Technology*, 148: 279-287 (2004).
- Robertson, J., Im, J. T., Karaman, I., Hartwig, K. T. and Anderson, I. E., “Consolidation of Amorphous Copper Based Powder by Equal Channel Angular Extrusion”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 317: 144-151 (2003).
- Rogal L., Kania A., Berent K., Janus K. and Litynnska-Dobrzyn L., “Microstructure and mechanical properties of Mg–Zn–RE–Zr alloy after thixoforming”, *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1):1121–1131 (2019).
- Rokhlin, L. L., “Magnesium Alloys Containing Rare Earth Metals: Structure and Properties”, *CRC Press*, 260: (2003).
- Rokhlin, L. L., “Magnesium Alloys Containing Rare Earth Metals: Structure and Properties”, <https://books.google.com.tr/books>, (2024).
- Rokhlin, L. L., “Structure and properties of alloys of the Mg-RE system”, *Met. Sci. Heat Treat.*, 48: 487–490 (2006).
- Rokhlin, L., Dobatkina, T., Nikitina, N., and Tarytina, I., “Calcium-alloyed magnesium alloys”, *Metal Science and Heat Treatment*, 51 (3): 164-169 (2009).
- Rosochowski, A., “Processing Metals by Severe Plastic Deformation”, *Solid State Phenomena*, 101-102, 13-22 (2005).
- Sabirov, I., Murashkin, M. Y. and Valiev, R. Z., “Nanostructured aluminium alloys produced by severe plastic deformation: New horizons in development”, *Materials Science and Engineering: A*, 560: 1-24 (2013).
- Sanling, F., Quanan, L., Xiaotian, J., Qing, Z., Zhi, C. and Wenjian, L., “Review on research and development of heat-resistant Magnesium alloy”, *Proceedings of 2012 International Conference on Mechanical Engineering and Material Science*, Shanghai-China, (2012).
- Sanusi, K. O., Makinde, O. D. and Oliver, G. J., “Equal channel angular pressing technique for the formation of ultra-fine grained structures”, *South African Journal of Science*, 108 (9/10): SAYFA (2012).

- Sarıkaya, S., Kural, S., "Ekstrüzyon Tipi Dövme Prosesinde Konik Kalıp Açısının Deformasyona Etkisi", M.C.B.Ü. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 1 (30), (2020).
- Sastry, S.M.L. and Mahapatra, R.N., "Grain Refinement of Intermetallics by Severe Plastic Deformation", *Materials Science and Engineering A*, 329-331, 872-877 (2001)
- Seitz, J. M., Eifler, R., Stahl, J., Kietzmann, M. and Bach, W., "Characterization of MgNd₂ alloy for potential applications in bioresorbable implantable devices", *Acta Biomaterialia*, 8 (10): 3852-3864 (2012).
- Sergueeva, A. V., Stolyarov, V. V., Valiev, R. Z. and Mukherjee, A. K., "Advanced Mechanical Properties of Pure Titanium with Ultrafine Grained Structure", *Scripta Materialia*, 45: 747-752 (2001).
- Sharath, P. C., Udupa, K. R. and Kumar, G. V. P., "Effect of Multi Directional Forging on the Microstructure and Mechanical Properties of Zn-24 wt% Al-2 wt% Cu Alloy", *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70 (1): 89-96 (2016).
- Shin, D. H., Park, J. J., Chang, S. Y., Lee, Y. K. and Park, K.T., "Ultrafine Grained Low Carbon Steels Fabricated by Equal Channel Angular Pressing: Microstructures and Tensile Properties", *ISIJ International*, 42: 1490-1496 (2002).
- Shin, D. H., Park, K. T. and Kim, Y. S., "Formation of Fine Cementite Precipitates in an Ultra-Fine Grained Low Carbon Steel", *Scripta Materialia*, 48: 469-473 (2003).
- Shun, C.W., Marco, J. S., Nong G. C. X., Langdon, T. G., "Grain structure and texture development during ECAP of two heat-treatable Al based alloys", *Materials Science*, 10: 249 – 255 (2005).
