



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAKİ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
GÜMÜŞ-BAKIR ALAŞIMINA NANOPARTİKÜL
İLAVESİNİN OLUŞTURDUĞU MEKANİK
DAVRANIŞLARIN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sabahattin AKGÜL

Danışman
Prof.Dr. Hamit ADİN

Mayıs-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sabahattin AKGÜL tarafından hazırlanan “**Takı Endüstrisinde Kullanılan Gümüş-Bakır Alaşımına Nanopartikül İlavesinin Oluşturduğu Mekanik Davranışların Deneysel Olarak İncelenmesi**” adlı tez çalışması 26/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ

.....

Danışman

Prof.Dr. Hamit ADİN

.....

Üye

Doç.Dr Şerif ÇİTİL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Sabahattin AKGÜL

Tarih: 26/05/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAKI ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN GÜMÜŞ-BAKIR ALAŞIMINA NANOPARTİKÜL İLAVESİNİN OLUŞTURDUĞU MEKANİK DAVRANIŞLARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Sabahattin AKGÜL

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Prof.Dr. Hamit ADİN

2022, 82 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Hamit ADİN

Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ

Doç.Dr Şerif ÇİTİL

Günümüzde teknolojiye yaşanan büyük gelişmelerle beraber üretim yöntemlerinde de dönüşüm ve yenilikler yaşanmaktadır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda bilginin büyük bir hızla yayılarak geniş kitlelere ulaşması, teknolojinin yakaladığı güçlü ivme ve gelişim ile beraber zorlu rekabet koşulları yaratan bir piyasa ortamı yaratmaktadır. Bu durum teknolojik gelişmelere ayak uydurma zorunluluğunu getirmektedir. 20. yüzyılın sonlarındaki en büyük bilimsel ve teknik gelişmelerden biri, nanomalzemelerin ve nanoteknolojinin keşfedilmiş olmasıdır. Bu alandaki çalışmalar 21. yüzyılın ilk yıllarında yaygınlaşmış ve gelişme göstermiştir. Nanoteknolojinin bu kadar hızlı gelişim göstermesi, hem kamuda hem de özel sektörde ciddi anlamda bir araştırma ve geliştirme çabasına yol açmıştır. Nanoteknoloji ile üretilmiş malzemelerin fiziksel davranışlarında diğer normal sistemlerle üretilen malzemelerin davranışlarıyla kıyaslandığında farklı özellikler göstermektedir. Nanoteknoloji ile yeni özelliklerde yapılar üretme fırsatı doğmaktadır. Bu tez çalışmasında gümüş takı üretimi için gerekli gümüş-bakır alaşımına gümüş nanotoz ilave edilmesi halinde alaşımda meydana gelebilecek mekanik davranışlar incelenmiştir. Öncelikle gümüş nanotoz ilave edilmemiş gümüş-bakır alaşımı hazırlanmıştır. Hazırlanan alaşımdan çekme, eğme ve sertlik deneyleri için standartlara uygun numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mekanik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada gümüş-bakır alaşımına belli oranlarda (%0.5, %1, %1.5, %2) 99,99 ayarında 20 nm ölçeğinde gümüş nanotoz ilave edilmiştir. Hazırlanan alaşımlardan standartlara uygun deney numuneleri hazırlanarak mekanik testleri gerçekleştirilmiştir. Nanotoz ilaveli ve ilavesiz deney numunelerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre gümüş-bakır alaşımına ilave edilen nanotoz oranlarına göre farklı maksimum çekme dayanımları, uzama miktarları, sertlik değerleri ve eğilme kuvvetleri gözlemlenmiştir. Nümerik analiz için Sonlu Elemanlar Metodu uygulanmıştır. ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak statik analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerde çekme deneyinde elde edilen maksimum çekme dayanımlarına yakın gerilim değerleri bulunmuştur. Yapılan tüm testlerin sonucuna göre gümüş-bakır alaşımına düşük oranlarda (%0,1, %0,5 vb.) nanotoz ilave edilmesi daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Büyük oranlarda nanotoz ilave edilmesi (%1 ve daha fazlası) sünek yapıdaki alaşımı gevrek malzeme haline getirerek kırılgan bir yapıya dönüştürmektedir. Bu durum bazı gümüş takı üretim tekniklerinde uygulamayı zorlaştırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çekme dayanımı, Eğilme dayanımı, Gümüş takı, Nanopartikül, Nanoteknoloji, Sertlik, Sonlu elemanlar metodu, Statik analiz.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIORS CREATED BY THE ADDITION OF NANOPARTICLES TO SILVER-COPPER ALLOY USED IN THE JEWELRY INDUSTRY

Sabahattin AKGÜL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof.Dr. Hamit ADİN

2022, 82 Pages

Jury

Prof.Dr. Hamit ADİN

Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ

Assoc.Prof.Dr. Şerif ÇİTİL

Today, with significant technological developments, there are also transformations and innovations in production methods. In the century we live in, the rapid spread of information and its reach to large masses, together with the strong acceleration and development of technology, creates a market environment that makes challenging competitive conditions. This situation brings the necessity of keeping up with technological developments. One of the greatest scientific and technical developments of the late 20th century was the discovery of nanomaterials and nanotechnology. Studies in this area became widespread and developed in the first years of the 21st century. The fast development of nanotechnology has led to a severe research and development effort in the public and private companies. The physical behavior of materials produced with nanotechnology shows different characteristics when compared to the conduct of materials made with other standard systems. With nanotechnology, the opportunity to create structures with new properties arises. This thesis study investigates the mechanical behavior that may occur in the silver-copper alloy, which is required to produce silver jewelry when silver nanopowder is added to the alloy. First, a silver-copper alloy without silver nanopowder was prepared. Mechanical tests of the prepared samples were carried out. Samples by the standards were prepared for the prepared alloy's tensile, bending, and hardness tests. 99.99 purity, 20 nm scale silver nanopowder was added to the silver-copper alloy in certain proportions (0.5%, 1%, 1.5%, 2%). Mechanical tests were carried out by preparing test samples from the prepared alloys by the standards. The results of the test samples with and without nanopowder addition were compared. According to the results obtained, different maximum tensile strengths, elongation amounts, hardness values, and bending forces were observed according to the nanopowder ratios added to the silver-copper alloy. Numerical analysis was performed using the finite element method. Static analysis was performed using ANSYS Workbench software. In the obtained data, tensile values close to the maximum tensile strengths obtained in the tensile test were found. According to the results of all tests, adding nanopowder at low rates (0.1%, 0.5%, etc.) to the silver-copper alloy provides more efficient results. The addition of large amounts of nanopowder (1% and more) turns the ductile alloy into a brittle material and a brittle structure. This situation makes it challenging to apply some silver jewelry production techniques.

Keywords: Bending Strength, Finite Element Method, Hardness, Nanoparticle, Nanotechnology, Silver Jewelry, Static Analysis, Tensile Strength.

ÖNSÖZ

“Takı Endüstrisinde Kullanılan Gümüş-Bakır Alaşımına Nanopartikül İlave Edilmesinin Malzemede Oluşturduğu Mekanik Davranışların DeneySEL Olarak İncelenmesi” başlıklı tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde teknolojik gelişmelerin üretime etkisinden bahsedilmiştir. Kaynak Araştırması bölümünde kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Genel Bilgiler bölümünde Nanoteknolojinin tanımından, öneminden, kullanım alanlarından ve tarihsel gelişiminden bahsedilmiştir. Ayrıca takı endüstrisinin önemli üretim malzemelerinden biri olan gümüş-bakır alaşımının tanımından, öneminden, kullanım alanlarından ve takı üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde yapılacak olan mekanik deneylerden, bu deneyler için ASTM standartlarına uygun deney numunesi hazırlanmasından, deney numunelerinin test edilmesinden bahsedilmiştir. Ayrıca Materyal ve Yöntem bölümünde Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak statik analiz işlemine yer verilmiştir. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde Tüm mekanik testlerden ve statik analiz işleminden elde edilen verilere yer verilmiştir. Sonuçlar ve Öneriler kısmında ise nanotoz karışım oranlarına göre mekanik testlerden ve statik analizden elde edilen verilerin sonuçlarının kıyaslanmasına gidilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler ile takı sektöründe kullanılan gümüş-bakır alaşımı için önerilerde bulunulmuştur.

Bu tez çalışmasında gerek konunun belirlenmesinde gerekse bilgi akışında yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden azami ölçüde faydalandığım değerli hocam Prof.Dr. Hamit ADİN’e, mekanik testlerin yapılması aşamasında bilgi ve desteğinden faydalandığım hocam Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN’e , tezin hazırlanması aşamasında yardımcı olan Öğr.Gör. Şükrü AYKAT ve Kendal BİNGÖL’e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca aileme verdikleri manevi destekten dolayı minnet ve sevgilerimi sunarım.

Sabahattin AKGÜL
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. GENEL BİLGİLER.....	10
3.1. Nanoteknoloji.....	10
3.1.1. Nanoteknolojinin tarihsel gelişimi.....	14
3.1.2. Nanoteknoloji uygulama alanları.....	17
3.1.3. Nanopartikül	18
3.1.4. Nanopartikül üretim yöntemleri.....	20
3.2. Gümüş elementi	25
3.2.1. Gümüş elementi kullanım alanları	26
3.2.2. Bakır elementi ve kullanım alanları.....	29
3.2.3. Gümüş takılar.....	30
3.2.4. Gümüş takı üretim teknikleri	32
3.2.4.1. Dövme tekniği.....	33
3.2.4.2. Döküm Tekniği	34
3.2.4.2.1. Alçı kalıp.....	34
3.2.4.2.2. Kokil kalıp	35
3.2.4.2.3. Kum kalıp	36
3.2.4.3. Telkâri tekniği.....	36
3.2.4.4. Ajur tekniği	37
3.2.4.5. Repousse tekniği	38
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
4.1. Tek eksenli çekme deneyi.....	39
4.1.1. Birinci grup çekme deneyi numunesin hazırlanması	41
4.1.2. İkinci grup çekme deneyi numunesinin hazırlanması.....	44
4.1.3. Tek eksenli çekme deneyinin yapılışı	47
4.2. Üç nokta eğme deneyi.....	50
4.2.1. Birinci grup eğme deneyi numunesinin hazırlanması.....	52
4.2.2. İkinci grup eğme deneyi numunesinin hazırlanması	55

4.2.3. Üç nokta eğme deneyinin yapılışı.....	56
4.3. Sertlik deneyi	58
4.3.1. Birinci grup sertlik deneyi için numune hazırlanması	60
4.3.2. İkinci grup sertlik deneyi için numune hazırlanması.....	61
4.3.3. Brinell sertlik deneyinin yapılışı.....	62
4.4. Statik Analiz	63
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	65
5.1. Tek eksen çekme deneyi sonuçları	65
5.2. Üç nokta eğme deneyi sonuçları	68
5.3. Brinell sertlik deneyi sonuçları	71
5.4. Statik Analiz sonuçları.....	73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
6.1 Sonuçlar	80
6.2 Öneriler	82
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Nanometrenin farklı büyüklükteki nesnelerle kıyaslanması.	12
Şekil 3.2. Mevcut nanoteknoloji ile ilgili malzemeler ve üretim fırsatlarının buzdağı örneği ile ifadesi.....	18
Şekil 3.3. Elektron mikroskobu ile çekilmiş nanopartikül görüntüleri.....	19
Şekil 3.4. Nanomalzeme üretmek için kullanılan yaygın yöntemler.....	21
Şekil 3.5. Nanoteknolojide “yukarıdan aşağıya” ve “aşağıdan yukarıya” yaklaşımlarının gösterimi	22
Şekil 3.6. Yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı üretim yöntemleri	23
Şekil 3.7. Metal nanoparçacıkların boyutları, şekilleri ve bileşimleri, farklı ışık saçılım özelliklerine sahip malzemeler için sistematik olarak değiştirilebileceğini gösteren şekil	24
Şekil 3.8. Gümüş madeni.....	25
Şekil 3.9. Granül haldeki gümüş elementi.....	28
Şekil 3.10. MTA verlerine göre Türkiyede yıllara göre granül gümüş üretim miktarları	28
Şekil 3.11. Bakır madeninin cevher halinde bulunması ve işlenmiş bakır.....	29
Şekil 3. 12. Gümüş elemeti ile yapılan bazı takı çeşitleri.....	32
Şekil 3.13. Dövme tekniği kullanılarak üretilmiş kap	33
Şekil 3.14. Kayıp mum tekniği uygulanarak alçı kalıptan üretilmiş metal ürün	35
Şekil 3.15. Kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi	35
Şekil 3.16. Kum kalıbı şeması uygulama örneği	36
Şekil 3.17. Telkari tekniği uygulanarak üretilmiş bazı gümüş takılar.....	37
Şekil 3.18. Ajur tekniği uygulanarak üretilmiş kolye ucu takı.....	38
Şekil 3.19. Repousse tekniği uygulaması.....	38
Şekil 4.1. ASTM E8/E8M metal numune standart ölçüleri.....	40

Şekil 4.2. Çekme deneyi cihazında test edildikten sonra malzemede oluşan kırılma şekilleri.....	41
Şekil 4.3. Has gümüş ve saf bakırın eritme potasına alınması	42
Şekil 4.4. İndüksiyonlu döküm makinası ve astar kalıbı.....	43
Şekil 4.5. Eritilmiş alaşımın astar kalıba dökülmesi ve kalıptan alaşım çubuğun çıkarılması.....	43
Şekil 4.6. Çekme deneyi için 925 ayar alaşım gümüş numuneleri.....	44
Şekil 4.7. %99,99 saflıkta 20 nm ölçüsünde gümüş Nanotoz	44
Şekil 4.8. Karışım için hazırlanan has gümüş, gümüş nanotoz ve saf bakır	45
Şekil 4.9. Vakumlu döküm makinası ve eritme haznesi.....	46
Şekil 4.10. Çekme deneyi için 20 nm gümüş nanotoz ilaveli 925 ayar alaşım gümüş numuneleri	47
Şekil 4.11. Çekme deneyi makinesi ve çeneler içine yerleştirilmiş deney numunesi	48
Şekil 4.12. Çekme deneyi cihazında test edilmiş test numunesi	49
Şekil 4.13. Çekme deneyi cihazında test edilmiş birinci grup numuneler	49
Şekil 4.14. Çekme deneyi cihazında test edilmiş ikinci grup numuneler.....	50
Şekil 4.15. ASTM E290 standartlarına uygun eğme deneyi numunesi.....	51
Şekil 4.16. ASTM E290-14 standardına uygun eğme deneyi şematik resmi	51
Şekil 4.17. Astar ve silindir makinesi ve numunenin silindir makinasında inceltilmesi	53
Şekil 4.18 Numune için hazırlanan gümüş astarın lazer makinasında kesilmesi	54
Şekil 4.19. Eğme deneyi için 925 ayar alaşım gümüş numuneleri.....	54
Şekil 4.20. Eğme deneyi için nanotoz ilaveli 925 ayar alaşım gümüş numuneleri	56
Şekil 4.21. Eğme deneyi makinesi ve mafsallar arasına yerleştirilmiş deney numunesi	57
Şekil 4.22. Eğme test cihazında makineye yerleştirilmiş test numunesi	57
Şekil 4.23. Shimadzu AG-IC universal test cihazında test edilmiş numuneler	58
Şekil 4.24. Brinell sertlik deneyinin şematik resmi.....	59
Şekil 4.25. Sertlik deneyi için hazırlanmış numune ölçüleri.....	59
Şekil 4.26. Sertlik deneyi için hazırlanmış numune	61

Şekil 4.27. ERNST AT 250 marka sertlik deneyi cihazı.....	62
Şekil 4.28. ERNST AT 250 marka sertlik deneyi cihazında test edilen deney numunesi	63
Şekil 4.29. ANSYS yazılımı için AutoCAD programında hazırlanan çekme numunesi modeli	64
Şekil 5.1. Gümüş nanotoz karışım oranlarına göre malzemede meydana gelen uzama miktarları.....	67
Şekil 5.2. Tek eksen çekme deneyi Gerilme-Gerinim grafiği	67
Şekil 5.3. Üç nokta eğme deneyi Eğme Kuvveti-Yer değiştirme grafiği	68
Şekil 5.4. Üç nokta eğme deneyi Eğme Mukavemeti-Gerinim grafiği	70
Şekil 5.5. Tüm test numunelerin sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.6. Tüm test numunelerin ortalama sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.7. %0 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü.....	74
Şekil 5.8. %0 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği .	74
Şekil 5.9. %0,5 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü.....	75
Şekil 5.10. %0,5 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği	75
Şekil 5.11. %1 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü.....	76
Şekil 5.12. %1 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği	76
Şekil 5.13. %1,5 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü.....	77
Şekil 5.14. %1,5 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği	77
Şekil 5.15. %2 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü.....	78
Şekil 5.16. %2 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği	78

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Değişik ölçü birimlerinin fiziksel uzunluk olarak karşılaştırılması	11
Çizelge 3.2. Bazı Nanomalzemeler ve yaklaşık ölçüleri	12
Çizelge 3.3. Nano ölçekli teknoloji ile makro ölçekli teknolojinin karşılaştırılması	13
Çizelge 3.4. Nanomalzemelerde değer zinciri içerisinde farklı aşamalardaki mevcut potansiyel uygulamalar	17
Çizelge 3.5. Günümüzde ticari olarak üretilen en önemli nanopartikül malzemeler	20
Çizelge 3.6. Nanopartiküllerin mevcut ve gelişmekte olan uygulamaları.....	20
Çizelge 3.7. Gümüş elementinin Fiziksel ve kimyasal özellikleri	25
Çizelge 3.8. Gümüş elementinin bazı mekanik özellikleri	26
Çizelge 3.9. Bakır elementinin Fiziksel ve kimyasal özellikleri	30
Çizelge 4.1. 925 Ayar gümüş alaşım oranı ve miktarları	42
Çizelge 4.2. Gümüş nanotozun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	45
Çizelge 4.3. Gümüş nanotozun ilave oranlarına göre numunelerin karışım miktarları..	45
Çizelge 4.4. Vakumlu döküm makinası teknik özellikleri.	47
Çizelge 4.5. Instron 8801 marka çekme deneyi makinesi teknik özellikleri.....	48
Çizelge 4.6. 925 Ayar gümüş alaşım oranı ve miktarları	53
Çizelge 4.7. Gümüş nanotozun ilave oranlarına göre eğme deneyi numunelerin karışım miktarları.....	55
Çizelge 4.8. Malzeme kalınlığına göre kullanılacak bilye çapları	60
Çizelge 4.9. 925 Ayar gümüş alaşım oranı ve miktarları	61
Çizelge 4.10. Gümüş nanotozun ilave oranlarına göre eğme deneyi numunelerin karışım miktarları.....	62
Çizelge 5.1. Numunelerin çekme deneyi sonuçları	66
Çizelge 5.2. Numunelerin eğme mukavemeti ve gerinim değerleri	69
Çizelge 5.3. Brinell sertlik ölçme cihazıyla test edilen numunelerin sertlik ölçümleri..	71

Çizelge 5.4. Numunelerin çekme deneyi elastisite modülü ve maksimum çekme dayanımı değerleri	73
Çizelge 5.5. Nümerik analiz testi maksimum gerilim değerleri ve maksimum çekme dayanımları	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

<i>Ag</i>	: Gümüş
<i>Al</i>	: Alüminyum
<i>Al₂O₃</i>	: Alüminyum oksit
<i>AlSi10Mg</i>	: Alaşımlı döküm (Alüminyum, silisyum, magnezyum)
<i>Au</i>	: Altın
<i>°C</i>	: Santigrat derece
<i>C60</i>	: Fulleren (60 karbonlu)
<i>CdTe</i>	: Kadmiyum Tellürid
<i>Cu</i>	: Bakır
<i>Fe₂O₃</i>	: Demir (III) oksit
<i>Fe₃O₄</i>	: Demir (II, III) oksit
<i>Ga</i>	: Galyum
<i>Ge</i>	: Germanyum
<i>GaAs</i>	: Galyum arsenit
<i>Mn</i>	: Mangan
<i>Pt</i>	: Platin
<i>SiO₂</i>	: Silisyum dioksit/Silika
<i>TiO₂</i>	: Titanyum dioksit
<i>Zn</i>	: Çinko
<i>ZnO</i>	: Çinko oksit
<i>µm</i>	: Mikrometre
<i>v</i>	: Poison oranı

Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım
AKM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
EMI	: Elektromanyetik girişim
F	: Kuvvet
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GO	: Grafen oksit
ICTAF	: Disiplinlerarası teknolojik analiz ve tahmin merkezi
HB	: Brinel sertlik ölçüm sembölü
HV	: Vickers sertlik ölçüm sembolü
KHz	: Kilo Hertz
kN	: Kilo newton
kW	: Kilo Watt
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
MRI	: Manyetik rezonans görüntüleme
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
N	: Newton
Nm	: Nanometre
NMR	: Nükleer Manyetik Rezonans
PPy	: Polipirol
PP	: Polipropilen
PV	: Fotovoltaik
RFID	: Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TTM	: Taramalı tünelleme mikroskobu
TUBEFET	: Nanotüp transistör
XPS	: X-ray fotoelektron spektroskopisi
XRD	: X ışını kırınım yöntemi

1. GİRİŞ

Günümüzde özellikle teknolojide yaşanan büyük gelişmelerle beraber üretim yöntemlerinde de dönüşüm ve yenilikler yaşanmaktadır. Teknolojinin güçlü bir ivme kazanmasıyla birlikte gelişimini devam ettirmesi ilerlemenin en önemli girdilerinden birisi olmuştur. Teknoloji, üretim araçlarında, üretim yöntem ve stratejilerinde, üretimi yapılan çıktılarda yenilik yaratmak; bu yenilikler neticesinde üretimi optimum düzeyde arttırmak, verimliliği arttırmak, diğer imalatçılarla rekabet oluşturarak üstünlük elde etmek ve en nihayetinde kar elde etmek için kullanılan bir anahtar olarak ifade edilebilir (Kiper, 2004).

İçinde bulunduğumuz yüzyılda bilginin büyük bir hızla yayılarak geniş kitlelere ulaşması, Teknolojinin yakaladığı güçlü ivme ve gelişim ile beraber zorlu rekabet koşulları yaratan bir piyasa ortamı meydana getirmektedir. Bu piyasa şartlarında müşteri, kolay ve rahat ulaşabileceği zengin iletişim kanallarına sahip olduğundan tercih ve alışkanlıkları sürekli değişebilmekte, bu yüzden talepleri sürekli değişken olabilmekte beklentileri de çok çabuk farklılık gösterebilmektedir. Üretici firmaların, müşteri beklenti ve taleplerine hızlıca yanıt vermek ve piyasada tutunmak için bu duruma adapte olması gerekmektedir. Bütün bu sebepler neticesinde üretici firmalar iş proseslerini geliştirmek için piyasa durumuna uygun değişik strateji ve yöntemler geliştirmek durumunda kalmıştır (Akgül, 2019).

20. yüzyılın sonlarında yaşanmış olan en büyük bilimsel ve teknik gelişmelerden biri, nanomalzemelerin ve nanoteknolojinin keşfedilmiş olmasıdır. Bu alandaki çalışmalar 21. yüzyılın ilk yıllarında yaygınlaşmış ve gelişme göstermiştir. Bu konuyla ilgili çalışma yapan birçok uzman, içinde bulunduğumuz yüzyıldaki bilimsel ilerlemenin nanomalzemeler, nanoteknoloji ve bununla beraber doğa bilimleri ve teknolojisinin çeşitli alanlarındaki uygulamalarla beraber başarılı gelişmelerin meydana gelebileceğini tahmin etmektedirler. Günümüzde nanoteknoloji ve nanomalzeme ile ilgili çok sayıda akademik ve bilimsel çalışma yapılmaktadır (Guz ve Rushchitskii, 2003).

Nanoteknolojinin bu kadar hızlı gelişim göstermesi, hem kamuda hem de özel sektörde ciddi anlamda bir araştırma ve geliştirme çabasına yol açmıştır. Dünya çapında giderek artan sayıda laboratuvar, üretim tesislerinin kurulması dolayısıyla büyük ölçekli endüstriyel malzemelerden elektronik bileşenlere, tıbbi ürünlere kadar değişen uygulamalar için yeni nanometre boyutlu malzemeler geliştirilerek uygulanmaktadır.

Büyük bir bütçeye sahip böyle bir pazarda nanoteknoloji tabanlı ürün üretmek amacıyla çok sayıda yeni firma kurulmakta ve faaliyete girmektedir (Friedrichs ve ark., 2007).

Bu teknolojik gelişmeler ışığında yeni strateji ve yöntem geliştiren işletmeler, müşterilerin taleplerini karşılamada ve yaşadıkları sorunlara çözüm bulmada yardımcı olmaktadır. Ancak farklı üretim dallarında faaliyet gösteren birçok işletme geleneksel üretim metotlarını sürdürmeye devam etmektedirler. Bu sektörlerden bir tanesinde kuyumculuk sektörüdür.

Kuyumculuk; Altın, gümüş ve benzeri değerli metallerin ve bu metallerin alaşımlarının eritilerek kalıplara dökülmesi, plâka veya tel haline getirildikten sonra işlenerek takı veya süs eşyası olarak üretilmesi işlemidir (Başlangıç, 2006). Kuyumculuk sektöründe en çok kullanılan metaller altın (Au), gümüş (Ag), platin (Pt), bakır (Cu) ve bunların alaşımlarıdır. Kuyumculuk sektöründe altından sonra en çok kullanılan element gümüş elementidir. Gümüş metalinin tercih edilmesinin sebeplerinden bir tanesi altın, platin gibi değerli madenlere göre daha az maliyetli olmasıdır. Bir diğer sebebi ise gümüşün parlak beyaz renkte olmasıdır. Gümüş elementi yapısı itibari ile yumuşak bir metaldir. Mekanik basınca dayanıklılığı da azdır. Gümüşün dayanıklılığını ve mukavemetini arttırmak için daha sert metallerle alaşımı yapılır. Gümüş madeni ile takı üretildikten sonra; üretimden dolayı, kullanıma bağlı olarak ve çevre şartlarının etkisiyle olumsuz durumlar oluşabilmektedir. Bu olumsuz durumları en aza indirmek ya da ortadan kaldırmak için teknolojik imkanlardan azami surette faydalanmak gerekmektedir.

Bu çalışmada üretimde nanoteknoloji kullanımının gümüş takılara olası etkileri incelenmiştir. Nanopartikül kullanımı neticesinde malzemenin davranışlarındaki değişiklik ve mekanik özelliklerindeki değişimler ile ilgili kapsamlı literatür araştırması yapılmıştır. Nanoteknoloji, nanopartikül, gümüş elementi ve gümüş takı üretim yöntemleri ile ilgili kavramsal ve istatistiki bilgiler verilmiştir. Mekanik test deneyleri için gümüş ve bakır nanotoz elde edilmiştir. Bu nanotozlardan döküm yöntemi ile mekanik testler için deney numuneleri elde edilmiştir. Numuneler test edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deney numunelerinden elde edilen verilerle ürün analizine gidilmiştir. Elde edilen veriler ışığında sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gümüş nanopartikül kullanılarak üretilen ve malzemede oluşan olası mekanik etkileri gösteren akademik çalışmalar araştırılmıştır. Özellikle kompozit malzemeler ile ilgili nanomalzeme kullanılarak yapılan çalışmalara rastlanmıştır. Ancak gümüş nanopartikül etkisi türünde çok fazla akademik çalışmaya rastlanmamıştır. Nanoteknoloji yöntemi ve nanopartikül kullanılarak üretilen malzemelerdeki mekanik etkilerini inceleyen benzer yapıda akademik çalışmalar incelenmiştir. Detaylı literatür taraması yapılmış olup yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Wu ve arkadaşları (2002), Düşük nanopartikül dolgulu polipropilen kompozitlerin çekme performansının iyileştirilmesi adlı makalelerinde; daha önce geliştirilmiş mekanik performansa sahip düşük nanoparçacık yüklü polimer kompozitlerin, nanoparçacıkların ışınlama kullanılarak bazı polimerler tarafından önceden aşıldığı geleneksel birleştirme tekniği ile hazırlanabildiğini bu yaklaşımın uygulanabilirliğini incelemek için bir çalışma yapmışlardır. Mevcut çalışmada endüstriyel ölçekli çift vidalı ekstrüder ve enjeksiyonlu kalıplama makinesi ile daha sert bir polipropilen (PP) nano-silika ile birleştirmişlerdir. Çekme testlerinin sonuçlarında, nanoparçacıkların, oldukça düşük bir dolgu içeriğinde PP'ye aynı anda sertleştirme, güçlendirme ve toklaştırma etkileri sağlayabildiğini gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Sobolev ve arkadaşları (2006), yüksek performanslı çimento kompozitleri için nanomalzemeler ve nanoteknoloji adlı makalelerinde; sol-jel yöntemi ile sentezlenen ve nano-SiO₂ içeren harçların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneylerin sonuçlarına göre geliştirilmiş nanoparçacıklara sahip harçların sertleşmenin erken aşamalarında basınç dayanımında bir artış olduğunu ve ardından daha sonraki yaşlarda referans ile karşılaştırıldığında dayanım azalmasını gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu dayanım azalmasının önüne geçmek için süper akışkanlaştırıcı eklenmesi fikrini ortaya atmışlardır. Seçilmiş nano-SiO₂ ile süper plastikleştirilmiş harçlar, 90 günlük yaşta 144,8 MPa'ya ulaşan %15-20'lik bir basınç dayanımı artışı gösterdiğini belirtmişlerdir. Mekanik-kimyasal aktivasyonun, çimento esaslı malzemelerin mukavemetini arttırmada etkili bir yöntem olduğunu bulmuşlardır.

Osterwalder ve arkadaşları (2006), Anhidrit nanoparçacıklardan nano-alçının hazırlanması: Vickers sertliğini ve kalsiyum sülfat nano-iğnelerinin oluşumunu güçlü bir şekilde arttırdı adlı makalelerinde; bir yapı malzemesinin mekanik özelliklerinin nanoyapılı malzemeler kullanılarak nasıl önemli ölçüde iyileştirilebileceğini araştırmışlardır. Başlangıç malzemesi olarak nano-anhidritin suyla yüksek reaktivitesi nedeniyle klasik ıslak faz kimyası ile hazırlanması zor olduğundan, alternatif olarak yüksek sıcaklık yönteminin kullanımını araştırmışlar. Uygun bir alev püskürtme işleminin uygulanması ile 20–50 nm boyutlu anhidrit parçacıkları verilmiştir. Sıkıştırma ve sertleştirmeden sonra, elde edilen nano-iğnelerden oluşan alçı, geleneksel mikron boyutlu alçı ile karşılaştırıldığında 2-3 kat daha yüksek Vickers sertliği sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Shen ve arkadaşları (2009), nanokompozit lehimlerde araştırma gelişmeleri adlı makalelerinde; elektronik ambalaj endüstrisinde nanokompozit lehimlerin geliştirilmesi için itici gücü ve geliştirilen kompozit lehimlerin araştırma ilerlemelerini gözden geçirmek için bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak nanokompozit lehimlerin hazırlanmasının nedeni ifade edilmiştir. İki nanokompozit lehim üretim yönteminin örnekleri, bir mekanik karıştırma yöntemi ve bir yerinde yöntem ayrıntılı olarak açıklanmıştır. nanokompozitle hazırlanmış lehimlerdeki kazanımlar ve iyileştirmeler özetlenmiştir. nanokompozit lehimlerin imalatında var olan zorluklar ve problemler tartışılmıştır. Son olarak, nanokompozit lehimlerin imalatında karşılaşılan sorunları çözmeye çalışan yeni bir nano yapıları kompozit lehim ayrıntılı olarak tanıtılmıştır.

Shi ve arkadaşları (2009), nanopartiküllerin epoksi kaplamanın korozyon önleyici ve mekanik özelliklerine etkisi adlı makalelerinde; Fe_2O_3 ve halloysit kil nanoparçacıkları ile kaplanmış çeliğin korozyon direncini ölçmek için çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada öncelikle SiO_2 , Zn, Fe_2O_3 nanoparçacıkları ve halloysit kili içeren homojen epoksi kaplamaları, asetonla seyrelterek tamamen karıştırılmış bir epoksi bulamacının oda sıcaklığında kürlenmesiyle çelik yüzeyler üzerinde başarılı bir şekilde sentezlemişlerdir. Bu kaplamaların yüzey morfolojisi ve mekanik özellikleri sırasıyla SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve AKM (atomik kuvvet mikroskobu) ile karakterizasyonu yapılmıştır. Epoksi kaplı çeliğin korozyon direnci üzerine çeşitli nanoparçacıkların dahil edilmesinin etkisi, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile araştırılmıştır. Fe_2O_3 ve halloysit kil nanoparçacıkları ile kaplanmış çeliğin korozyon direncini önemli ölçüde iyileştirmede nanoparçacıkların yararlarını ortaya koymuşlardır.

Özellikle SiO₂ nanoparçacıklarının kaplama matrisinin mikro yapısını önemli ölçüde iyileştirdiği ve böylece epoksi kaplamanın hem antikorozyon performansını hem de Young modülünü geliştirdiğini tespit etmişlerdir.

Thongnopkun ve arkadaşları (2012), el yapımı takı uygulamalarında nano-gümüş kilin termal davranışı adlı makalelerinde; el yapımı takı ürünlerinde alternatif malzeme olarak nano-gümüş kil kullanmışlardır. Gümüş nanopartikülleri kimyasal indirgeme yöntemiyle sulu çözeltide sentezlediler. Gümüş nanoparçacıkların kil benzeri özelliği, nano boyutlu gümüşü organik bağlayıcılar ve su ile karıştırarak sağladılar. Nano-gümüş kilin fırınlama dönüşümünün ve mikro yapısının analizi, diferansiyel termal profil ve SEM ile gerçekleştirdiler. Sonuçta nano-gümüş kilin sinterleme sıcaklığının, dökme gümüş metalinkinden daha düşük sıcaklıkta (yaklaşık 250 °C) başlatıldığını ortaya koymuştur. Takı uygulaması için nano-gümüş kilin ısıtma işleminin optimal durumunu araştırdılar. Burada nano-gümüş kil, elle kalıplanmış takı gövdesi için uygun olan kil benzeri özelliğinin yanı sıra iyi mekanik özellik sunduğunu belirtmişlerdir. Bu yeni malzemenin nano boyutlu gümüşü, pişirilmiş numunenin yüksek büzülme sağlamasına rağmen, takı ürünleri, optimum koşul altında pişirildiğinde ince dokuya, iyi görünüme ve yüksek sertliğe sahip olmak için nano boyutlu gümüşün kullanılmasının avantajlı olduğunu belirtmişlerdir.

Priya ve arkadaşları (2012), nano ve mikro bakır katkılı iletken polimerin sentezi ve karakterizasyonu adlı makalelerinde; kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile hazırlanan mikro ve nano bakır partikülleri katılmış iletken polimer Polipirrol (PPy)'den oluşan bir sistem üzerine kurulmuş çalışma gerçekleştirmişlerdir. PPy, mikro bakır katkılı polipirrol ve nano bakır katkılı polipirrol özellikleri FT-IR, XRD (X-ışını kırınımı) ve iletkenlik ölçmeleri ile ilgili araştırma yapmışlardır. PPy ve kompozitlerinin iletkenliklerini karşılaştırmışlar. Sonuç olarak, saf PPy ile karşılaştırıldığında nano kompozitte A.C iletkenliğinde iki kat, mikro kompozitte A.C iletkenliğinde bir kat artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumun kristaller arası ağlar olarak hareket eden mikro ve nano parçacıkların A.C iletkenliğinde artışa yol açtığını belirtmişlerdir. Nano kompozitin oda sıcaklığında mikro kompozit ve PPy'den daha iyi elektriksel iletkenliğe sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Desireddy ve arkadaşları (2013), ultra kararlı gümüş nanoparçacıklar adlı makalelerinde; çok büyük miktarlarda tek boyutlu moleküler ürün veren, ultra kararlı gümüş nanoparçacıklar üretmek için basit bir sentetik protokol sunmuşlardır.

Soy metal nanoparçacıkların kataliz, algılama, fotokimya, optoelektronik, enerji dönüşümü ve tıp gibi çeşitli alanlarda önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Gümüşün çok istenen fiziksel özelliklere, iyi nispi bolluğa ve düşük maliyete sahip olmasına rağmen, altın nanoparçacıkların kanıtlanmış stabiliteleri ve kullanım kolaylıkları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmekte olduğunu belirtmişlerdir. Altının aksine gümüşün, önemli gümüş bazlı nanomalzemelerin gelişimini sınırlayan oksidasyona (kararmaya) yatkınlığıyla ünlü olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada ultrastabilite gümüş nanoparçacıkları kararlılık, saflık ve verim, etkili bir stabilizasyon mekanizması sayesinde, altın dahil diğer metal nanoparçacıklarına göre önemli ölçüde daha iyi olduğunu savunmuşlardır.

Bozan ve arkadaşları (2014), nanopartikül ilave ederek ürettikleri ve karakterizasyonunu yaptıkları teflon kaplamalar ile ilgili çalışmalarında; teflonun aşınmaya karşı olan direncini arttırmak amacıyla nano boyutta gümüş (Ag) partikül ilavesi yapmışlardır. Böyle kaplamada karakterizasyon meydan getirmişlerdir. Sonuç olarak nano gümüş (Ag) partikül ilavesi neticesinde teflon kaplamada tribolojik özelliklerinde ve aşınmaya karşı direnç oluşturmada iyileşmeler görüldüğünü belirtmişlerdir.

Türkmen ve arkadaşları (2014), nanoteknolojinin spor malzemelerinde kullanılması ve performanslarına etkisi ile ilgili çalışmalarında; nanoteknolojinin hangi spor malzemelerinde kullanıldığı ve kullanıldığı malzemelerin spor uygulamalarında ortaya çıkardığı etkiyi araştırmışlardır. Geniş çapta bir literatür araştırması gerçekleştirmişleridir. Yaptıkları araştırmaya göre nanoteknoloji yöntemi uygulanarak üretilen spor malzemeleri ve ekipmanlarında dayanıklılığı arttırdığını, güç kazandırdığını, ürünlerin hafiflemesine ve esneklik kazanmasına katkı sağladığını, sürtünmemin azalmasından dolayı yıpranma ve aşınma az olacağından ürünlerin ömrünün arttığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak nanoteknolojinin ürünler üzerinde yarattığı bu faydalardan dolayı sporcuların performansında artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Bhargava ve arkadaşları (2016), nanoteknolojinin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmedeki etkisi adlı makalelerinde; takviye veya kompozitin çekme mukavemeti, eğilme direnci, viskozite, modül ve absorpsiyon testleri gibi mekanik özellikleri nasıl geliştirdiğini araştırmışlardır. nano/mikro karbonize bagas lifli çimento kompozitlerinde bagas lifine çimento hamuru ilave ederek, kompozit elde ettiler.

Sonuç olarak, Polyester nano kompozit liflere göre eğilme direncinin arttığını gördüler. Bambu lifini mekanik özellikleri geliştirmek için hindistan cevizi kabuğunu nano lifi ile karıştırdılar, young modülü, çekme mukavemeti ve emme özelliğindeki artışın kompozit malzeme amaca uygun hale getirdiğini belirlediler.

Sözen ve arkadaşları (2017), nanobor ve nano-TiO₂'in odun polimer kompozitler üzerindeki mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Polimer matrix olarak PP kullanmışlardır. Odun liflerinden %10 ve %20, nanobor ve nano-TiO₂'i %0,5 ve %1 oranında dolgu maddesi olarak kullanmışlardır. Odun lifleri PP'ne eklendiğinde tüm uygulama örneklerinde eğilmeye karşı direnç artışı meydana geldiğini belirtmişlerdir. Nano-TiO₂ ihtiva eden deney örneklerinin çekmeye karşı dirençlerinde azalma görülürken nanoborun uygulama örneklerinde darbeye karşı dirençte artış görüldüğünü belirtmişlerdir.

Kumruoğlu (2018), alüminyum, magnezyum ve zirkonyum alaşımına grafen-nanokarbon ilave ederek bu alaşımın fiziksel ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında; metal-karbonlu nanokompozit üretmeyi hedeflemiştir. Elektro eksfoliasyon yöntemi kullanarak üretimi gerçekleştirmiştir. Katkı maddesi olarak ta nano karbon formları (grafen) kullanmıştır. Üretilen grafen alkol bazlı çözücülerle çözülerek hidrofilik özellik kazandırmıştır. Grafene ayrıca metal tozu ilavesi yapmış ve üretilen bu grafen-metal homojen karışımını preslemiş ardından argon ve azot atmosfer ortamında sinterlemiştir. Mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Arttırdığı pres kuvveti ve sinterleme sıcaklığı ile beraber sertlik değerinin 80 HV üzerine yükseldiğini belirlemiştir. Daha sonra belirli değer ölçümlerinden sonra mekanik değerlerde azalma meydana geldiğini belirlemiştir. Ancak ardından yapılan grafen takviyelerinde mukavemet ve sertlikte yine artış yaşandığını belirlemiştir.

Kandemir (2018), grafen tabakalarından meydana gelen 100 nm altındaki kalınlık ölçüsüne sahip ve olağanüstü mekanik özellikleri olan grafen nanolevhaların endüstri sektöründe çokça kullanılan AlSi10Mg alaşımına sağladığı katkının mekanik özelliklerine ve mikroyapısına etkilerini incelemiştir. Yaptığı çekme deneyleri sonucunda ağırlık bakımından %0,25 grafen nanolevha takviyelerinin alaşımın mukavemet durumunu önemli olabilecek derecede arttırdığını tespit etmiştir. Bu mukavemetteki iyileşmenin nedenini grafen nanolevhaların dislokasyonların ilerlemesinin önünde bir engel oluşturduğunu belirtmektedir. Elde edilen bu sonuçlar neticesinde grafen nanolevha takviye edilmiş nanokompozitlerin seri imalatına uygun şekilde sıvı fazda da üretilebileceğini belirtmiştir.

Hamed ve arkadaşları (2019), Nano-kil de-aglomerasyonunun betonun mekanik özelliklerine etkisi adlı makalelerinde; nano-kil dispersiyonunun beton özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu, iki yolla kısmi çimento ikamesi olarak çeşitli nano-kil yüzdeleri (%5, 7.5 ve %10) kullanılarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Nano-kil betonun basınç dayanımı, yarık çekme dayanımı, eğilme dayanımı, kayma bağ dayanımı ve yarık bağ dayanımına dayanılarak yapılmış ve mikro yapı analizi SEM, XRD ve AFM incelemeleri ile doğrulamışlardır. Test sonuçları, nano katmanlı parçacıkların sonikasyonunun, alınan nano-kil betonunkiyle karşılaştırıldığında beton özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini belirtmişlerdir.