- Sirong, Y., Xianjun C., Zhiqiu H. and Yaohui L., "Microstructure and mechanical properties of friction stir welding of AZ31B magnesium alloy added with cerium", *Journal of Rare Earths*, 28 (2): 316 (2010).
- Stanford, N., Atwell, D. and Barnett, M. R., "The effect of Gd on the recrystallisation, texture and deformation behaviour of magnesium-based alloys", *Acta Mater.*, 58: 6773–6783 (2010).
- Stanford, N., Atwell, D., Beer, A., Davies, C. and Barnett, M. R., "Effect of microalloying with rare-earth elements on the texture of extruded magnesium-based alloys", *Scripta Mater.*, 59: 772–775 (2008a).
- Subaşı, Y., "Farklı Alaşım Elementi İlaveli We43 Magnezyum Alaşımlarının Döküm ve Ekstrüzyon Sonrası Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2020).
- Suresh, M., Sharma, A., More, A. M., Kalsar, R., Bisht, A., Nayan, N. and Suwas, S., "Effect of equal channel angular pressing (ECAP) on the evolution of texture, microstructure and mechanical properties in the Al-Cu – Li alloy AA2195", *Journal of Alloys and Compounds*, 785: 972-983, (2019).
- Şahiner, M., Akgök, Y. Z., Arslan, M. and Ergin, M. H., "Dünyada and Türkiye'de Nadir Toprak Elementleri", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <https://www.mta.gov.tr>, (2017) .
- Tekumalla, S., Seetharaman, S., Almajid, A. and Gupta, M., "Mechanical Properties of Magnesium-Rare Earth Alloy Systems: A Review", *Metals*, 5: 1-39 (2014).
- Tong L. B., Zhang Q.X., Jiang Z.H., Zhang J.B., Meng J., Cheng L.R. and Zhang H.J., "Microstructures, mechanical properties and corrosion resistances of extruded Mg–Zn–Ca–xCe/La alloys", *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials.*, 62: 57-70 (2016).
- Tsai, T. L., Sun, P. L., Kao, P. W. and Chang, C. P., "Microstructure and Tensile Properties of a Commercial 5052 Aluminum Alloy Processed by Equal Channel Angular Extrusion", *Materials Science and Engineering A*, 342: 144-151 (2003).
- Türe, Y., "Seryumlu Magnezyum Alaşımları Geliştirme ve Bunların Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2016).
- Valiev, R. Z. and Langdon, T. G., "Principles of Equal-Channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement", *Progress in Materials Science*, 51: 881 – 981 (2006).

- Valiev, R. Z., "Ultrafine-Grained Materials Prepared by Severe Plastic Deformation", *Scripta Materialia*, 21: 369-554 (1996).
- Valiev, R.Z., Islamgaliev, R.K. and Alexandrov, I.V., "Bulk Nanostructured Materials from Severe Plastic Deformation", *Progress in Materials Science*, 45:103-189 (2000).
- Valiev, R. Z., Krasilnikov, N. A. and Tsenev, N. K., Plastic Deformation of Alloys with Submicron-Grained Structure, *Materials Science and Engineering A*, 137: 35-40 (1991).
- Venkateswarlu, K., Rameshbabu, N., Sreekanth, D., Bose, A. C., Muthupandi V. and Subramanian, S., "Fabrication and characterization of micro-arc oxidized fluoride containing titania films on Cp Ti", *Ceram Int*, 39 (1), 801–812 (2013).
- Wei, J., Jiang, S., Chen, Z. and Liu, C., "Increasing strength and ductility of a Mg–9Al alloy by dynamic precipitation assisted grain refinement during multi – directional forging", *Materials Science and Engineering A*, 780: 139192 (2020).
- Xing, J., Soda, H., Yang, X., Miura, H., Sakai, T., "Ultra-Fine Grain Development in an AZ31 Magnesium Alloy during Multi-Directional Forging under Decreasing Temperature Conditions", *Mater. Trans.*, 46: 1646 (2005).