Ahmadi (2019), Epoxy in nanotechnology: Nanoteknolojide epoksi: Kısa bir inceleme adlı makalesinde; epoksi bazlı nanokompozit kaplamalardaki teknolojik gelişmelerin geniş bir görünümünü vermeyi amaçlamıştır. Nanoteknoloji ile donanmış, mühendislik kullanımları için gelişmiş epoksi bazlı kaplamalar tasarlamının mümkün olduğundan bahsetmiştir. Epoksi reçinelerin kimyası, işlevselliği ve sistemin kayganlık durumu ne olursa olsun, kaplama endüstrisi, epoksi formülasyonlarında nanoparçacıkların kullanılmasıyla sağlanan umut verici özelliklerden yararlanılmasından bahsetmiştir. Kaplamaların hem yüzey hem de yığın özelliklerinin sistemlerin performansı üzerindeki etkileri, koruyucu kaplamalardan biyokaplamalara kadar değişen uygulamalar için literatürde yaygın olarak çalışmanın sunulduğunu ifade etmiştir.

Bajpai ve arkadaşları (2019), hibritleştirilmiş karbon nanotüpler, silika nanopartiküller ve çekirdek-kabuk kauçuğunun epoksi nanokompozitlerin çekme, kırılma mekaniği ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisi adlı makalesinde; sert nanoparçacıkların ve çekirdek-kabuk kauçuk nanoparçacıkların bir kombinasyonunun epoksi reçinelerin çekme, kırılma mekaniği, elektrik ve termo-mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. SiO₂ nanoparçacıkları, çok duvarlı karbon nanotüpler, sert nanodolgu maddeleri olarak ve yumuşak nanodolgu maddeleri olarak çekirdek-kabuk kauçuk nanoparçacıkları, bisfenol-A bazlı epoksi reçine ile kullanılmıştır. Ayrıca, sert dolgu maddeleri ve yumuşak CSR nanoparçacıklarının karıştırılmış etkisini araştırmak için çekirdek-kabuk kauçuk nanoparçacıkları ile sistematik olarak katı dolgu maddeleri eklemişlerdir. Ortaya çıkan matris, çekme, kırılma mekaniği, elektriksel ve termal özellikleri ölçmek için standart yöntemlerle geniş bir şekilde değerlendirmişlerdir.

Gündoğan ve arkadaşları (2020), tekstil sektöründe kullanılan nanopartikül eklenerek zenginleştirilen geri dönüşüm PET matrisli nanokompozitlerin mekanik, antistatik ve termal durumlarını incelemişlerdir. Eriyik içerisinde birleştirme yoluyla üretilmiş olan 120 nm ölçüsündeki filamentlere ZnO, karbon nanotüp, ve TiO₂ yi takviye malzeme olarak kullanmışlardır. Bu takviye nanopartiküller ağırlık oranı olarak %0,1, %0,2 ve %0,3 olarak belirlenmiştir. Deney ve analiz sonuçlarında kompozit malzemelere eklenmiş olan takviyelerin bu kompozitlerde termal, mekanik ve antistatik özelliklerinde iyileştirme gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Saadatmandi ve arkadaşları (2020), grafen oksit nanoplatform yüzey dekorasyonu küresel çinko-polipirrol ile nanopartiküller epoksi kaplama özellikleri geliştirme: entegre deneysel ve elektronik ölçekli kuantum mekaniği yaklaşımlarından ayrıntılı keşfetmeler adlı makalelerinde; geliştirilmiş termal ve mekanik özelliklere sahip yüksek performanslı bir epoksi kompozit kaplamanın elde edilmesi için polipirrol (PPy) ve çinko katkılı PPy bazlı nanopartiküller fonksiyonelleştirilmiş grafen oksit (GO) nanotabakalarının uygulamasını incelemişlerdir. Yerinde polimerizasyon yöntemiyle, iletken polipirrol nanoparçacıkları GO levhalarında sentezlediler. Dolgu maddesinin kimyasal yapısını ve morfolojik perspektifini karakterize etmek için X-ışını kırınımı analizi, X-ray fotoelektron spektroskopisi (XPS), FT-IR spektroskopisi, Raman spektroskopisi ve alan emisyonu taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirdiler. GO-PPy ve çinko katkılı GO-PPy'nin polimer kompozite dahil edilmesinin, GO/Epoksi ara yüzey bağlanmasının artmasıyla sonuçlandığına dair kanıt buldular. Sonuçta yerinde polimerizasyon yoluyla PPy parçacıkları ile modifiye edilen grafen oksidin, GO yüzeyi ile güçlü kimyasal bağ oluşumunu içerdiğini ve GO-PPy ve çinko katkılı GO-PPy nanoplatformunun epoksi kaplamada daha iyi takviyeler oluşturacağı fikrini desteklediğini göstermişlerdir.

Aydın (2021), Nanopartiküllerin metal yapıştırıcılar üzerindeki etkilerinin araştırılması adlı makalesinde; sanayi uygulamaları ile bireysel uygulamalarda metal yüzeylerin yapıştırılması için kullanılan ve farklı iki epoksi yapıştırıcının içine farklı iki çap ölçüsünde ve çok duvarlı karbon nanopartiküller ağırlık olarak %0,5-%5 aralığında katılarak farklı biçimde pürüzlendirilmiş yüzeyler üzerindeki yapıştırıcıların yapışma dayanım durumlarını incelemiştir. İncelen yüzey durumlarında nanopartikül çapı ve yapıştırma şekline göre %2-%3,5 oranına kadar yapışma dayanımında artış görüldüğünü belirtmiş ancak bu artış oranlarından sonra nanopartiküllerin ortaya çıkan olumsuz etkileri sebebiyle yapışma dayanımında düşüşler meydana geldiğini tespit etmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Nanoteknoloji

Her şeyin temel yapıtaşını atomlar ve moleküller oluşturur. Nesneleri bu yapı taşlarıyla inşa etme yöntemi, nesnelerin özellikleri ile nasıl etkileşime girdikleri son derece önemlidir. Nanoteknoloji, yeni ya da çok farklı özelliklere sahip olan malzemeler oluşturmak amacıyla tek tek atomların, moleküllerin ya da moleküler kümelerinin yapılara dönüştürülme işlemi ile birlikte kendi kendine birleşmesi olarak tanımlanabilir. Nanoteknoloji ile yeni özelliklerde yapılar üretme fırsatı doğmaktadır. (Luther, 2006) Nanoboyutta olan sistemlerdeki malzemelerin fiziksel davranışlarında diğer normal sistemlerdeki malzeme davranışlarıyla kıyaslandığında farklı özellikler göstermektedir. Bu farklı fiziksel davranışlar, uzun yıllardır ülkelerin sivil, askeri, bilimsel ve teknolojik stratejilerini belirleyen bir durum haline gelmiştir (Nano strateji grubu, 2004).

Nano kelime anlamı olarak yunanca olan nannos kelimesinden türetilmiş olup cüce anlamına gelmektedir. Nano terimi günümüzde ise teknik bir ölçü birimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ölçü terimi genelde metre ölçü birimi ile beraber kullanılmaktadır (Bozoğlu ve Karacar, 2012). Nano modern bilim için artık popüler bir kavramdır. Nanometre, nanoölçek, nanoteknoloji, nanobilim, nanorobot, nanotel gibi kavramlar literatüre girmiş olmakla birlikte sözlüklerde de var olmaktadır. Bazı nano kavramları günümüzde bile tanınmamaktadır ancak saygın bilim dergilerinde ve yayınlarda yer bulmuştur. Bu nano yapıların arasında nanoelektronik, nanovalf, nanoiskele, nanokristal, nanodoku, nanokavite, nanoanten vb. kavramlar vardır (Buzea ve ark., 2007).

Nanoteknoloji, mikroskobik seviyenin çok altındaki uygulamalarda materyaller imal etmek amacıyla tek tek atomların ve moleküllerin manipüle edilme prensibine dayanır. Nanometre boyutundaki bu nesneler yaklaşık 100 nm'ye kadar atomlar ve moleküller arasında değişen ölçeklerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik bilgiyi içermektedir. Söz konusu bu durum aynı zamanda meydana gelen yapıların daha büyük sistemlerle ilişkilendirilmesi ile de alakalıdır (Adams ve Barbante, 2013). Nano bir nesnenin oransal olarak milyarda biri manasına gelmektedir. Temelde nanometre bir ölçüm göstergesidir. 1000 000 000 nanometre bir metre ölçüsüne eşdeğerdir. Başka bir deyişle bir metre bir nanometreden milyar defa büyüktür denilebilir. Bir nanometre ortalama olarak orta boyutlarda bir molekülün boyutuna eşdeğerdir.

Örnek verilecek olursa, yaklaşık 60 karbon atomu barındıran bir molekül boyutundadır denilebilir (Menceloğlu ve Kırca, 2008).

Nanoteknoloji hakkında yapılan başka bir tanımda ise fotolitografi ile üretilen en büyük moleküller ile en küçük yapılar arasında orta büyüklükte olan nesnelerin ortaya çıkan bilimidir. Başka bir deyişle 1nm büyüklükten 100 nm büyüklüğe kadar olan en küçük boyutlu nesnelerin bilimi olarak adlandırılır (Whitesides, 2005).

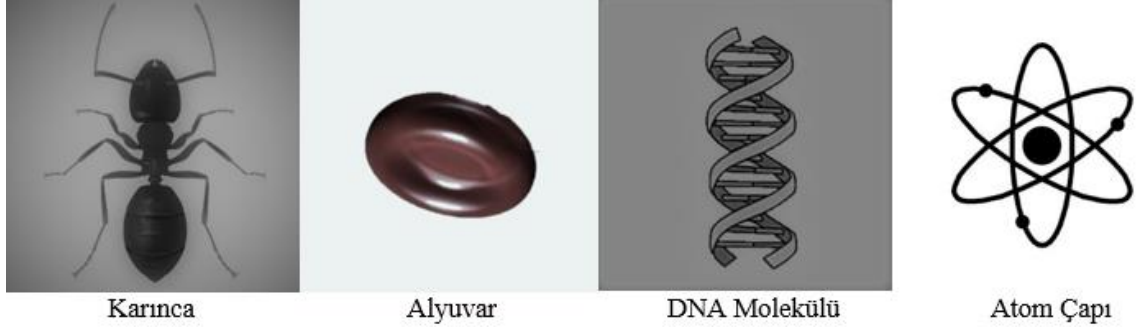
Nanoteknoloji özet olarak atom ve moleküllerin bir araya getirilerek nanoölçekte işlevli yapıların oluşturulması işlemidir denilebilir. Nanometre büyüklüğünün daha iyi anlaşılabilmesi için çizelge 3.1’de farklı fiziksel büyüklerle metre ölçüsü referans alınarak karşılaştırılması gösterilmiştir. Bir nanometre 10^{-9} metreye eşittir. Bir atomun büyüklüğü yaklaşık olarak 0,1 nanometre, yani nanometrenin onda biri büyüklüğünde olduğu düşünüldüğünde nanoteknolojinin çalışma alanının atom ve moleküller ölçüsünde olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin bir insan saçının kalınlığı yaklaşık 100.000 nanometredir. Bir nanoyapı ise 1nm ile 100 nm arasındadır.

Çizelge 3.1. Değişik ölçü birimlerinin fiziksel uzunluk olarak karşılaştırılması (Erkoç, 2007)

Ölçü birimi	Simgesi	Değeri(m)	Metre uzunluğu ile eşdeğer ölçüsü
Kilometre	km	10^3	1 kilometre = 1000 metre
Hektometre	hm	10^2	1 hektometre = 100 metre
Dekametre	dam	10	1 dekametre = 10 metre
Metre	m	1	1 metre
Desimetre	dm	10^{-1}	1 desimetre = 0,1 metre
Santimetre	cm	10^{-2}	1 santimetre = 0,01 metre
Milimetre	mm	10^{-3}	1 milimetre = 0,001 metre
Mikrometre	μm	10^{-6}	1 mikrometre = 0,000001 metre
Nanometre	nm	10^{-9}	1 nanometre = 0,000000001 metre

Şekil 3.1’de bazı yapıların ölçülerinin nanometre ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Orta büyüklükte bir karıncanın sadece başının genişliği yaklaşık bir milyon nanometredir. Bir alyuvar hücresinin boyutu yaklaşık bin nanometre kadardır. Bir DNA molekülünün ölçüsü yaklaşık olarak 2,5 nanometredir. Bir atom çapı ölçüsü ise bir nanometrenin onda biri kadardır.

Bu örneklerden de açıkça anlaşılacağı gibi nanoteknoloji moleküler ve atom seviyesinde çalışma alanlarıyla ilgilenmektedir (Erkoç, 2007).



Şekil.3.1. Nanometrenin farklı büyüklükteki nesnelerle kıyaslanması (Erkoç, 2007)

Nanoteknolojide malzemenin en az bir boyutunun nanometre aralığında olması gerekir. Çizelge 3.2’de bazı farklı nanomalzemelerin çap ve kalınlık ölçüleri listelenmiştir. Nonometrik boyutundaki malzemelerin diğer atom boyutundaki yada normal döküm malzemelerden farklı özellikler göstermektedirler. Nanometrik ölçüdeki malzemelerin kontrolünü sağlamak yeni bilim dallarının ortaya çıkmasına yada teknolojik buluşların keşfine yol açabilir. Nanoteknolojinin altında yatan asıl neden minyatürleşmeye gitmektir.

Çizelge 3.2. Bazı Nanomalzemeler ve yaklaşık ölçüleri (Rao ve ark., 2004)

Nanomalzemeler	Yaklaşık boyut	Malzemeler
Nanokristaller ve kümeler (Kuantum noktalar)	Çap 1-10 nm	Metaller, yarı iletkenler, manyetik malzeme
Diğer nanoparçacıklar	Çap 1-100 nm	Seramik oksit
Nanoteller	Çap 1-100 nm	Metaller, yarı iletkenler, oksitler
Nanotüpler	Çap 1-100 nm	Karbon, katmanlı metal kalkojenitler
Nanogözenekli katılarda	Gözenekli çap 0,5-10 nm	Fosfatlar, zeolitler, vb.
İki boyutlu diziler	Birkaç nm ² –µm ²	Metaller, yarı iletkenler, manyetik malzemeler
Yüzeyler ve ince filmler	Kalınlık 1-1000 nm	Çeşitli malzemeler
Üç boyutlu yapılar	Birkaç nanometre	Metaller, yarı iletkenler, manyetik malzeme

Nanoteknolojinin ya da nanobiliminin gelişme göstermesi için yapılması gereken öncelikler bulunmaktadır. Bu öncelikler aşağıda verilmiştir:

- İzole edilmiş nanoyapıların yani nanoyapıtaşlarının ve bunların istenen özelliklere sahip birleşimlerinin sentezini olabildiğince geliştirmek ve bu konuda uzmanlaşmak.
- Nanocihaz konseptlerini ve bu sistemlerin mimarilerini keşfetmek ve oluşturmak.
- Performansı oldukça yüksek malzemelerden yeni nanomalzeme sınıfları oluşturmak.
- Nanoteknoloji ve bilimini moleküler elektronik ve biyolojiye bağlamak ve geliştirmek.
- Nanoteknoloji araştırmaları için yeni cihazlar keşfetmek ya da mevcut cihazları geliştirmek (Rao ve ark.,2004).

Nanoteknoloji için verilen tanımlar için tam olarak bir mutabakata varılmamıştır. Bununla birlikte nanoteknolojinin yanal yapıların, katmanların, moleküler birimlerin, iç sınır katmanları ile kritik boyutlara ya da yaklaşık 100 nm'den atomik büyüklüğe kadar uzanan üretim toleranslarına sahip yüzeylerin üretimi, incelenmesi ve kullanılması ile ilgili bir teknoloji olarak karakterize edebileceği konusunda fikir birliği sağlanmıştır. Çizelge 3.3. de nanoölçekli teknolojiler ile makro ölçekli teknolojiler kıyaslanmıştır (Luther, 2006).

Çizelge 3.3. Nano ölçekli teknoloji ile makro ölçekli teknolojinin karşılaştırılması (Luther, 2006)

Makro ölçülü teknolojiler	Nano ölçülü teknolojiler
Klasik süreklilik fiziği	Kuantum fiziği
Katı hal özellikleri	Bağlama özellikleri
Hâkim kütle özellikleri	Hâkim yüzey özellikleri
Konvansiyonel ürünler/Karışımlar	Yeni bileşik ve karışımlar
Klasik olarak yukarıdan-aşağıya yaklaşım	Kendiliğinden düzenlenerek birleşim
İstatistiki topluluklar	Bireysel parçacık toplulukları
Yeterli yüksek enerji aralıkları	Enerji aralıklı termal dalgalanmalar
Orta alan şiddeti	Son aşamada yüksek alan şiddeti

Nanoteknolojinin bir başka özelliği de tek tip bir teknoloji platformunu değil alt bölümleri de içeren farklı teknolojik ve bilimsel disiplinlerin geniş bir grubunu temsil etmesidir. Aşağıda bu disiplinler gösterilmiştir:

- Nanoyapılı malzemeler
- Nanoelektronik
- Nanofonotik

- Nanobiyoteknoloji
- Nanoanalitik (Luther, 2006)

3.1.1. Nanoteknolojinin tarihsel gelişimi

Nanoteknoloji kavramını telaffuz etmemiş olsa bile bu teknolojiden ilk bahseden kişi ünlü fizikçi Richard P. Feynman'dır. Yaptığı bilimsel çalışmalar, verdiği seminer ve konferanslar, bilimi yayma çabaları ve öngörülleri sayesinde fizikçiler arasında ün kazanmış bir bilim adamıdır. Kuantum elektrodinamiği sahasında yaptığı çalışmalarla 1965 yılında Nobel fizik ödülüne layık görülmüştür. Richard Feynman 1959 senesinde verdiği konferansta 'There is plenty of room at the bottom' başlığı altında ünlü bir konuşma yapmıştır. 'Aşağıda çok yer var' isimli bu konuşmasında atom ve moleköl boyutunda üretimler ve çalışmalar yapılabilirse yeni birçok keşfin yapılabileceğini belirtmiştir. Richard Feynman yaptığı bu ünlü konuşmada ayrıca bu keşiflerin gerçekleştirilebilmesi için nanoölçekte ölçüm ve imalat yöntemlerinin de geliştirilmesi gerektiğini söylemiştir. Bu ünlü konuşma nanoteknoloji ve nanobiliminin temeli sayılmaktadır (Erkoç, 2007).

Richard P. Feynman 1959 yılında yaptığı bu ünlü konuşmasında özellikle aşağıdaki öngörülerde bulunmuştur:

- Daha küçük nasıl yazılır
- Küçük ölçeklerde done
- Daha verimli sonuç veren elektron mikroskobu
- Olağanüstü biyolojik yapıdaki oluşumlar
- Bilgisayarların minyatür haline getirilmesi
- Buharlaştırma yöntemiyle minyatürleştirme
- Sürtünme sorunlarını çözme
- Yüzlerce ufak boyutta el imal etme
- Atomları yeniden düzenleme yeteneği
- Minimal bir boyuttaki dünya içerisinde atomlar
- Rekabet ve gelişim için lise yarışmaları (Feynman, 1960)

Richard Feynman konuşmasında özellikle belirtmek istediği herhangi bir konu için gelişme sağlamak, atılımlar yapmak istendiği zaman kişileri özellikle bilimle uğraşan gençleri yarışmalar düzenleyerek rekabet içine sokmak başarı elde edebilmeleri için itici bir güç sağlayacağını ifade etmiştir. Bu düşünceyle Richard Feynman 1960 yılında üniversite öğrencileri arasında ödüllü yarışma düzenlemiştir. Düzenlediği yarışmada çalışır vaziyette olacak şekilde dünyanın en küçük elektrik motorunu icat edene 1000 \$ ödül vadetmiştir. Bu düşüncesini en kısa sürede gerçekleştirmiş ve önemli sonuçlarla karşılaşmıştır.

Richard Feynman'ın ön gördüğü fikirler 1980 yılına kadar gerçekleşmemiştir. 1980'li yılların başlarında ise nanoölçekte malzemeler üretmek ve nanoyapıdaki bazı fiziksel büyüklükleri ölçmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar Feynman'ın öngörülerini doğrulamıştır. Bu çalışmalardan sonra taramalı tünelleme mikroskobu, atom kuvveti mikroskobu ve yakın alan mikroskobunun keşfi takip etmiştir. 1985 yılında gerçekleştirilen karbon nanotoplarının akabinde 1990 yılında keşfedilen karbon nanotüpleri takip etmiştir. En önemli gelişmelerden bir tanesi ise nanolaser buluşudur. Gelişmiş ülkeler bu çalışmalar için büyük bütçeler ayırmış ve nano teknoloji merkezleri kurmuşlardır (Erkoç, 2007). Nanoteknoloji terimini kullanan ilk bilim adamı Tokyo Bilim Üniversitesinde araştırmacı olan Norio Taniguchi'dir. Taniguchi 1974 yılında 'Temel Nanoteknoloji Konseptleri' adlı makalesinde bu konuya değinmiştir. Taniguchi bu makalesinde nanoteknoloji terimini atomları veya molekülleri ayırma, bozma, birleştirme işlemi olarak tanımlamıştır. (Işık, 2018) 1986 yılında ise Eric Drexler Taniguchi'nin nanoteknoloji tanımını kullandığını bilmeden 'Yaratma Makinaları: Moleküler Sistem Üretimi ve Hesaplaması' isimli kitabında moleküler nanoteknoloji kavramına değinmiştir (Var ve Sağlam, 2014).

Nanoteknoloji ve nanobilimin kronolojik gelişim süreci aşağıdaki gibidir:

- 1959 yılında Richard Feynman katıldığı bir konferansta 'Aşağıda çok yer var' adlı ünlü konuşmasını yaptı.
- 1974 yılında Aviram ve Seiden moleküler cihaz için ilk patenti aldılar.
- 1981 yılında Drexler ilk kez nanoteknoloji ile ilgili makalesini yayımladı.
- 1981 yılında H. Rohrer ve G.K. Binnig Taramalı Tünelleme Mikroskobunu (TTM) icat etmişlerdir.

- 1985 yılında R.F. Curl, H.W. Kroto ve R.E. Smalley C₆₀'ı keşfetmişlerdir.
- 1986 yılında G. Binnig, C.F. Quate, Ch. Gerber Atomik Kuvvet Mikroskopunu (AKM) icat ettiler.
- 1986 yılında Drexler moleküler nanoteknoloji fikrini ortaya attığı 'Engines of Creation' adlı eserini yayımladı.
- 1987 yılında ilk defa iletkenliğin kuantum özelliğini gözlemledi. Dolan ve Fulton tek elektron transistörünü yaptılar.
- 1988 yılında W. De Grado ile çalışma ekibi yapay proteini ürettiler.
- 1989 yılında IBM firması Zürih'te 35 Xe atomunu kullanarak IBM harfleri yazmayı başardı.
- 1991 yılında çok duvarlı karbon nanotüplerinin keşfini Iijima yapmıştır.
- 1993 yılında tek duvarlı karbon nanotüpleri keşfedenler Iijima, Bethune ve Ichihashi olmuştur.
- 1993 yılında ilk 'nanoteknoloji' laboratuvarı ABD'deki Rice Üniversitesinde kurulmuştur.
- 1997 yılında N. Seeman tarafından DNA molekülü kullanılarak nanomekanik aygıt yapma başarısı gösterilmiştir.
- 1998 yılında C. Dekker ile çalışma arkadaşları TUBEFET'i yapmışlardır.
- 1999 yılında M. Reed ile J.M. Tour tek organik olan molekülden oluşan elektronik anahtarı yaptılar.
- 2000 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılacak olan nanoteknolojik çalışmalar için 422 milyon \$ bütçe ayrılmıştır.
- 2001 yılında ilk kez nanotüplerden oluşan mantık devreleri ve transistör yapılmıştır.
- 2001 yılında Çinko oksit (ZnO) inorganik bileşiği kullanılarak nanotel lazeri yapılmıştır.
- 2002 yılında Süper örgü nanoteller yapılmıştır.
- 2005 yılında dört tekerlekli bir nano araba prototipinin hareket etmesi sağlanmıştır.

2008 yılından sonra Tel-Aviv Üniversitesinde Teknolojik çalışmalar amacıyla ICTAF tarafından nanobiyoteknolojinin gelişim göstermesi ile ilgili hazırlanmış olan rapordan elde edilen veriler şunlardır:

- 2008 yılında hücre içi analizler yapmak için nanoajanlar üretilebileceği sonucuna varıldı.
- 2013 yılında manipülasyona yönelik hücre içi nanoaraçlar yapılacağı belirtildi.
- 2015 yılında suni sistemlerin kendini onarabileceği vurgulandı.
- 2018 yılında insan organlarında iç yapılanma durumunun tanımlanabileceği ifade edildi.
- 2021 yılında vücudun içerisinde nanomakineler yapılabileceği sonucuna varıldı (Işık, 2018).

3.1.2. Nanoteknoloji uygulama alanları

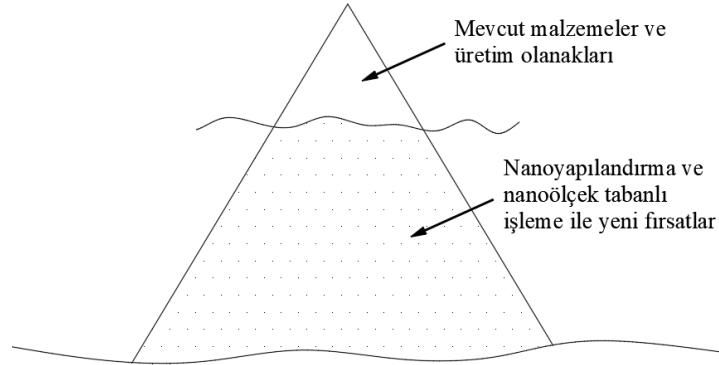
Nanoteknolojinin uygulama alanlarının, günümüzde ekonomik sebeplerle ya da teknoloji eksikliğinden kaynaklanan durumlarda üretimi sınırlı olsa da birçok alanda uygulama fırsatı bulabilmektedir. Ayrıca yeni iş alanlarında nanoteknoloji ile ilgili AR-Ge çalışmaları yapılmakta ve bu teknolojiden azami surette faydalanmak için çalışmalar yürütülmektedir. Çizelge 3.4'te nanomalzemelerde farklı alan ve sektörlerdeki potansiyel uygulamaları gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Nanomalzemelerde değer zinciri içerisinde farklı aşamalarda mevcut potansiyel uygulamalar (Luther, 2006)

Ana ürünler	Ara ürünler	Uygulama alanları
<u><i>İnorganik nanoparçacıklar</i></u> Metaller, fullerener, karbon siyahı, metal oksitler, nanokiller	• Katalizörler • Membranlar ve filtreler • Pigmentler ile boyalar • Aşındırıcılar	<u><i>Tıp Uygulamaları</i></u> İlaç taşıma, antimikrobiyaller, biyoçipler, implantlar
<u><i>Organik olan nanoparçacıklar</i></u> Polimer, boyalar, dispersiyonları, makro moleküller, ilaçlar	• Dolgu maddeleri • İlaçlar ile ilaç taşıyıcıları • Folyolar • Tekstil fiberleri • İşaretçiler • Süper iletkenler	<u><i>Kozmetik Uygulamaları</i></u> Güneş kremi, dudak boyası, diş macunu
<u><i>Nanogözenekli malzemeler</i></u> Zeolitler, Aerojeller	• Gaz depolamaları • Paketleme sistemi • Kaplamalar • Termoelektrik ürün • İletken polimer ürün • Organik yarı iletken	<u><i>Otomobil Uygulamaları</i></u> Lastikler, yapı malzemeleri, yakıt hücreleri, ön cam
<u><i>Nanokompozit ürünler</i></u> Metaller ve alaşımlar, seramikler, polimerler, işlevselleştirilmiş nanoparçacıklar, ferro sıvılar organik yarı iletkenler		<u><i>Bilişim teknolojisi Uygulamaları</i></u> Veri depolama, lazer diyetolar, ekranlar, cam elyafları
		<u><i>Enerji Uygulamaları</i></u> Güneş enerjisi pilleri, piller, kapasitörler, yakıt hücreleri

Nanoteknolojinin yeni kavramları o kadar geniş ve yaygındır ki, bilim ve teknolojiyi tahmin edilemez şekillerde etkilemeleri beklenebilir. Nano yapılandırmanın getirebileceği faydalar açısından henüz buzdağının görünen ucu görülmektedir. Şekil 3.2’te Mevcut nanoteknoloji ile ilgili malzemeler ve üretim fırsatlarının buzdağının görünen kısmı kadar olduğu vurgulanmaktadır. Aşağıda verilen listede birçok uygulama halihazırda gelişme aşamasındadır ya da gelişmesi beklenmektedir.

- Otomotiv ve havacılık endüstrileri
- Elektronik ve iletişim
- Kimyasallar ve malzemeler
- İlaç, sağlık ve yaşam bilimleri
- İmalat
- Enerji teknolojileri
- Uzay araştırması
- Çevre
- Ulusal Güvenlik (Roco, 1999)



Şekil.3.2. Mevcut nanoteknoloji ile ilgili malzemeler ve üretim fırsatlarının buzdağı örneği ile ifadesi (Roco, 1999)

3.1.3. Nanopartikül

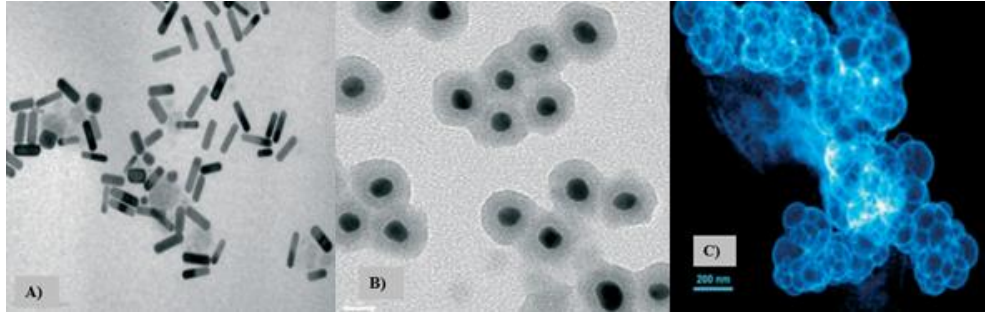
Nanopartiküller, toplu ve moleküler olarak benzerlerinden en belirgin şekilde farklı özelliklere sahip olan bir malzeme sınıfıdır. Nanopartiküller nanoteknolojinin yapı taşları olarak ifade edilebilir. Boyutu en az 100 nm ve altında bulunan malzemelere atıfta bulunur. Bu boyutlardaki malzemeler binlerce yıldır insanlık tarafından çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır.

Yakın zamanda ise nanomalzemeleri sentezleme ve manipüle etme yeteneği sayesinde bu alanda canlanma meydana gelmiştir (Biswas ve Wu, 2012).

Başka bir nanopartikül tanımında ise 10-100 nm aralığında bir boyuta sahip partikül dispersiyonları veya katı partiküller olarak tanımlanır (Mohanraj ve Chen, 2006).

Nanomalzemeler yüzyıllardır farklı şekillerde günümüze kadar kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse renkli camlarda kullanılan altın tozundan mürekkep ve mumlara kadar birçok alanda kullanılmıştır. Geçmişe göre farklı olan durum ise günümüzde teknolojik gelişmelerden dolayı bu malzemeleri üretmemize, bu malzemeleri tespit etmemize imkân vermesidir. Ayrıca nanomalzemenin şekil ve boyutlarının iyi bir etki için kullanılabileceğini anlamamızı sağlamaktadır. Elde edilen bu yetenek ve bilgi sayesinde bu malzemeleri daha kullanılabilir hale getirebilecek şekilde değiştirme olanağı sunmaktadır (Adlakha-Hutcheon ve ark., 2009).

Şekil 3.3'te Elektron mikroskobu ile çekilmiş bazı malzemelerin görüntüleri verilmiştir. A'da Altın nanoçubuk görüntüsü, B'de Altın çekirdek silika kabuk nanopartikül görüntüsü, C'de İç kısım boşluklu platin nanopartikül görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3. Elektron mikroskobu ile çekilmiş nanopartikül görüntüleri (Gürmen ve Ebin, 2008)

Nanopartiküller birçok atom veya molekülden oluşmakla beraber kristal, amorf, küresel şekillerde çeşitli büyüklüklere ve morfolojilere sahip olabilmektedir. Bir çeşit nanopartikül, piyasada ticari olarak sıvı dispersiyon veya kuru toz şeklinde bulunur. Bunun yanında süspansiyon veya macun elde etmek için nanopartiküllerin su veya organik bir sıvı ile birleştirilmesiyle oluşturulur. Yüzey aktif maddeler ve dağıtıcılar gibi kimyasal katkı maddelerinin kullanılması ile parçacıkların homojen dağılımı elde edilebilmesi gerekebilmektedir (Luther, 2006). Çizelge 3.5'te günümüzde ticari amaçlı üretilen en önemli nanopartikül malzemeler gösterilmiştir.

Çizelge 3.6’da ise nanopartiküllerin farklı endüstriyel dallardaki mevcut ve gelişmekte olan potansiyel uygulamaları gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Günümüzde ticari olarak üretilen en önemli nanopartikül malzemeler (Luther, 2006)

Metal oksitler	Karbon nanopartiküller	Bileşik yarı iletken partiküller	Değerli metaller
• Silika (SiO_2)	• Karbon siyahı	• Kadmiyum tellürid (CdTe)	• Altın (Au)
• Titanyum dioksit (TiO_2)	• Fullerenler	• Galyum arsenit (GaAs)	• Gümüş
• Alüminyum oksit (Al_2O_3)			(Ag)
• Demir oksit (Fe_3O_4 , Fe_2O_3)			

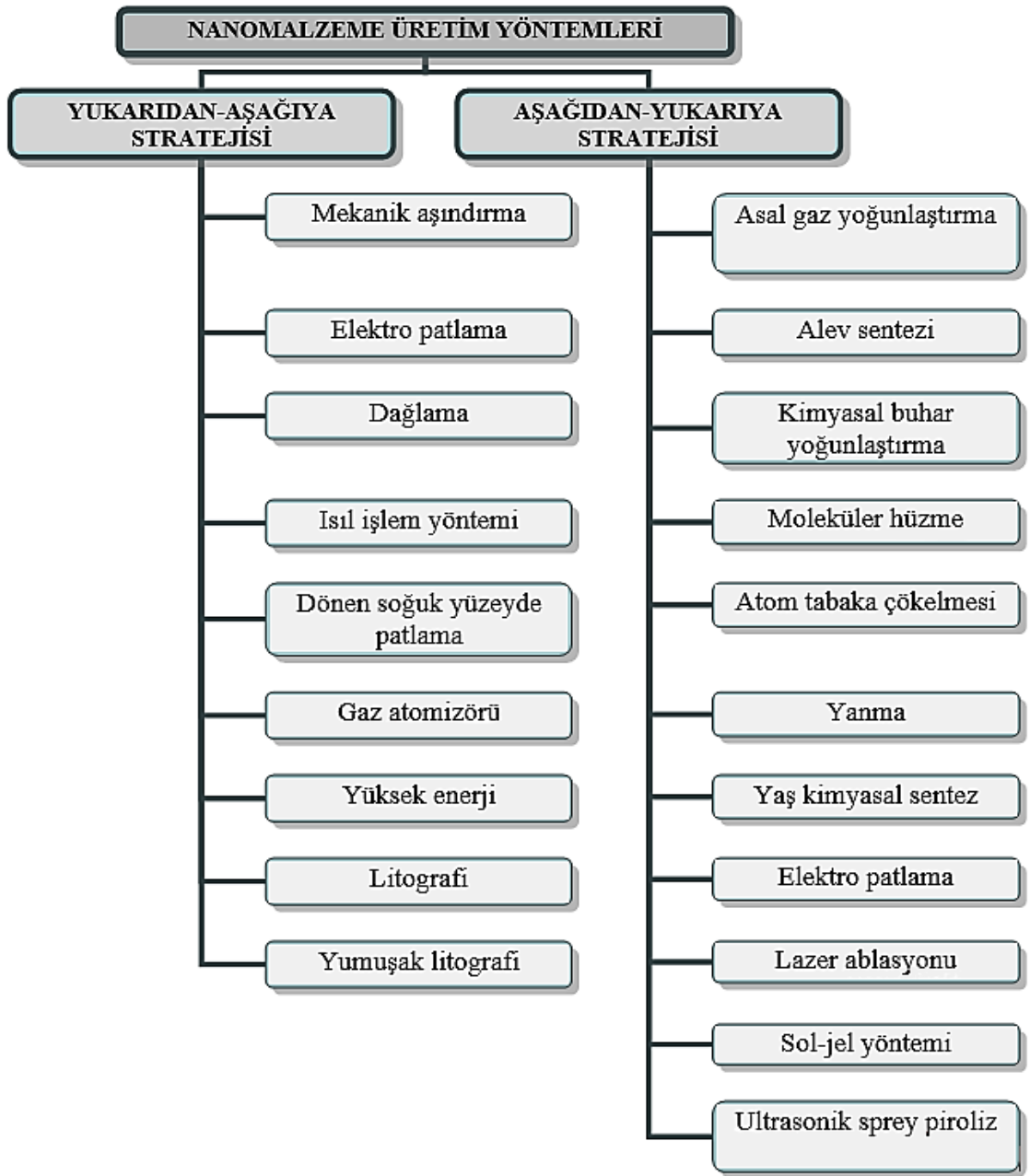
Çizelge 3.6. Nanopartiküllerin mevcut ve gelişmekte olan uygulamaları (Luther, 2006)

Elektronik ve optoelektronik manyetik uygulamalar	Biyomedikal ve farmasötik kozmetik uygulamaları	Enerji ve katalitik yapısal uygulamalar
• Kimyasal-mekanik parlatma	• Antimikrobikler	• Otomotiv katalizörü
• Elektro iletken kaplamalar	• Biyolojik algılama ve etiketleme	• Seramik membranlar
• Manyetik sıvı contaları	• Biyomanyetik ayırıcılar	• Yakıt hücreleri
• Manyetik kayıt ortamı	• İlaç teslimi	• Fotokatalistler
• Çok katmanlı seramik kapasitörler	• MRI kontrast maddeleri	• İticiler
• Optik fiberler	• Ortopedi ve implantlar	• Çizilmeye karşı dayanıklı kaplamalar
• Fosforlar	• Güneş kremleri	• Yapısal seramikler
• Kuantum optik cihazlar	• Termal sprey kaplamalar	• Güneş hücreleri

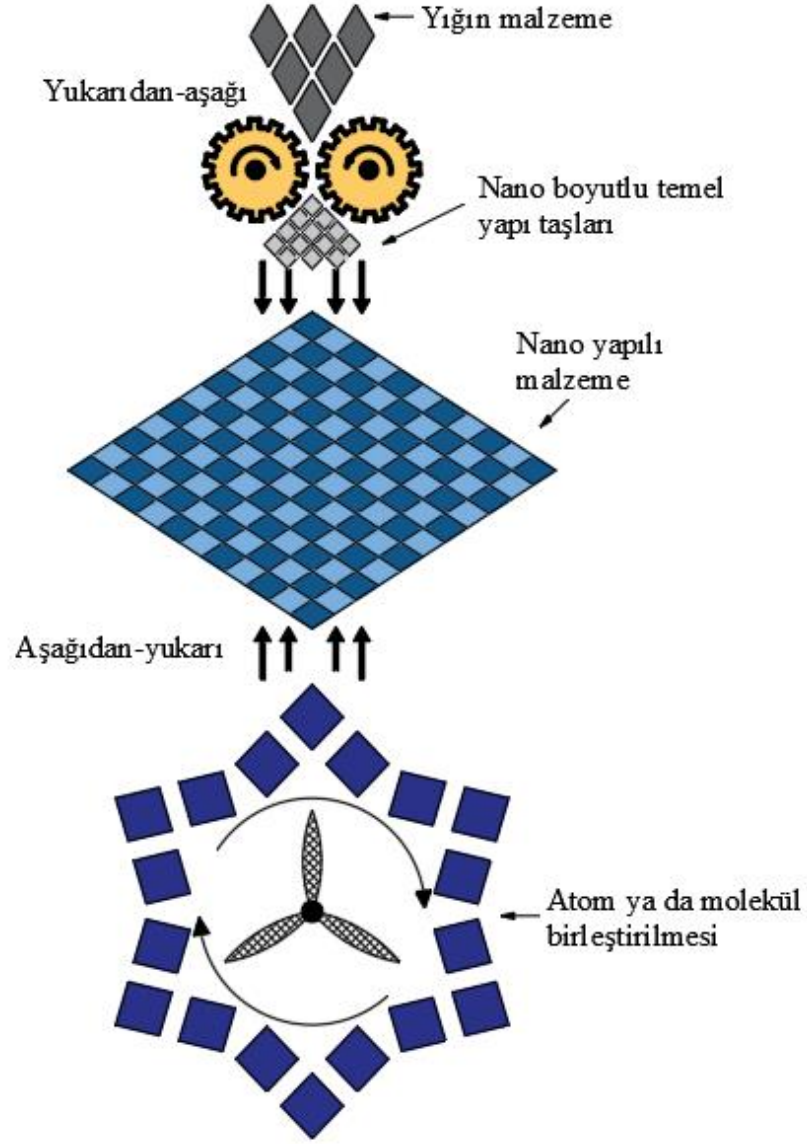
3.1.4. Nanopartikül üretim yöntemleri

Nanoteknoloji Nobel ödüllü Richard P. Feynman’ın ‘Altta çok yer var’ isimli konferansında tanıtıldığından bu yana nanomalzeme konusunda büyük gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle fizik, kimya ve biyoloji alanında maddeleri, son derece küçük ölçeklerde yani moleküler ve atom düzeyinde kontrol altına alınmaktadır. Nanoteknolojinin anlamı herhangi bir bilimsel alandan alana ve de ülkeden ülkeye değişim göstermekle birlikte çok küçük herhangi bir şey için ‘tümünü yakala’ tanımı da kullanılmaktadır. Buna rağmen nanoteknolojinin anlamı aslında nano ölçek düzeyindeki atom ve molekülleri kontrol etmektir. Yani boyutu 100 nm den az olan malzeme boyutu ile ilgilenir. Temelde amaç yeni özelliklere ve işlevlere sahip malzemeler üretmektir. Nanoteknoloji iki üretim yaklaşımı sergiler.