- Yan, J., Sun, Y., Xue, F., Xue, S. and Tao, W., "Microstructure and mechanical properties in cast magnesium–neodymium binary alloys", *Mater. Sci. Eng. A*, 476: 366–371 (2008).
- Yang, M., Pan, F., Cheng, L. and Shen, J., "Effects of Cerium on as-cast Microstructure and Mechanical Properties of Mg–3Sn–2Ca Magnesium Alloy", *Materials Science and Engineering A*, 512: 132–138 (2009).
- Yang, M., Pan, F., Liang, X., Shen, J. and Qin, C., "Effects of Minor Zr and Sr on as-cast Microstructure and Mechanical Properties of Mg–3Ce–1.2Mn–1Zn (wt%) Magnesium Alloy", *J Mater Sci.*, 46: 3216–3224 (2011).
- Yuan, W., Li, B., Chen, D., Zhu, D., Han, Y. and Zheng, Y., "Formation Mechanism, Corrosion Behavior, and Cytocompatibility of Microarc Oxidation Coating on Absorbable High-Purity Zinc", *ACS Biomater Sci Eng*, 5 (2), 487–497 (2019).
- Zhang, B., Nagasekhar, A. V., Tao, X., Ouyang, Y., Cáceres, C. H. and Easton, M., "Strengthening by the percolating intergranular otektik in an hpdc Mg–Ce alloy", *Mater. Sci. Eng. A*, 599: 204–211 (2014).
- Zhang, C. et al., "Effect of Zn concentration on microstructure and corrosion resistance of Mg–Zn alloys microalloyed with Ca and Ce", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 68 (2): 130–136 (2021).
- Zhang, E. and Yang, L., "Microstructure, mechanical properties and bio-corrosion properties of Mg–Zn–Mn–Ca alloy for biomedical application", *Materials Science and Engineering: A*, 497 (1-2):111–118 (2008a).
- Zhang, Q., Li, Q. A., Zhang, X. Y. and Zhou, W., "Research Progress of Heat Resistant Mg–Gd System Magnesium Alloy", *Foundry*, 60 (11), 1080-1083 (2011).
- Zhang, W., "Corrosion behaviour of AJ62x and AZ91D magnesium alloys in chlorine media", *M. Sc. Thesis, Laval University*, Quebec, Canada, (2005).
- Zhang, X., Wang, Z., Yuan, G., Xue, Y., "Improvement of mechanical properties and corrosion resistance of biodegradable Mg–Nd–Zn–Zr alloys by double extrusion", *Mater Sci Eng B*, 177 (13): 1113–1119 (2012).
- Zhang, Z. and Couture, A., "An investigation of the properties of Mg–Zn–Al alloys", *Scripta Materialia*, 39/ 1: 45-53 (1998).
- Zhang, Z., "Development of magnesium-based alloys for elevated temperature applications", Doctor of These, *Faculte Des Sciences Et De Genie Universite*, Quebec-Canada, 2-75 (2000).
- Zhilyaev, A. P., Nurislamova, G. V., Baro, M. D., Valiev, R. Z. and Langdon, T. G., "Thermal Stability and Microstructural Evolution in Ultrafine-Grained Nickel after Equal-Channel Angular Pressing (ECAP)", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 33: 1865-1868 (2002).

- Zhu, Q. F., Li, L., Ban, C. Y., Zhao, Z. H., Zuo, Y. B. and Cui, J. Z., "Structure uniformity and limits of grain refinement of high purity aluminum during multi-directional forging process at room temperature", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24 (5) 1301-1306 (2014).
- Zhu, Q. F., Wang, J., Li, L., Ban, C. Y., Zhao, Z. H. and Cui, J. Z., "Effect of Forging Temperature on Deformability and Structure Evolution of High Purity Aluminium during Multi-Directional Forging Process", *Materials Science Forum*, 877: 371-379, (2017).