Birincisi Atomik düzeyde kontrol edilmeksizin büyük boyuttaki yapıların boyutlarının nano ölçeğe indirildiği veya daha büyük yapılardan daha küçük yapılara dönüştürüldüğü “yukarıdan aşağıya” yaklaşımıdır. İkinci yaklaşım ise moleküler düzeyde nanoteknoloji" ya da "moleküler üretim" isimleriyle de anılan "aşağıdan yukarıya" yöntemidir (Sanchez ve Sobolev, 2010). Şekil 3.4'te yukarıdan-aşağı ve aşağıdan-yukarı yöntemlerinin çalışma prensibi gösterilmiştir. Şekil 3.5'te ise nanopartikül üretim yöntemleri olan aşağıdan-yukarıya ve yukarıdan-aşağıya ve bu yöntemlerin alt üretim dalları şematik olarak gösterilmiştir.

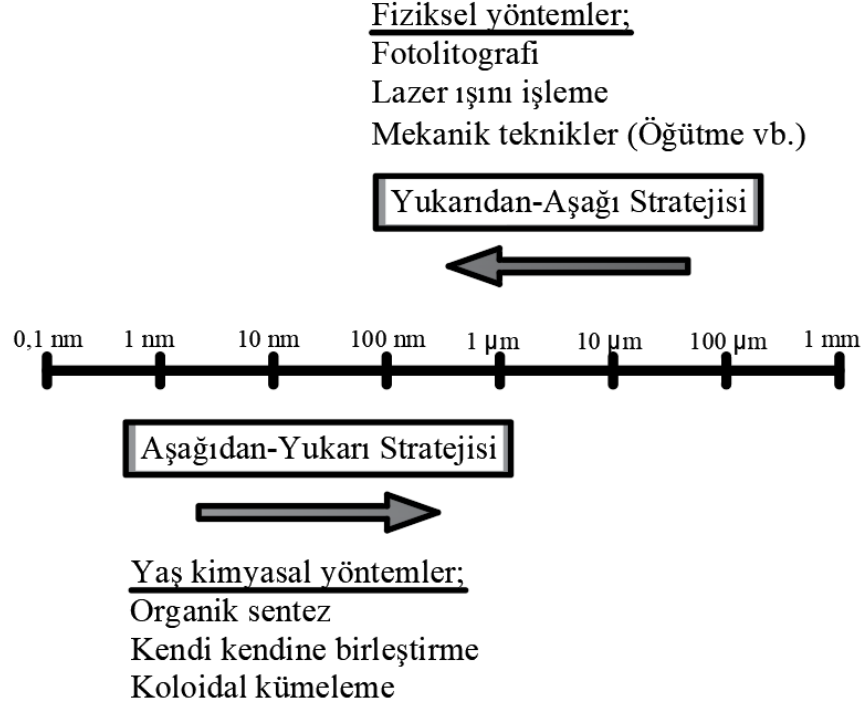


Şekil 3.4. Nanomalzeme üretmek için kullanılan yaygın yöntemler (Ateş ve Bahçeci, 2015)



Şekil 3.5. Nanoteknolojide “yukarıdan aşağıya” ve “aşağıdan yukarıya” yaklaşımlarının gösterimi (Sobolev ve Gutiérrez, 2005)

Yukardan aşağıya üretim tekniği stratejisi öğütme veya aşındırma işlemleri ile birlikte tekrarlı su verme ve fotolitografi gibi fiziksel yöntemleri içerir. Aşağıdan yukarıya üretim tekniği stratejisi ise kimyasal reaksiyonlar çekirdeklenme ve büyüme ile ilintili başlangıç materyalleri yöntemlerini içerir. Şekil 3.6’da başlangıç ölçüleri ile birlikte aşağıdan-yukarıya ve yukarıdan- aşağıya yöntemleri gösterilmiştir (Ju-Nam ve Lead, 2008).

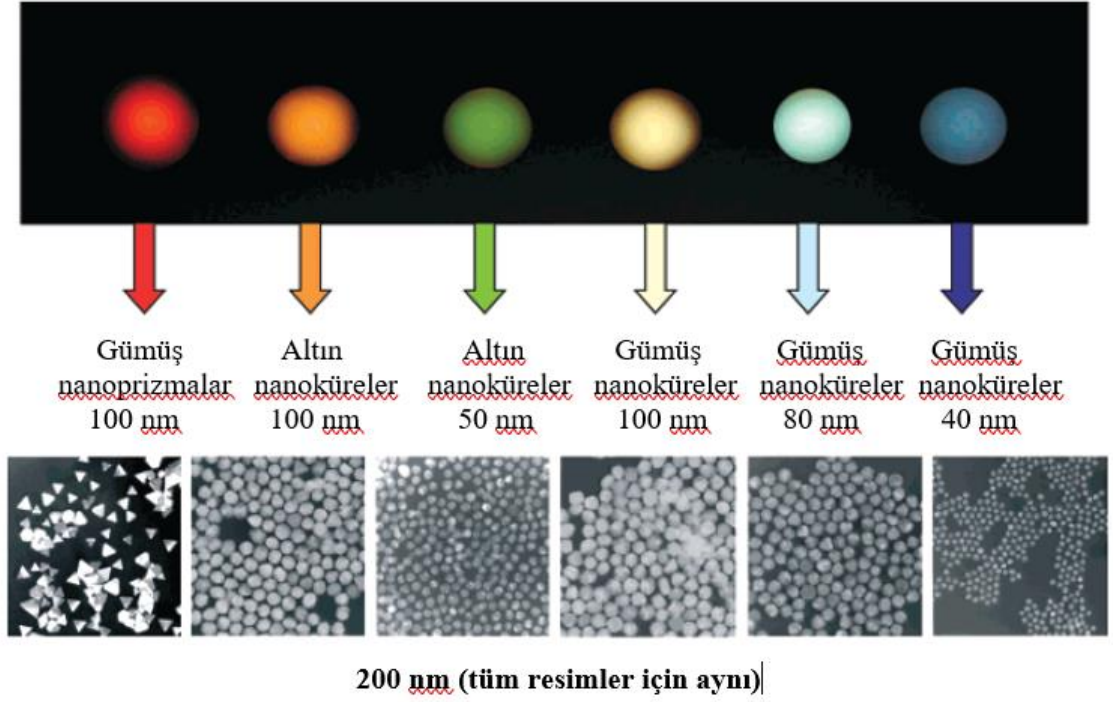


Şekil 3.6. Yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı üretim yöntemleri (Niemeyer, 2001)

Nanomalzemeler malzeme özelliği açısından, tıpkı geleneksel yöntemlerle üretilen mikron ölçekli yapılardaki malzemelerin üretimi gibi metallere, seramiklere, polimerlere, organik malzemelere ve bu malzemelerin kompozitlerinden üretilmektedir. Bu nanomalzemeler arasında nanoparçacıklar, nanokümler, nanotüpler, nanokristaller, nanoteller, nanolifler, nanofilmler ve nanoçubuklar bulunmaktadır. Yukardan-aşağı ve aşağıdan-yukarı yöntemleri kullanılarak bugüne kadar çok sayıda üretim gerçekleştirilmiştir. Bu üretimlerden bazıları nanofabrikasyon teknolojileri de denilen elektro lif çekim yöntemi, faz ayırma, kendi kendine birleştirme yöntemleri, kimyasal buhar işlemi ve ince film biriktirme yöntemleridir. Bunların dışında kimyasal aşındırma, biriktirme, fotolitografi, nanobaskı, elektron ışını, nanosfer litografileri, sıralı veya rastgele nanotopografileri ve sentezleme işlemleri sayılabilir (Zhang ve Webster, 2009).

Bir nanomalzemenin boyutu yığın olan bir yapıya göre daha avantajlı olabilmektedir. Çünkü nanomateryal içeriği olan yapıların fiziksel ve kimyasal özellikleri önemli bir etkiye sahiptir. Bununla beraber nanomalzemeler için yeni sentezleme, fabrikasyon ve karakterizasyon yöntemleri sayesinde boyutlarının, şekillerinin ve kompozisyonlarının mükemmel bir şekilde kontrol edilmesine izin verecek biçimde gelişmesi sağlanmıştır.

Özellikle spesifik olarak metal nanoparçacıklarının ve kuantum noktalarının ebatları, şekilleri ve bileşimleri belirli emici, yayıcı ve ışık saçılım özelliklerine sahip olan malzemeler üretebilmek için sistematik bir şekilde değiştirilebilmektedir. Şekil 3.7’de metal nanoparçacıklarından olan altın ve gümüş nanoprizma ve nanokürelerin boyutları, şekilleri ve bileşimleri farklı ışık saçılım özelliklerine sahip malzemeler için sistematik olarak değiştirilebileceği gösterilmiştir (Rosi ve Mirkin, 2004).



Şekil 3.7. Metal nanoparçacıkların boyutları, şekilleri ve bileşimleri, farklı ışık saçılım özelliklerine sahip malzemeler için sistematik olarak değiştirilebileceğini gösteren şekil (Rosi ve Mirkin, 2004)

3.2. Gümüş elementi

Gümüş elementi bütün metaller arasında beyaza en yakın renkte olmakla birlikte en iyi ısı ve elektrik iletkenliğine sahip bir element olarak ta bilinmektedir. Gümüş bazı dalga boylarında yüksek derecede optik yansıtma özelliğine sahip bir metaldir. Çizelge 3.6’da gümüş elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir (Çetinkaya,2003).

Gümüş elementi mükemmel elektrik ve termal iletkenliğine sahip bir metaldir. Yüksek ölçüdeki yansıtma özelliği sayesinde kimya, elektronik ve tıp endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan bir elementtir. Özellikle parlak ve çekici görüntüsü sayesinde mücevher sektöründe gümüş vazgeçilmez bir hammaddedir. Gümüş metalinin mukavemeti ve performansının artırılması için diğer metallerle alaşım yapılır. Kuyumculuk sektöründe bu metal genelde bakırdır (Xiong ve ark., 2019). Şekil 3.8’de gümüşün madenden çıkarılmış ilk hali gösterilmiştir. Gümüş elementinin bazı mekanik verileri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir. Çizelge 3.8’de gümüş elementinin bazı mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.8. Gümüş madeni (Anonim 1, 2021)

Çizelge 3.7. Gümüş elementinin Fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anonim 2, 2021)

Madde	Gümüş
Simgesi	Ag
Atom numarası	47
Atom ağırlığı	107,87 g
Ergime noktası (°C)	961,9
Kaynama noktası (°C)	1950
Özgül ağırlığı	10,5 g/cm ³

Çizelge 3.8. Gümüş elementinin bazı mekanik özellikleri (Çetinkaya,2003)

Mekanik özellikler	Gümüş (Saf gümüş 99,9 +)	
Elastisite modülü/psi		
20°C	11,7x10 ⁶	11x10 ⁶
30°C	10,6x10 ⁶	
Kesme gerilmesi/psi	3,86x10 ⁶	
Çekme özellikleri (2,31 cm çaplı tel için 20°C)	5 cm için % uzama	
En büyük olan çekme gerilmesi/psi		
Tavlanmış	25,000	52
%50 soğuk işlenmiş	44,000	5
320 °C için çekme gerilmesi/psi	15,000	

3.2.1. Gümüş elementi kullanım alanları

Gümüş soy metal grubunda yer alan bir elementtir. Kıymetli elementlerden biri olduğundan birçok endüstri alanında tercih edilmektedir. Geçmişte çoğunlukla süs eşyası ve gümüş para olarak kullanılan gümüş günümüzde birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Gümüş denilince akla ilk gelen mücevher sektörüdür. Ancak yoğun olarak endüstri alanlarında da kullanılmaktadır. Gümüş elementinin kullanıldığı alanlar şunlardır:

- Mücevher sektörü: Moda sektöründe ki gelişim ve değişimler ile gümüşün diğer değerli metallere göre fiyatının uygun olması gümüşü bu sektörde cazip hale getirmiştir.
- Güneş pilleri: Yeşil enerjinin ya da diğer bir deyişle yenilenebilir enerjiye günümüzde büyük önem verilmektedir. Bu yeşil enerjilerden biri de güneş pilleridir. Mükemmel elektrik iletkenliği sayesinde Fotovoltaiklerde (PV) gümüş kullanımı yaygındır.
- Elektronik: Mükemmel elektrik iletkenliği sayesinde gümüş nerdeyse tüm elektronik devrelerde bulunur. Baskılı devre kartları, televizyonlar, cep telefonları elektrikli oyuncaklar, Mikrodalga fırınlar, bilgisayarlar, plazma ekran paneli, gümüş bazlı mürekkepler, kolay envanter kontrolü sağlayan ve milyonlarca üründe kullanılan RFID etiketleri vb.
- Katalizörler: Mükemmel kimyasal özellikleri nedeniyle gümüş etilen oksit ve formaldehit gibi önemli iki endüstriyel kimyasalın üretiminde hayati öneme sahiptir. Etilen oksit üretmek için her yıl yaklaşık 10 milyon ons gümüş kullanılmaktadır.

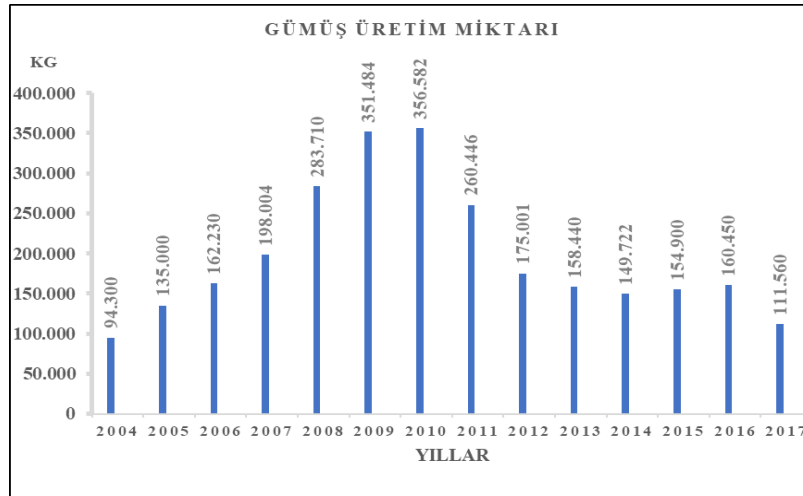
- Lehim: Gümüş lehim alaşımları, klima ve soğutmadan elektrik dağıtımına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bunun yanında otomobil ve havacılık endüstrilerinde kullanımı yaygın ve önemlidir.
- Rulmanlar: Çelik bilyeli rulmanlar gümüşle elektroliz edildiğinde, diğer rulman türlerinden daha güçlü ve dayanıklı hale gelirler. Jet motorları ve helikopter motorları sürekli ve yüksek ısıda çalıştıklarından gümüş yatakların kullanımı önem arz eder.
- İlaç sanayi: Gümüş ilaç sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Birçok tıbbi cihazın kaplamalarında, bandajlarda, merhemlerde vb.
- Otomotiv sektör: Teknolojini gelişimi ile motorlu araçlar daha çok bilgisayarlı hale geldiğinden gümüş kullanımı büyük önem arz ediyor. Motorlu araçlarda yılda 60 milyon onstan fazla gümüş kullanılmaktadır.
- Su arıtma: Birçok su arıtma cihazında gümüş mevcuttur.
- Fotoğrafçılık: Her ne kadar film fotoğrafçılığının yerini dijital fotoğrafçılık almışsa da gümüş bazlı filmler kullanılmaya devam etmektedir.
- Anti mikrobik filtreler: Günümüzde özellikle Covid-19 pandemisinden dolayı özellikle insan taşımacılığında hava akışını değiştiren ve hava kirliliğini büyük ölçüde temizleyen gümüş ve bakır bazlı filtreler kullanılmaktadır (Anonim 3, 2021).

Gümüş elementinin yeni ve gelişen kullanımları vardır. Gümüş üretim teknolojisinde önemli bir talep artışı oluşturma potansiyeline sahip üç uygulama mevcuttur. Bunlardan ilki soğuk sinterleme gümüş tozudur. Gümüş partiküller sinterleme işlemine tabi tutulduğunda, belirli oluşumlarda sinterlendiklerinde üstün termal ve iletken özellikler gösterebilirler. İkinci uygulama 5G ve EMI kalkanıdır. 5G teknolojisinin piyasaya sürülmesi nedeniyle gümüş talebinin artmasının beklendiği diğer alan küçük hücreli baz istasyonlarının sayısının artmasıdır. Röle ve inventörler ile çoklu giriş /çoklu çıkış anten gönderilerinin sayısının artmasından dolayı gümüşe olan talep artış sağlayacaktır. Üçüncü uygulama ise indüksiyon şarj cihazlarıdır. Gümüş kaplama bobinlerinin indüksiyon şarj sisteminin performansını geliştirdiği görülmüştür. Buda indüksiyon şarjlarında ilerde gümüş kullanımında artış olacağını göstermektedir (The Silver instute,2021).

Bu kadar büyük üretim potansiyeline sahip olan gümüş elementin hammadde üretimi de büyük önem kazanmaktadır. Şekil 3.9’da granül halindeki gümüş elementi gösterilmiştir. MTA genel müdürlüğünün 2016 yılındaki mart ayı verilerine göre Türkiye’nin görünürde olan ve yaklaşık toplam gümüş rezervi 5.740 ton olduğu belirtilmektedir. Şekil 3.10’da verilen grafikte yıllara göre Türkiye’de üretilen granül gümüş miktarları verilmiştir. Verilere göre en çok üretim 2010 yılında gerçekleşmiştir. 2017 yılına kadar üretimde düşüşler gözlenmektedir. Gümüş ihtiyacı olan endüstri ve diğer sektörlerin gümüş talebi artmaktadır. Granül olarak üretilen gümüş talebi karşılayamamaktadır. Bu durumdan dolayı gümüş ithalatı gerçekleşmektedir. Örnek vermek gerekirse 2015 yılında 432 ton gümüş işlenmiş ve kullanılmıştır. Bunun 261 tonu ithal edilmiştir. 2016 yılında ise 442 ton gümüş kullanılmış ve işlenmiştir. Bunun 268 tonu ise ithal edilmiştir. Bu veriler ham gümüş üretiminde dışa bağımlı olduğumuzu göstermektedir (TC. Kalkınma,2018).



Şekil 3.9. Granül haldeki gümüş elementi



Şekil 3.10. MTA verilerine göre Türkiyede yıllara göre granül gümüş üretim miktarları (TC Kalkınma,2018)

3.2.2. Bakır elementi ve kullanım alanları

Bakır elementi gümüş takı sektöründe yaygın olarak kullanılan bir elementtir. Kullanım amacı ise gümüşün yumuşak bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Gümüşe bir miktar sertlik kazandırmak için belli oranlarda bakır katılmaktadır. Bakır metali homojen olarak gümüşe karıştırılarak çubuk ya da plaka olarak dökülmektedir. Belli bir sertlik kazanan gümüş-bakır alaşımı takı yapılarak piyasaya sürülmektedir.

Bakır elementinin kullanımı eski çağlara dayanmaktadır. İnsanlık uzun zamandır bakırı süs eşyası, eşya ya da silah vb. malzeme yapımında kullanmışlardır. MTA verilerine göre günümüzde bakıra ihtiyaç oldukça fazladır ve tüketimi yaklaşık 13 milyon tonu geçmiştir. Endüstrideki gelişmelerle orantılı olarak bakıra olan talep artmaktadır. Özellikle elektrik iletkenliği ve ısı iletimi özellikleri sayesinde vazgeçilmez elementlerden birisidir. En geniş kullanıldığı alanlar; elektrik iletimi, makine, inşaat ve ulaşım sektörlerinin ekipman ile teçhizat üretimidir. Bunların yanında aşınmaya karşı direnci, maddeden çekilebilme özellikleri ve kolay dövülebilmesi sayesinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 3.11’de bakır elementinin madenden çıkarılmış cevher halindeki şekli ile işlenmiş ve bobin haline getirilmiş bakır şekli gösterilmiştir. Çizelge 3.9’da bakır elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Bakırın en yoğun kullanıldığı alanlar aşağıda oransal olarak verilmiştir:

- %50 oranında elektrik ve elektronik sanayisi
- %17 oranında inşaat sanayisi
- %14 oranında Endüstriyel ekipman üretimi
- %11 oranında ulaşım sanayisi
- %8 oranında askeri ve diğer sanayi üretim kolları (Anonim 4, 2021)



Şekil 3.11. Bakır madeninin cevher halinde bulunması ve işlenmiş bakır (Anonim 4, 2021)

Çizelge 3.9. Bakır elementinin Fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anonim 4, 2021)

Madde	Bakır
Simgesi	Cu
Sertliği	2,5-3
Yoğunluğu	8,93 g/cm ³
Ergime noktası (°C)	1083
Kaynama noktası (°C)	2300
Ergime ısısı	43 k.cal (1kg için gerekli ısı)
Elektrik iletkenliği	%99,95

3.2.3. Gümüş takılar

Eski çağlardan beri insanlar altın ve gümüş gibi takılara düşkünlük göstermiştir. Eski nesiller altın ve gümüş takıları sadece güzel görünmek, ekonomik amaçlı ya da statü göstergesi olarak kullanmamışlardır. Aynı zamanda kendilerinden sonraki nesillere bırakabilecekleri bir aile yadigarı olarak nesilden nesillere de aktarmışlardır. Takılar sadece süslenmek amacıyla kullanılmaz. Takılar kişiliği de yansıtır, çağdaş insanların duygu ve düşünceleri ile birlikte tutumlarını da sergiler. Gümüş takılar kendine has özellikleri nedeniyle yıllardır tercih edilen takı grubudur. Gümüş takıların tercih edilmelerinin sebeplerinden birisi altın ve platin gibi değerli metallerden daha ucuz olmasıdır. Parlak beyaz renkte olması, parlaklığı yansıtma oranının yüksek olması çekiciliğini büyük ölçüde arttırmaktadır. Gümüşün aynı zamanda bazı değerli taşlar gibi sağlık yönünden faydalı olması da tercih sebeplerinden birisidir (Yu ve ark., 2018).

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı 2020 yılı verilerine göre değerli metallerden imal edilen takılarda ihracat son 10 yılda önemli düzeyde artmıştır. Bu ihracat artışlarıyla beraber takı sektöründe Türkiye mücevherat üreten lider ülkelerin konumunda olup dünya mücevher üreten ülkeler arasından ilk 10 içerisinde yerini almıştır. Türkiye her sene yaklaşık 200 ton gümüş takı imal etme kapasitesine sahiptir. Bu sektör altın ve gümüş takı imalatı için yaklaşık 250.000 kişiye iş imkanı yaratmaktadır (MSR, 2020).

Soymetal ve alaşımlarının metalürjik uygulamalarda kullanımı 3000 yıldan uzun bir süreye dayanmaktadır. Kuyumculuk sektöründe de bu uygulamalar önemli bir yer tutmaktadır (Greil ve ark., 2017). Gümüş takı sektöründe saf gümüş kullanılmakla birlikte yoğun olarak gümüş alaşımları kullanılır. Kullanılan bu gümüş alaşımları farklı ayarlarda olabilir. Gümüş takı piyasasında 925 ayar olan ve sterling silver olarak tabir edilen gümüş alaşımı kullanılmaktadır.

Mardinde ve özellikle midyat ilçesinde gümüş telkari üretimi yaygındır ve kullanılan gümüş ayar olarak 950 ayardır. Gümüşe katılan metal genelde bakır olur.

Sterling silver yumuşak olan saf gümüşün mekanik özelliklerini arttırmak için belli oranlarda bakır elementi ile alaşım yapılan gümüşe verilen addır. Bu alaşım ısıtılı özelliğinden dolayı daha çok mücevher sektöründe takı ve süs eşyaları yapımında kullanılır (Manière ve ark., 2018). Sterling silver kuyumculuk sektöründe en çok kullanılan değerli metallere biridir. Ağırlıklı olarak %92,5 oranında gümüş elementine ağırlıkça %7,5 diğer metaller ilave edilerek kullanılır. İlave edilen metal genelde bakırdır. Böylece 925 ayar gümüş alaşımı elde edilir. Saf gümüşün akma dayanımı ve çekme kuvveti gibi mekanik özellikleri zayıftır, bu özellikleri geliştirmek ve iyileştirmek için alaşım yapılır (Praiphruk ve ark.,2013). Saf gümüş, mükemmel bir renk ve parlaklık sergilemektedir, ancak mücevher gibi ürünlerin üretimi için oldukça yumuşaktır. Bu yüzden Cu, Al, Ga, Ge, Mn veya Pt ilavesi gerçekleştirilir. Kuyumculukta Cu elementi kullanılır. %10'a kadar Cu ilave edilmesi mukavemetini arttırmak için önemli bir miktar olarak kabul edilmektedir. (Henriques ve ark., 2014). Sterling silver som gümüş olarakta ifade edilmektedir. Som gümüş de genellikle uzun süre kullanıldıktan sonra kararır veya lekelenir. Kararmayı ve oksidasyonu önlemek için alüminyum, germanyum, silikon, çinko, kadmiyum ve fosfor gibi elementlerle alaşımı yapılır (Nisaratanaporn ve ark., 2007). Diğer değerli metallere nazaran gümüş uygun fiyatıyla mücevher pazarında oldukça talep görmektedir. Saf gümüş (999,9 ayar) 55 HV sertliği ile oldukça yumuşak bir malzemedir. Bakırla alaşım yapılan som gümüş 60-70 HV sertliğe ulaştığından işlenmesi,uygulanması uygun hale gelir. Bu sertlik alaşımı güçlendirir, mukavemetini artırır (Chomsaeng ve Poolthong, 2017).

Takı, takmak kelimesinden gelmektedir. Takılar kullanıldıkları dönem ile birlikte yaşanan yörenin yaşam biçimlerini, sanat anlayışını ifade eden, kullanılan malzeme türü ile beraber, uygulanan teknik ve estetiğin birleştirilmesi ile ortaya çıkan sanat eserleridir. Takılar geçmişten günümüze kadar bir yatırım aracı olarak kullanılmakla birlikte statü göstergesi, süslenme isteği ile giyilen elbiseleri tamamlayan birer aksesuar olarak ta kullanılmışlardır (Korkar, 2016).

Takılar erkek ve kadın takıları olarak ikiye ayrılmaktadır. Erkeklerin kullandığı takılar kadınların kullandığı takılara göre sınırlıdır. Bunlar tespih, yüzük, kravat iğnesi, yaka iğnesi, bileklik, zincir kolyeler vb.

Kadınların kullandığı takılar ise; Yüzük, kolye, küpe, gerdanlık, hızman, saç tokası, broş, bileklik, bilezik, halhal, hızman, pirsing, Takı eldiven, pazubent, taç vb. (Fırat, 2010). Şekil 3.12’de Gümüş metali ile yapılan bazı takılar gösterilmiştir.



Şekil 3. 12. Gümüş elementi ile yapılan bazı takı çeşitleri

3.2.4. Gümüş takı üretim teknikleri

Eski çağlardan günümüze kadar çeşitli yöntemlerle takı üretimi gerçekleştirilmiştir. Özellikle değerli metaller olan altın gümüş ve platin metalleri ile takı üretiminde ve bunların çeşitli değerli taş veya yarı değerli taşlarla süslenmesiyle ilgili çeşitli yöntem ve teknikler geliştirilmiştir. Günümüzde de teknolojik imkanlardan faydalanarak yeni yöntemler geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu üretim tekniklerini döküm, tel ve levha şekillendirme olarak gruplamak mümkündür.

Takı yapımı için pek çok üretim ve süsleme tekniği mevcuttur. Bunlardan en önemli ve yaygın kullanılan teknikler döküm, dövme, kaplama tekniği, repousse tekniği, telkâri tekniği, döküm tekniklerinden biri olan kayıp mum tekniği, ajur tekniği, yaldızlama, granüle tekniği, mıhlama, savat, mine ve kakma tekniği olarak ifade edilebilir.

Gümüş takı süsleme tekniklerinden ziyade gümüş takı üretim teknikleri üzerinde durulacaktır. Bazı takı süsleme teknikleri aynı zamanda takı üretim tekniği de olabiliyor (Dili, 2011). Yaygın bazı takı üretim teknikleri şu şekilde sıralanabilir:

3.2.4.1. Dövme tekniği

Maden işleme tekniklerinden en önemlileri maden dövme ve madeni dökme tekniklerdir. Maden dövme tekniği metalürjinin gelişimi ile orantılıdır. Dövme yönteminde tavlama büyük önem arz etmektedir. Madenin yüksek ısılarda yumuşatılması ve soğuduktan sonra veya henüz soğutulmadan çekiç vb. el aletleri ile şekil verilmesi prensibine dayanır. Metal işlendikçe sertliğin geri kazanır. Dövme tekniğinde tavlama önemli bir yer tutmaktadır. Dövme tekniğinde iki tip üretim modeli vardır. Çökertme ve yükseltme olarak adlandırılırlar. Bu tekniklerle istenilen form elde edildikten sonra çeşitli kesici aletler, örsler ve çekiçler yardımıyla yüzey üzerinde motif ve süslemeler yapılır (Er, 2012). Tavlama kuyumculuk sektöründe de sıkça uygulanan yöntemlerden biridir. Özellikle bakır ile alaşımı olan gümüş metalinin işlenmeden önce yumuşamasını sağlamak için tavlama işlemi uygulanmaktadır. Şekil 3.13’ te dövme tekniği ile üretilmiş bir kap gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dövme tekniği kullanılarak üretilmiş kap (Sarıkaya, 2009)

3.2.4.2. Döküm Tekniği

Döküm yöntemi sıvı metal ve alaşımlarına şekil verme olarak tanımlanabilir. Bu yöntem ile parça üretimi birçok aşamadan meydana gelebilmektedir. Bu aşamalardan biri parçanın mühendislik özelliklerini sağlaması gereken alaşımını tasarlamasıdır.

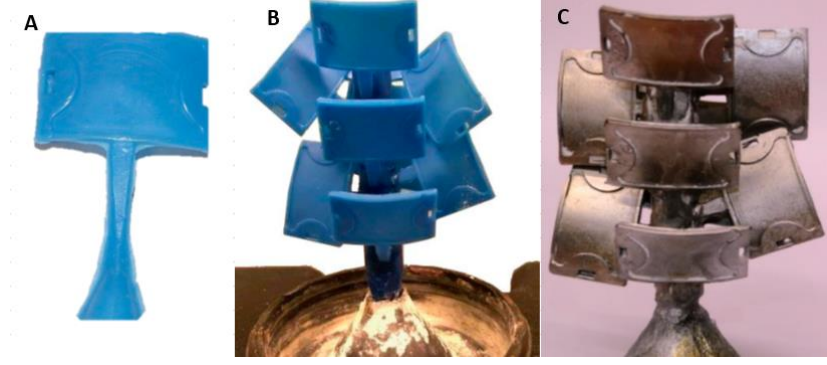
Bir diğer aşama ise eritilen metalin kalıp boşluğuna kusursuz bir şekilde dolması ve sıvı metalin katılaşması esnasında kalıp içerisinde boşluk oluşmamasıdır. Bunu sağlayabilmek için besleme ve yollukların kusursuz tasarlanması gerekmektedir. Üretim parçalarının besleyici ve yolluklarla uyumu döküm tasarımı olarak ifade edilir.

İdeal döküm tasarımı için önemli iki kriter sayılabilir. Birinci kriter uygulanan dökümün kalitesi, diğer kriter ise verimliliğidir (Kayıkçı ve Akar,2007).

3.2.4.2.1. Alçı kalıp

Kuyumculukta kullanılan alçı kalıp tekniği aynı zamanda kayıp mum tekniği olarak ta adlandırılmaktadır. Burada amaç hazır bir modelin ya da model mumları ile hazırlanan bir modelin mum kalıplarını çıkararak alçı kalıbını oluşturmaktır. Hazırlanan alçı kalıp içine eriyik metal dökülerek modelin birçok kopyası çıkarılmış olur. Kayıp mum tekniğinin işlem basamakları şu şekilde sıralanabilir.

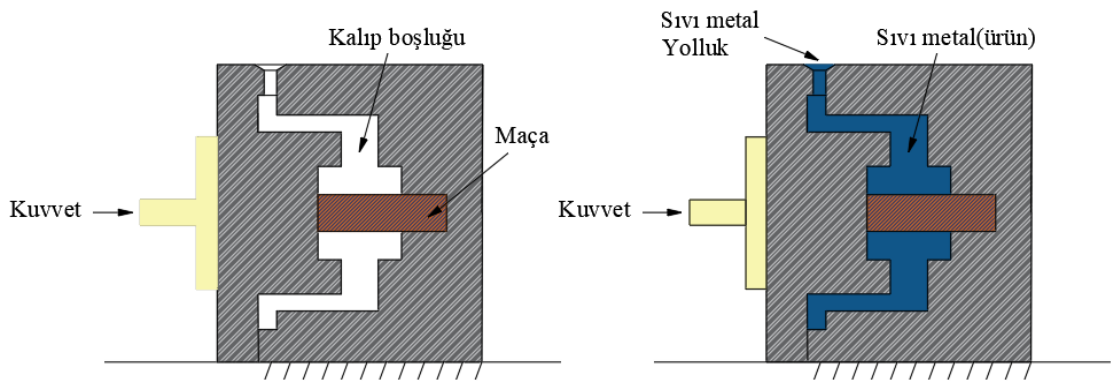
Öncelikle alçı kalıbın model çalışması yapılır. Eskiz çalışması yapılarak model tasarlanır. Hazırda metal olarak model varsa tasarıma gerek yoktur. İkinci işlem olarak tasarımı yapılan ve örneği hazırlanmış olan model için kauçuk kalıp hazırlanır. Bu örnek model mumdan hazırlanmış olabileceği gibi hazır metal örnek te olabilir. Hazırlanan kauçuk kalıp uygun şekilde kesilerek örnek model çıkarılır ve kalıp oluşturulmuş olur. Bu işlemin ardından mum basma işlemine geçilir ve modelin birçok mum kopyası çıkarılır. Çıkarılan bu mumlar mum ağacı olarak dizilir ve kalıp derecesi içine yerleştirilerek alçı dökülür. Fırınlanan kalıpta alçı sertleşirken mum eriyip akar ve kalıp işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu kalıp içerisine eriyik halde değerli metal dökülerek modelin birçok kopyası çıkarılır. Son olarak tesviye ve parlatma işlemi yapılır (Kiraz ve ark., 2018). Şekil 3.14'te kayıp mum tekniği ve üretilen takı gösterilmiştir. A'daki resimde kauçuk kalıptan çıkan modelin kopyası mum olarak çıkarılmıştır. B'deki resimde mum modeller mum ağacı olacak şekilde alt derecede dizilmiştir. C'deki Resimde ise Alçı kalıba dökülen metalin alçı kalıptan çıkarıldıktan sonraki hali gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Kayıp mum tekniği uygulanarak alçı kalıptan üretilmiş metal ürün (Czarnecka-Komorowska ve ark., 2020)

3.2.4.2.2. Kokil kalıp

Kokil kalıplar daha düzgün yüzey kalitesi elde etme, boyut hassasiyetinin yüksek olması böylece istenilen boyutlarda üretim imkânı, işleme maliyetlerinin az olması nedeniyle tercih edilen kalıplardır. Kum kalıba kıyasla daha kompleks çokça şekilli parçaları üretmeye uygundur. Hassas ölçülerde uygun parçalar elde edilebilir. Ancak kum kalıba kıyasla en büyük dezavantajı metal kalıpların hazırlanmasının zor ve maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Çok sayıda seri parça üretimine uygundur. Çalışma prensibi, sıvı halinde eritilmiş metalin kokil adı verilen kalıplara boşaltılması ve sıvının kalıp boşluğundaki şekli almasıdır. Kalıpta tahliye hava boruları mevcuttur. Sıvı metal kalıp içerisinde katılaştıktan sonra maçalar yardımıyla dışarı atılır (Odabaşı, 2004). Şekil 3.15'te kokil kalıbın şematik gösterimi verilmiştir.

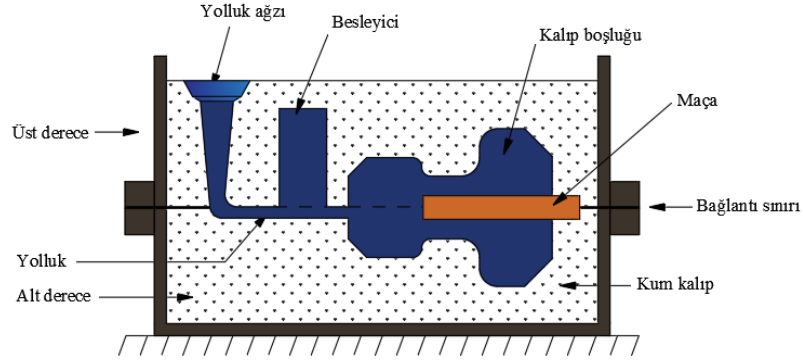


Şekil 3.15. Kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi (Uygun, 2018)

3.2.4.2.3. Kum kalıp

Kum kalıp döküm yöntemi sıkça kullanılan döküm yöntemlerinden biridir. Yüksek sıcaklıklarda eriyebilen metal veya alaşımlar kum kalıpta dökülebilmektedir. Küçük veya büyük boyutlardaki parçalar rahatlıkla kum kalıpta üretilmektedir. Çoklu parça üretimine de uygundur. İşlem sırası olarak öncelikle kum kalıp için model hazırlanır, plastik, ahşap ya da metal model kullanılabilir. Maça kullanılacaksa model ile beraber aynı anda maçada yapılır, iki parçadan oluşan kalıp, alt derece ve üst derece olmak üzere hazırlanır, açılan yolluk ağzı ve yolluklarla kalıbın içerisine eritilmiş metal dökülür, Kısa bir soğuma zamanından sonra kalıp bozulur ve kalıplanmış ürün çıkarılır. En son olarak temizleme işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 3.16'da kum kalıp şeması gösterilmiştir. Kum kalıpta kullanılan elemanlar ve üretim şekli belirtilmiştir (Uygun, 2018).



Şekil 3.16. Kum kalıbı şeması uygulama örneği (Uygun, 2018)

3.2.4.3. Telkâri tekniği

İnceltilmiş gümüş ya da altın tellerin çift denilen el aleti yardımıyla kıvrılması, sarılması, desen oluşturulması ve bunun sonucunda ortaya çıkan dantele benzeyen takıların yapım işlemlerine verilen isimdir. Farsça kelimedenden türetilmiştir. Batıda Filigree olarak bilinmektedir. Telkâri tekniğine aynı zamanda Vav işi de denilmektedir. Vav işi denilmesinin sebebi iç dolgu çeşitlerinden biri olan vav şeklinin çokça kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Telkâriye ayrıca çift işi de denilmektedir. Mardin ve Midyat bölgesinde uzun yıllardır uygulanan özellikle gümüş takı üretim tekniğidir (Kamiloğlu,2009).

Telkâri tekniğinde çatı ve iç dolgu için farklı ölçülerde tel hazırlanmaktadır. İç dolgu için daha ince çapta olduğundan elmas haddelerden geçirilen gümüş ya da altın tel daha sonra silindirde ezilerek hazırlanır. Çatı teli ise kalıptan çıkarılan çubuğun silindir makinesinde haddeden geçirilmesi sonucu istenilen inceliğe geldikten sonra silindirden ezilmesi ile elde edilir. Elde edilen teller çift denilen el aleti yardımı ile şekillendirilir. Çatısı oluşturulan takı iç dolgu ile doldurulduktan sonra kaynak işlemine geçilir. Tüm işlemlerden sonra parlatma ve cilalama işlemleri uygulanır. Şekil 3.17’de telkâri tekniği uygulanarak üretilmiş gümüş kemer, broş ve mücevher kutusu gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Telkari tekniği uygulanarak üretilmiş bazı gümüş takılar

3.2.4.4. Ajur tekniği

Delik işi de denilen bu teknikte metal astar veya yüzeylerin üzerine yapılmak istenen desen, figür, motif ya da şekillerin çizilerek kesici aletlerle metal yüzeyin boşaltılması işlemidir. Yüzey üzerine bazen kesici aletlerle markalama işlemi uygulanabildiği gibi bilgisayar çıktılarının yüzey üzerine yapıştırılmasıyla da uygulanabilir. Yüzey üzerine çizilen bu desenler zemin üzerinden çıkarıldığı gibi bazen zemin bırakılıp şekil çıkartılabilmektedir. Kesme işlemlerinden sonra tesviye işlemi gerçekleştirilir, pürüzlü kısımlar zımparalanır ya da eğelenir En son işlem olarak cila makinasında parlatılırlar (Sarıkaya, 2009). Şekil 3.18’de Ajur tekniği uygulanmış kolye ucu gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Ajur tekniği uygulanarak üretilmiş kolye ucu takı (Sarıkaya, 2009)

3.2.4.5. Repousse tekniği

Repousse tekniği kakma ve kabartma tekniklerinden biridir. Takı yapımında kullanılmakla birlikte takı süslemesinde de kullanılan bir tekniktir. Yumuşaması için önceden tavlanan metal levha balmumu, zift veya kilden yapılan yumuşak bir zemin üzerine konur. Bu teknikte kullanılan metal kalemler çekiç yardımıyla levha üzerine kabartma ve desenler oluşturur. Levhanın yumuşak zemine konma sebebi çekiç darbelerini absorbe ederek levhanın zarar görmesini engellemektir. Levha arkasından uygulanan işleme kabartma denmektedir. Levhanın üzerinden yapılan uygulamaya ise işleme denmektedir. Kakma tekniği olarak ta isimlendirilmektedir. Bu uygulama için çeşitli şekillerde kalemler mevcuttur (Dili, 2011). Şekil 3.19’da Repousse tekniğinin uygulaması görsel olarak verilmiştir.



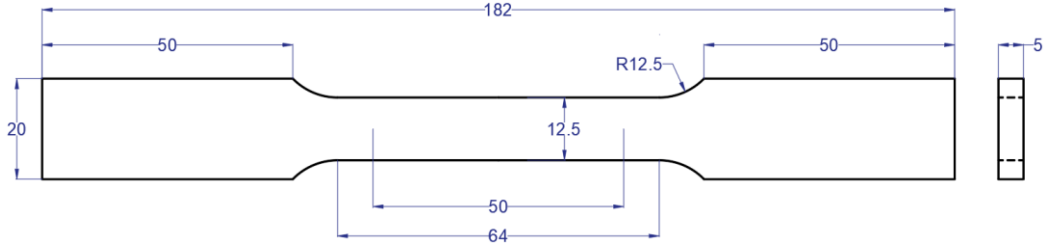
Şekil 3.19. Repousse tekniği uygulaması (Codina, 2000)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada gümüş takılarda kullanılan 925 ayar gümüş-bakır alaşımına gümüş nanopartikül ilave edilmesi halinde malzemenin göstereceği mekanik davranışlar incelenmiştir. Bu çalışma için iki grup test numunesi hazırlanmıştır. Birinci grupta geleneksel döküm yöntemleriyle elde edilen ve içerisinde %92,5 oranında has gümüş ile beraber %7,5 oranında saf bakır ihtiva eden 925 ayar gümüş numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler çekme deneyi için ASTM E8/E8M metal malzeme standartlarına uygun ölçülerde hazırlanmıştır. Eğme deneyi için ASTM E290-14 metal malzeme standart ölçülerine uygun deney numuneleri hazırlanmıştır. Ayrıca sertlik deneyi için ASTM E10-00 metal malzeme standart ölçülerine uygun test numuneleri elde edilmiştir. İkinci grupta ise yine standartlara uygun kapalı ve vakumlu döküm makinasında 925 ayar olacak şekilde gümüş-bakır alaşımına %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında 20 nm ölçüsünde 99,99 ayar saf gümüş nanotoz ilave edilerek çekme deneyi, eğme deneyi ve sertlik deneyi için test numuneleri hazırlanmıştır. Döküm yöntemleriyle üretilen ve piyasada Sterling silver’da denilen 925 ayar gümüş numuneler ile gümüş nanotoz ilave edilerek hazırlanan 925 ayar gümüş numunelerin mekanik testlerden elde edilen verileri karşılaştırılmıştır. Bunlara ilave olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak nümerik analiz yapılmıştır. Nümerik analiz için ANSYS Workbench yazılımı kullanılmıştır. Analiz için AutoCAD çizim programında modeller oluşturulmuştur. Tek eksen çekme deneyinden elde edilen gerçek gerilim ve gerçek uzama verileri kullanılmıştır. Bu modeller ve elde edilen veriler ANSYS yazılım programına aktarılmış olup çekme deneyi statik analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler tek eksenli çekme deneyinde elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

4.1. Tek eksenli çekme deneyi

Tek eksenli yapılan çekme deneyi için iki grup deney numunesi hazırlanmıştır. İki grup deney numunesi ASTM E8/E8M standart ölçülerine uygun olarak döküm yöntemleriyle üretilmiştir. İlk grup için geleneksel döküm yöntemi kullanılarak 3 adet çekme deneyi numunesi üretilmiştir. İkinci grup için ise gümüş nanotoz ilaveli ve 4 ayrı oranda (%0,5, %1, %1,5 ve %2) olmak üzere 12 adet çekme deneyi numuneleri üretilmiştir. Şekil 4.1’de ASTM E8/E8M çekme deneyi için standart ölçüler teknik resimde verilmiştir.



Şekil 4.1. ASTM E8/E8M metal numune standart ölçüleri (American Society for Testing and Materials, 1999)

Çekme deneyi, sabit hızda hareket eden iki çene arasına yerleştirilen test numunesine numune kopana kadar bir kuvvet uygulanması prensibine dayanır. Test edilen numuneler sonucunda cihazın kaydettiği veriler ile beraber aşağıdaki denklemler kullanılarak istenilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Çekme deneyi ile beraber test edilen numune sonucunda kuvvet(F) ve uzama(ΔL) eğrisi elde edilmiş olur. Ancak asıl kabul görülen Gerilme-Uzama eğrisidir. Bunun yanısıra malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma dayanımı ve çekme dayanımı gibi değerlerler ile birlikte mukavemet, tokluk ve süneklik gibi özellikler de belirlenmektedir. Tek eksenli çekme deneyi için faydalanan parametreler aşağıda belirtilmiştir.

Denklem (4.1)'de malzemenin akma dayanımı, akma kuvvetinin malzemenin ilk kesit alanına bölünmesiyle elde edilir.

$$\sigma_a = F_a / A_0 \quad (4.1)$$

Denklem (4,2)'de teste tabi tutulan malzemenin kopuncaya kadar ya da kırılıncaya dayanabileceği maksimum çekme gerilmesini gösterir. Burada ($\sigma_{\text{ç}}$) çekme gerilmesi, (F_{maks}) ise malzemeye uygulanmış en büyük kuvvet değeridir. (A_0) ise malzemenin ilk kesit alanıdır. Bu denklemle malzemenin kayma gerilmesi ($\sigma_{\text{ç}}$) tespit edilmiştir.

$$\sigma_{\text{ç}} = F_{\text{maks}} / A_0 \quad (4.2)$$

Denklem (4,3)'te çekme deneyine tabi tutulan malzemede meydana gelecek boy değişimini göstermektedir.

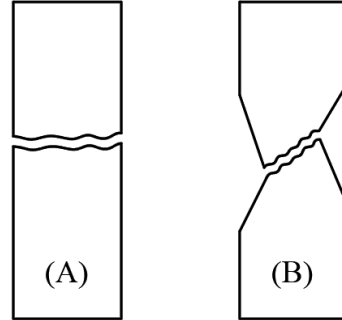
Burada (ΔL) Boy farkını, (L) deney sonunda kopmadan sonra test numunesinin son boyunu ifade eder, (L_0) ise test numunesinin ilk boyunu ifade eder. Bu denklemle test numunesinin uzama miktarı tespit edildi. Numune üstündeki % olarak uzama miktarı ise (ε) numune üzerindeki boy farkının (ΔL) numunenin ilk boyuna oranı ile bulunur.

$$\Delta L = L - L_0 \quad \varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (4.3)$$

Denklem (4.4)'te young modülünü yani elastik deformasyon bölgesini veren formül gösterilmiştir. Young modülü yani elastisite modülü malzemenin sertliğini bulmak için kullanılır. Formülde; (E) young modülü, (F) kuvvet, (σ) Normal gerilme, (ε) birim uzamadır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ ise } \Rightarrow E = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} \quad (4.4)$$

Şekil 4.2'de Çekme testi sonucunda malzemelerin kırılma şekilleri gösterilmiştir. (A) şeklinde kırılma neticesinde büzülme olmadığından gevrek malzeme olarak nitelendirilir. (B) şeklinde ise büzülme olduğundan sünek malzeme olarak adlandırılır.



Şekil 4.2. Çekme deneyi cihazında test edildikten sonra malzemede oluşan kırılma şekilleri

4.1.1. Birinci grup çekme deneyi numunesin hazırlanması

Birinci grup olan 925 ayar çekme deneyi numunesi için öncelikle kalıba dökülecek metal miktarı hesaplandı. 925 ayar gümüş alaşım için %92,5 has gümüş ve %7,5 saf bakır olacak şekilde alaşıma girecek gümüş ve bakır miktarı belirlendi. Bir adet deney numunesi için kullanılacak astar kalıbı hacmine göre 200 gr belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de 200 gramda kullanılacak has gümüş ve saf bakır miktarı gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 925 Ayar gümüş alaşım oranı ve miktarları

925 Ayar gümüş alaşımı oranı	Has gümüş miktarı	Saf bakır miktarı	Toplam Alaşım miktarı	Adet
%92,5 Has gümüş %7,5 Saf Bakır	185 gr	15 gr	200 gr	1 adet

Miktarları belirlenen elementler karıştırılarak eritme potasına konuldu. Şekil 4.3’de has gümüş ve saf bakırın eritme potasına konulması gösterilmiştir. Eritme potası indüksiyonlu eritme ocağı makinesine yerleştirildi. 7 kW güce sahip ve maksimum ısı sınırı 1250°C olan indüksiyonlu eritme ocağı kullanıldı. Şekil 4.4’te indüksiyonlu eritme ocağı ve 5mm kalınlığa ve 185 cm yüksekliğe ayarlanmış astar kalıbı gösterilmiştir. Ergime noktası 961,9°C has gümüş ile ergime noktası 1083°C olan saf bakır için yaklaşık 1100°C sıcaklığa ayarlandı. Eriyen bakır ve gümüş ateşe dayanıklı olan ve emaye kaplı kömürden imal edilen karıştırma çubuğu ile karıştırılarak homojen dağılımı sağlandı. Homojen haline getirilen gümüş bakır alaşımı eritme potasında kalınlık ayarı 5 mm olan astar kalıbına döküldü. Alaşım soğuduktan ve katılaştıktan sonra astar kalıbından çubuk olarak çıkarıldı. Şekil 4.5’te eritilmiş alaşımın astar kalıbına dökülmesi ve katılaştıran sıvı alaşım çubuğun kalıptan çıkarılması gösterilmiştir.

**Şekil 4.3.** Has gümüş ve saf bakırın eritme potasına alınması



Şekil 4.4. İndüksiyonlu döküm makinası ve astar kalıbı



Şekil 4.5. Eritilmiş alaşımın astar kalıba dökülmesi ve kalıptan alaşım çubuğun çıkarılması

Astar kalıbından çıkarılan alaşım çubuk Mardin Artuklu Üniversitesi kuyumculuk atölyesinde bulunan 50 W güce sahip, dalga boyu 1064 mm olan , 250x250x60 mm çalışma alanına sahip olan ve maksimum frekansı 100 KHz olan lazer yazma ve kesme makinasında markalama işlemi gerçekleştirildi. Markalama işleminden sonra talaşlı imalat yöntemleriyle parça kesildi. Tesviye işlemlerinden sonra deney numunesi standart ölçülere uygun şekilde hazır hale getirildi. Şekil 4.6'te hazır hale getirilmiş üç adet 925 ayar gümüş çekme deneyi numunesi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çekme deneyi için 925 ayar alaşım gümüş numuneleri

4.1.2. İkinci grup çekme deneyi numunesinin hazırlanması

Çekme deneyi numuneleri için gümüş nanotoz ilave edilecek oranlar ve karışım miktarları belirlendikten sonra Nanokar firmasından gümüş nanotoz satın alınmıştır. Şekil 4.7’de %99,99 saf ve 20 nm ölçeğinde gümüş nanotozun fiziksel görüntüsü verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.2’de kullanılan gümüş nanotozun fiziksel özellikleri belirtilmiştir. Çekme deney numuneleri için ilave edilecek gümüş nanotoz oranları %0,5, %1, %1,5 ve %2 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3’te gümüş nanotozun ilave oranlarına göre numunelerin karışım miktarları tespit edilmiş ve liste halinde verilmiştir. Şekil 4.8’de ise karışımda kullanılacak gümüş nanotoz, has gümüş ve saf bakırın alaşımında kullanılacak miktarları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. %99,99 saflıkta 20 nm ölçüsünde gümüş Nanotoz

Çizelge 4.2. Gümüş nanotozun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anonim 5, 2021)

Nanopartikül Fiziksel özellikleri	
Gümüş Nanopartikül Saflık (%)	99,99
pH oranı	7,0
Ortalama Partikül Boyutu (Nm)	20 nm
Fiziksel	toz
Renk	gri

Çizelge 4.3. Gümüş nanotozun ilave oranlarına göre numunelerin karışım miktarları

Gümüş Nanotoz ilave oranı	Has gümüş miktarı	20 Nm %99,9 Gümüş nanotoz miktarı	Saf bakır miktarı	Toplam Alaşım miktarı	Adet
%0,5	184,075 gr	0,925 gr	15 gr	200 gr	1 adet
	552,225 gr	2,775 gr	45 gr	600gr	3 adet
%1	183,15 gr	1,85 gr	15 gr	200 gr	1 adet
	549,45 gr	5,55 gr	45 gr	600gr	3 adet
%1,5	182,225 gr	2,775 gr	15 gr	200 gr	1 adet
	546,675 gr	8,325 gr	45 gr	600gr	3 adet
%2	181,3 gr	3,7 gr	15 gr	200 gr	1 adet
	543,9 gr	11,1 gr	45 gr	600gr	3 adet

**Şekil 4.8.** Karışım için hazırlanan has gümüş, gümüş nanotoz ve saf bakır

Gümüş nanotoz, has gümüş ve saf bakırın döküm işlemi için kapalı döküm sistemi tercih edilmiştir. Kuyumculuk sektöründe faaliyet gösteren bir atölyede vakumlu döküm makinesinde döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9’da Vakumlu döküm makinası ve eritme haznesi gösterilmiştir. Çizelge 4.4’te ise dökümde kullanılan bu makinenin teknik özellikleri makinenin üretildiği firmanın web sayfasından alınarak çizelge halinde gösterilmiştir. Kapalı döküm makinası tercih edilmesinin en büyük sebebi nanotozun boyutundan dolayı havaya dağılması ve yanma esnasında tozun büyük bir miktarının karışıma dahil olmadan yanarak fire vermesidir. Ayrıca havaya karışması neticesinde solunması ve cilde teması sağlık açısından da riskler oluşturmaktadır. Belirlenen gümüş nanotoz, saf bakır ve has gümüş eritme haznesine alınarak 1100 °C’de eritilmiştir. 925 ayar gümüş alaşımı haline getirilmiştir. Bu alaşım 5mm kalınlığında ve 200mm yüksekliğindeki astar kalıbına dökülmüştür. Alaşım donduktan sonra astar kalıbından çıkarılmış ve lazer yazıcı ve kesici makinesi ile ASTM E8/E8M metal malzeme standart ölçülerine uygun olarak markalanmıştır. Markalanan numuneler talaşlı imalat teknikleri kullanılarak kesilmiş ve tesviye edilerek standart numune ölçülerine getirilmiştir. Şekil 4.10’da kesilip tesviye edildikten sonra deneye hazır gümüş nanotoz ilaveli 925 ayar gümüş numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Vakumlu döküm makinası ve eritme haznesi

Çizelge 4.4. Vakumlu döküm makinası teknik özellikleri (Anonim 6, 2021)

Vakumlu Döküm makinası (Topcast engineering TVC Vacuum Engineering Casting Machine)	
Döküm programlarının sayısı	100
Pota çalışma kapasitesi	250g Gümüş
Kazan maksimum çap	90 mm
Kazan maksimum yükseklik	120 mm
İndüksiyon ısıtma gücü	2.5 kW
Vakum pompası	Ekstra 4 m ³ /h
Vakum üzerinde basınç	3 bar
Maksimum sıcaklık	1250°C

**Şekil 4.10.** Çekme deneyi için 20 nm gümüş nanotoz ilaveli 925 ayar alaşım gümüş numuneleri

4.1.3. Tek eksenli çekme deneyinin yapılışı

Tek eksenli çekme deneyi Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarındaki Instron 8801 marka çekme deneyi cihazında yapılmıştır. 5mm/dk sabit hızda ve ortam sıcaklığı 23 ± 2 °C derecede 100 kN dinamik yük kapasitesine sahip cihazda test numuneleri denemiştir. Deneme sonucunda çekme yükü ile beraber uzama değerleri tespit edilmiştir.

Çekme deneyi için veriler denklemler kullanılarak birim uzamaları ve gerilme değerleri hesaplanmıştır. Gerilme ve uzama(σ - ϵ) eğrileri deney cihazında kaydedilen verilerle tespit edilmiştir. Şekil 4.11’de İnstron marka çekme deneyi cihazı ve çenelerin kavradığı test numunesi verilmiştir. Çizelge 4.5’te Çekme deneyi cihazına ait teknik bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.11. Çekme deneyi makinesi ve çeneler içine yerleştirilmiş deney numunesi

Çizelge 4.5. İnstron 8801 marka çekme deneyi makinesi teknik özellikleri (Anonim 7, 2021)

İnstron 8801 çekme deneyi test cihazı	
Dinamik yük kapasitesi	± 100 kN
Aktüatör strok	150 mm
Sütun sayısı	2
Aktüatör konumu	Temel
Çerçeve sertliği	390 kN/mm
Maksimum çerçeve ağırlığı	625 kg

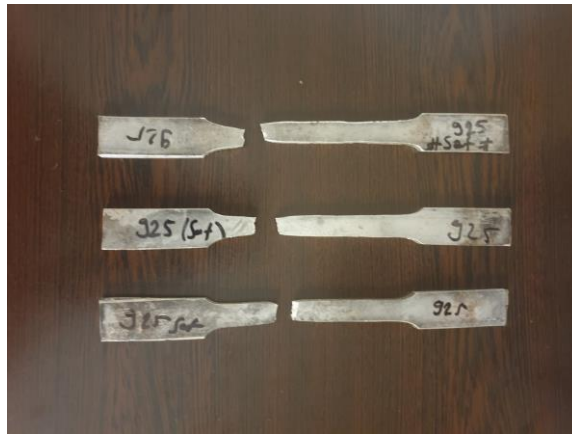
Çekme deneyi için öncelikle 1. Grup olan 925 ayarında (gümüş nanotoz ilavesiz) numuneler test edilmiştir. 3 adet numune test edilmiştir. Test için cihaz çene hızları 5mm/dk sabit hızda ayarlanarak tüm deney numunelerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Ardından ikinci grup çekme testi deneyine geçilmiştir.

Bu grupta %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında 20 nm ölçüsünde %99,99 saf gümüş nanotoz ilave edilmiş numune çubuklar test edilmiştir. Her bir çubuk grubu için 3'er adet olmak üzere 12 adet numune denenmiştir. Bu grup içinde çene hızları 5mm/dk sabit hızda olacak şekilde tüm test çubuklarına uygulanmıştır. Elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Elde edilen bu verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.12'de Çekme deneyi cihazına bağlanmış olan bir test çubuğunun test bittikten sonraki hali gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Çekme deneyi cihazında test edilmiş test numunesi

Şekil 4.13 ve şekil 4.14'te tek eksenli çekme deneyi sonucunda test numunelerinin kırılmış görüntüleri verilmiştir.



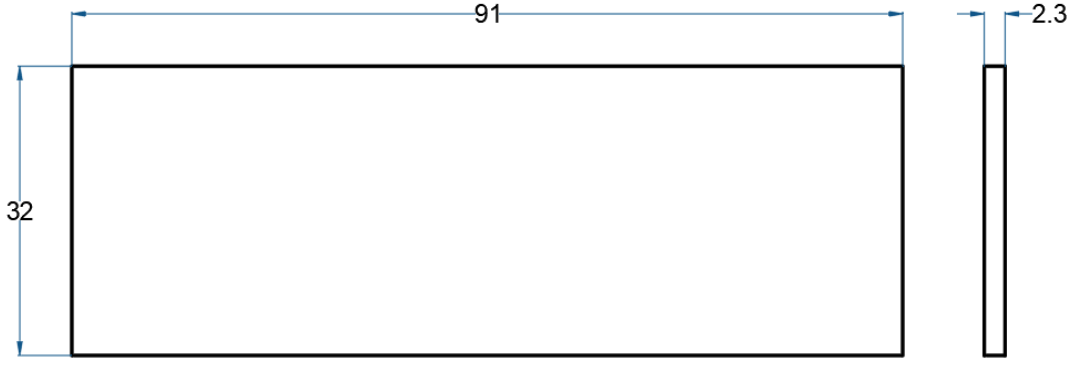
Şekil 4.13. Çekme deneyi cihazında test edilmiş birinci grup numuneler



Şekil 4.14. Çekme deneyi cihazında test edilmiş ikinci grup numuneler

4.2. Üç nokta eğme deneyi

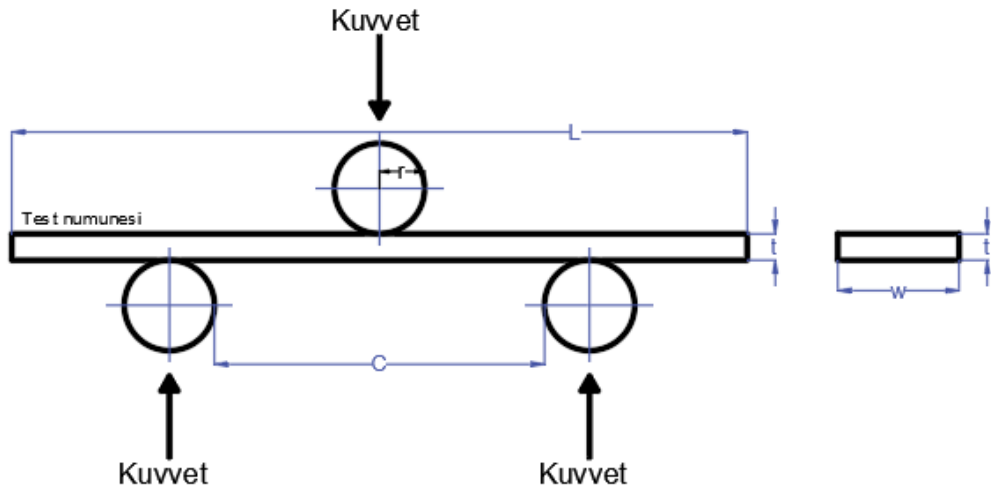
Eğme deneyinin yapılma amacı kullanılacak malzemenin mukavemeti hakkında bilgi edinmek ve malzemenin eğilme durumuna karşı mekanik özelliklerini tespit etmektir. Bu deney iki grup test numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birinci grup için çekme deneyi testinde olduğu gibi öncelikle 925 ayar gümüş alaşımı hazırlanması için döküm yöntemi kullanılmıştır. %92,5 has gümüş ve %7,5 saf bakır ihtiva eden bu alaşımda 3 adet test numunesi hazırlanmıştır. İkinci grup test numuneleri için gümüş nanotozu kullanıldığından kapalı haznesi olan vakumlu döküm makinesi tercih edilmiştir. Bu grupta belirlenmiş oranlarda (%0,5, %1, %1,5 ve %2) gümüş nanotoz içeren ve yine 925 ayar olan 12 adet test numunesi hazırlanmıştır. İki grup içinde ASTM E290 standardına uygun ölçüler belirlenmiştir. Belirlenen ölçüler 91x32x2,4(mm) ebatlarındadır. Şekil 4.15'te ASTM E290 standardına uygun olarak kullanılan test numune ölçüleri teknik resim olarak verilmiştir.



Şekil 4.15. ASTM E290 standartlarına uygun eğme deneyi numunesi

Şekil 4.16’da ASTM E290 standartlarına uygun olarak hazırlanmış 3 eksenli eğme deneyi şeması gösterilmiştir. Burda (C) alt mafsallar arası mesafeyi, (r) üst mafsal yarı çapını, (L) deney numunesi uzunluğunu, (t) Deney numunesi kalınlığını, (W) ise deney numunesi genişliğini göstermektedir. Deney cihazında alt mafsallar arası mesafeyi belirlemek için denklem (4.5) ten faydalanılmıştır. Alt mafsallar arası mesafe üst mafsal yarı çapının(r) iki katına ilave olarak numune kalınlığının(t) üç katı eklenir. Tolerans olarakta $\pm t/2$ üst mafsalın yarı çapının yarısı eklenir veya çıkarılır.

$$C = 2r + 3t \pm t/2 \quad (4.5)$$



Şekil 4.16. ASTM E290-14 standardına uygun eğme deneyi şematik resmi

Üç nokta eğme deneyi için faydalanılan parametreler aşağıda belirtilmiştir. Maksimum eğilme gerilmesini hesaplamak için (4.6)’da ki denklemden faydalanılmıştır.

Test edilecek malzeme homojen ve eslatik bir yapıda ise gerilme lazemenin orta noktasında ve dış yüzeyinde meydana gelmektedir. Burda (σ) maksimum gerilmeyi, (F) Yük sehım eğrisi üzerindeki herhangi bir noktadaki kuvvet, (L) iki destek arasındaki mesafe, (b) Malzeme genişliği, (d) malzeme yüksekliğini ifade eder.

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.6)$$

Maksimum şekil değıştirme için 4.7’de ki denklemden faydalanılmıştır. Bu şekil değıştirme malzemenin alt kısmında, desteklerin orta noktasında meydana gelmektedir. (ϵ) Maksimum şekil değıştirmeyi, (D) Malzemedeki maksimum sehimi, (d) Malzemenin kesit yüksekliği, (L) İki destek arası mesafeyi ifade eder.

$$\epsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (4.7)$$

Eğme deneyi numunesine uygulanan kuvvet ve yük neticesinde malzemede eğilme meydana gelmektedir. Bu kuvvet yükü fonksiyonu neticesinde sehım oluşur. Sehım değerin tespit edilmesi için (4.8)’daki denklemden faydalanılmıştır. Sehım (f), (L) mesnetler arası mesafe, (E) elastisite modülü, (I) Kesit atalet momentidir.

$$f = \frac{F.L^3}{48E.I} \quad (4.8)$$

Düzlemsel atalet momenti is (4.9)’deki denklemle bulunmaktadır. Dikdörtgen kesitli bir malzemenin eni (B) ve yüksekliği (H) olmak kaydıyla (I) düzlemsel atalet momenti aşağıdaki formülle bulunur.

$$I = \frac{B.H^3}{12} \quad (4.9)$$

4.2.1. Birinci grup eğme deneyi numunesinin hazırlanması

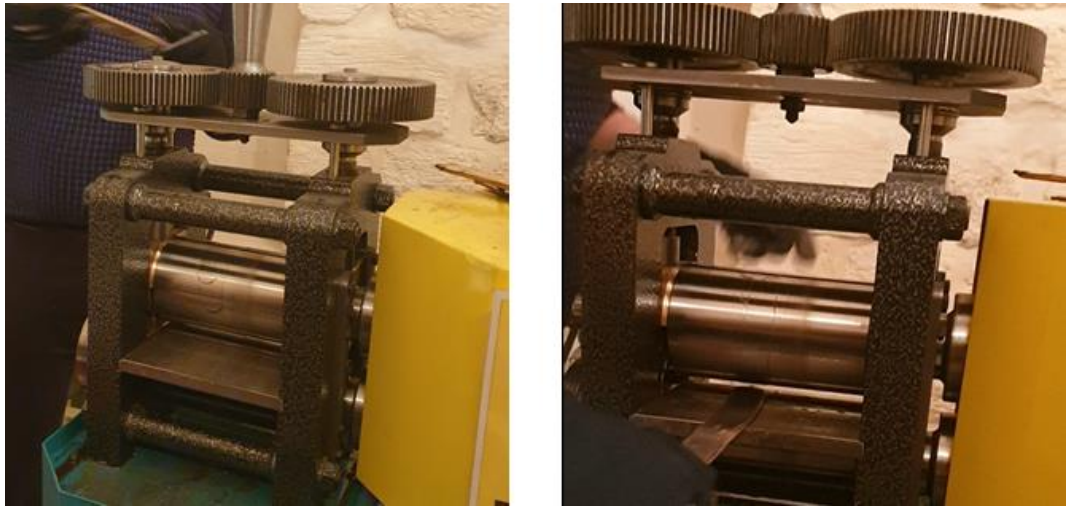
Birinci grup test numunesi için öncelikle kalıba dökülecek metal miktarı hesaplanmıştır. 925 ayar gümüş alaşımı için %92,5 has gümüş ve %7,5 saf bakır oranlı olacak şekilde alaşıma girecek gümüş ve bakır miktarları belirlenmiştir.

Bir adet deney numunesi için dökümde kullanılacak astar kalıbının hacmine göre 100 gr karışım belirlenmiştir. Çizelge 4.6'da 100 gramda kullanılacak has gümüş ve saf bakır miktarı belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. 925 Ayar gümüş alaşım oranı ve miktarları

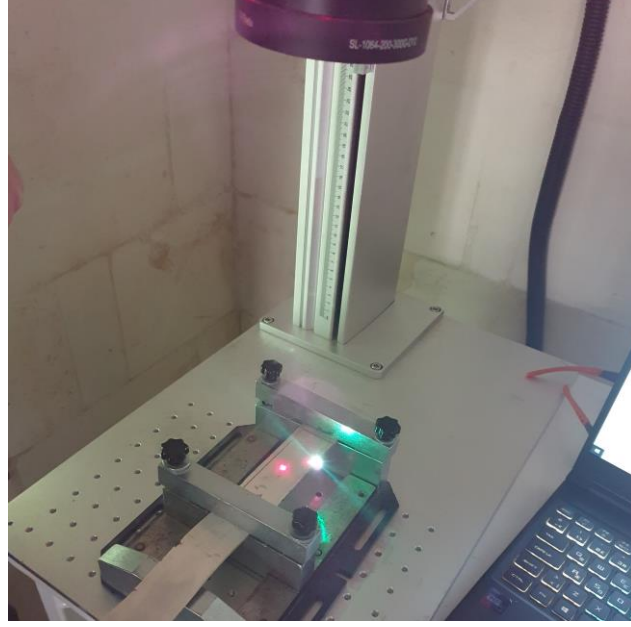
925 Ayar gümüş alaşımı oranı	Has gümüş miktarı	Saf bakır miktarı	Toplam Alaşım miktarı	Adet
%92,5 Has gümüş %7,5 Saf Bakır	92,5 gr	7,5 gr	100 gr	1 adet

Karışım miktarları belirlenen elementler (has gümüş ve saf bakır) eritme potasına alınarak karıştırılmıştır. Çekme deneyi numunesi üretiminde olduğu gibi İçinde karışım bulunan eritme potası 7 kW güce sahip ve maksimum ısı sınırı 1250°C olan indüksiyonlu eritme ocağına alınmıştır. Ergime noktası 961,9°C has gümüş ile ergime noktası 1083°C olan saf bakır için yaklaşık 1100°C sıcaklığa ayarlanmıştır. Eritilen bakır ve gümüş metali ateşe dayanıklı emaye kaplı kömürden meydana gelen karıştırma çubuğu ile homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. İyice karıştırılan karışım 2,4 mm sac kalınlığa getirileceğinden 7 mm kalınlıktaki ve 140 mm yüksekliğindeki astar kalıbına dökülmüştür. Astar kalıbının eni 35 olarak ayarlanmıştır. Soğuyan ve astar kalıbının şeklini alan alaşım kalıptan çıkarılmıştır. 7 mm kalınlığındaki alaşım numunesi Kuyumculuk atölyesinde bulunan silindir ve tel çekme makinasında 2,4 mm kalınlığa inceltilmiştir. Şekil 4.17'de silindir ve tel çekme makinası ile numunenin inceltilmesi gösterilmiştir.



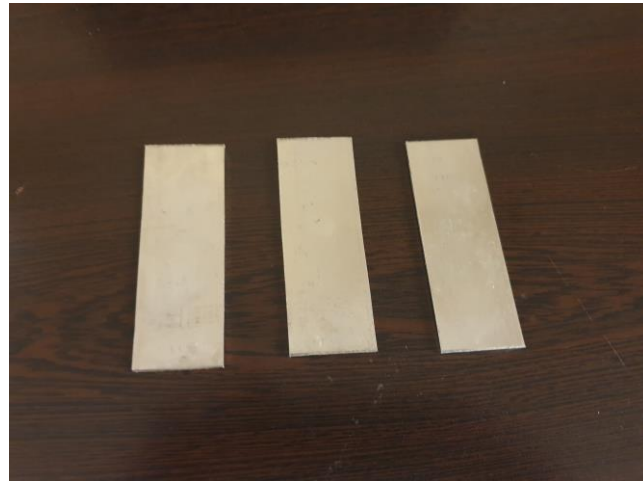
Şekil 4.17. Astar ve silindir makinesi ve numunenin silindir makinasında inceltilmesi

2,4 mm ye inceltlen alaşım sac malzeme kuyumculuk atölyesinde bulunan lazer kesme ve yazma makinesinde kesilerek belirlenen standart ölçölere getirilmiştir. şekil 4.18’de Lazer kesme ve yazma makinasında kesim işlemi gösterilmiştir.



şekil 4.18 Numune için hazırlanan gümüş astarın lazer makinasında kesilmesi

Lazer kesme makinası ile kesilen numune, temizlik ve tesviye işlemlerinden sonra test için hazır hale getirilmiştir. şekil 4.19’da eğme deneyi için hazırlanmış 925 ayar test numuneleri gösterilmiştir.



şekil 4.19. Eğme deneyi için 925 ayar alaşım gümüş numuneleri

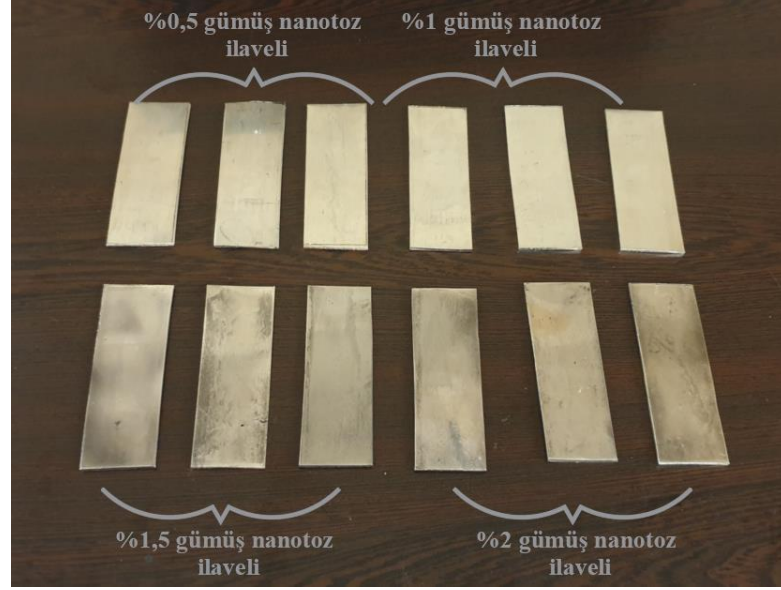
4.2.2. İkinci grup eğme deneyi numunesinin hazırlanması

İkinci grup eğme deneyi numuneleri için karışım miktarları belirlenmiştir. 925 ayar gümüş alaşımı için nanotoz ilave edilecek oranlar ve karışım miktarları belirlendikten sonra Nanokar firmasından %99,99 saf ve 20 nm ölçeğinde gümüş nanotoz satın alınmıştır. Çekme deney numuneleri için ilave edilecek gümüş nanotoz oranları %0,5, %1, %1,5 ve %2 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.7’de gümüş nanotozun ilave oranlarına göre numunelerin karışım miktarları tespit edilmiş ve liste şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.7. Gümüş nanotozun ilave oranlarına göre eğme deneyi numunelerin karışım miktarları

Gümüş Nanotoz ilave oranı	Has gümüş miktarı	20 Nm %99,9 Gümüş nanotoz miktarı	Saf bakır miktarı	Toplam Alaşım miktarı	Adet
%0,5	92,0375 gr	0,4625 gr	7,5 gr	100 gr	1 adet
	276,1125 gr	1,3875 gr	22,5 gr	300gr	3 adet
%1	91,575 gr	0,925 gr	7,5 gr	100 gr	1 adet
	274,725 gr	2,775 gr	22,5 gr	300gr	3 adet
%1,5	91,1125 gr	1,3875 gr	7,5 gr	100 gr	1 adet
	273,3375 gr	4,1625 gr	22,5 gr	300gr	3 adet
%2	90,65 gr	1,85 gr	7,5 gr	100 gr	1 adet
	271,95 gr	5,55 gr	22,5 gr	300gr	3 adet

Bu gümüş ve bakır karışımına gümüş nanotoz ilave edilerek kapalı vakumlu döküm makinası haznesine alınmıştır. 1100 °C sabit sıcaklıkta 925 ayar gümüş alaşımı haline getirilmiştir. Ara ara karıştırma çubuğu ile alaşımın homojen olması sağlanmıştır. Bu alaşım 7mm kalınlığında, 140mm yüksekliğinde ve 35 mm eninde ayarlanan astar kalıbına dökülmüştür. Alaşım soğuduktan ve katılaştıktan sonra astar kalıbından çıkarılmıştır. Silindir ve tel çekme makinası kullanılarak 2,4 mm kalınlıkta astar haline getirilmiştir. Lazer yazıcı ve kesici makinesi ile ASTM E290 standardında belirlenen metal malzeme standart ölçülerine uygun olarak kesilmiştir. Şekil 4.20’de kesilip tesviye edildikten sonra son halini alan gümüş nanotoz ilaveli 925 ayar gümüş eğme deneyi numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Eğme deneyi için nanotoz ilaveli 925 ayar alaşım gümüş numuneleri

4.2.3. Üç nokta eğme deneyinin yapılışı

Tek eksenli çekme deneyi için Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim dalı mekanik laboratuvarındaki Shimadzu AG-IC marka universal eğme deneyi cihazından faydalanılmıştır. 50 kN dinamik yük kapasitesine sahip bu cihazda test numuneleri denemiştir. Alt iki mafsallık üzerine yerleştirilen dikdörtgen kesitli gümüş metal numunenin üzerine 5mm yarı çapındaki üst mafsallık getirilerek sıfırlanmıştır. Alt iki mafsallık aralığını tespit etmek için $C = 2r + 3t \pm t/2$ denkleminde yararlanılmıştır. Üst mafsallık yarı çapı $R = 5$ mm, test numune kalınlığı $t = 2,3$ mm'dir. Yapılan hesaplama ile alt iki mafsallık aralığı $C = 18$ mm olarak bulunmuş ve cihazda gereken ayarlama yapılmıştır. Numuneler üzerine uygulanan yük sayesinde eğilme meydana gelmiştir. Eğme deneyi için denklemlerden yararlanılarak birim şekil değiştirme, maksimum kuvvet ve maksimum gerilmeler hesaplanmıştır. Şekil 4.21'de Shimadzu AG-IC marka universal eğme deneyi cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Eğme deneyi makinesi ve mafsallar arasına yerleştirilmiş deney numunesi

Üç nokta eğme deneyinde ilk olarak 1. Grupta olan üç adet nanotoz ilavesiz 925 ayar gümüş numuneler test edilmiştir. Eğme testi için cihaz 2 mm/dk sabit hızda ayarlanarak tüm numunelere uygulanmıştır. İkinci olarak çeşitli oranlarda (%0,5, %1, %1,5 ve %2) %99,99 saflıkta nanotoz ilave edilmiş 12 adet 2. Grup deney numuneleri yine 2 mm/dk sabit hızda tüm numunelere uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların ortalaması alınmış ve diğer test numunelerinin sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.22’de üç nokta eğme deneyi cihazına bağlanmış test çubukları gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Eğme test cihazında makineye yerleştirilmiş test numunesi

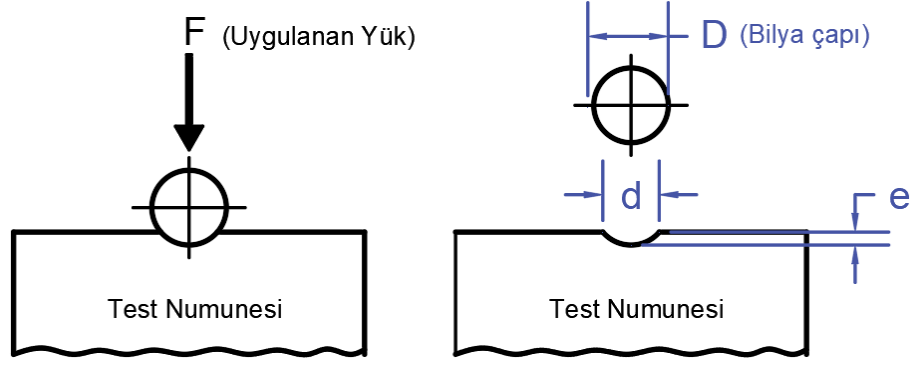
Şekil 4.23'te üç nokta eğme deneyi cihazında test edilmiş bazı numuneler gösterilmiştir.



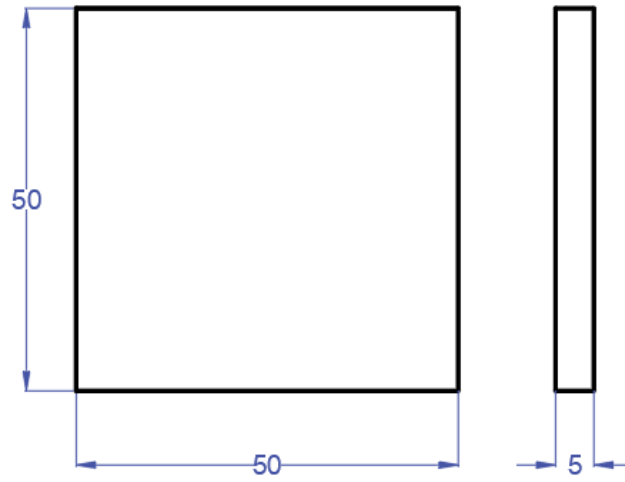
Şekil 4.23. Shimadzu AG-IC universal test cihazında test edilmiş numuneler

4.3. Sertlik deneyi

Bu malzeme deneyinde Brinell sertlik yöntemi uygulanmıştır. Sertlik deneyi test edilecek malzemenin yüzeyine belirli bir yükün, belirli bir çapta olan ve sert bir malzemedan üretilmiş bilyenin malzeme yüzeyine belli bir süre uygulanması neticesinde kalıcı bir iz bırakması ve ölçümü yapılan bu izin malzeme sertliği hakkında bilgi vermesi prensibine dayanır. Birim olarak genellikle kg/mm^2 'dir. Brinell sertlik deneyinde çelik ya da tungsten karbür bilye kullanılır. Şekil 4.24'te Brinell sertlik deneyinin şematik resmi gösterilmiştir. Deney için çekme ve eğme testinde olduğu gibi iki grup test numunesi hazırlanmıştır. Bu iki deney numuneleri için ASTM E10 metal malzeme sertlik standardına uygun numune ölçüsü belirlenmiş ve döküm teknikleri ile test numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 4.25'de sertlik deneyi için test edilecek numune ölçüleri verilmiştir.



Şekil 4.24. Brinell sertlik deneyinin şematik resmi



Şekil 4.25. Sertlik deneyi için hazırlanmış numune ölçüleri

Brinell sertlik deneyi için faydalanan denklemler aşağıdaki gösterilmiştir. Sertlik deneyinde malzeme üzerine uygulanacak yük(kuvvet) için malzemenin cinsine göre denklem 4.10'dan faydalanılmaktadır. (F) denklemdeki yükü, (C) malzeme türüne göre değişen katsayıyı, (D) ise bilyenin çapını ifade eder.

$$F = C \times D^2 \quad (4.10)$$

Brinell sertlik değeri (HB) tespiti için 4.11'deki denklemlerden faydalanılmaktadır. (HB) Brinell sertlik değerini, (A) Bilyenin malzeme üzerinde oluşturduğu izin alanını, (t) malzeme kalınlığını, (D) Bilye çapını, (d) ise sertliği ölçülen parçanın üzerinde olan iz çapını ifade etmektedir.

$$HB = \frac{F}{A} \text{ kg/mm}^2$$

$$t = \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$A = \pi \cdot D \cdot t$$

$$A = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4.11)$$

Çizelge 4.8’de malzeme kalınlığına göre kullanılması gereken bilye çapları gösterilmiştir. Bu sertlik deneyinde kullanılan deney malzeme kalınlığı 2,3 mm olduğundan 2,5 mm çapındaki bilye tercih edilmiştir.

Çizelge 4.8. Malzeme kalınlığına göre kullanılacak bilye çapları

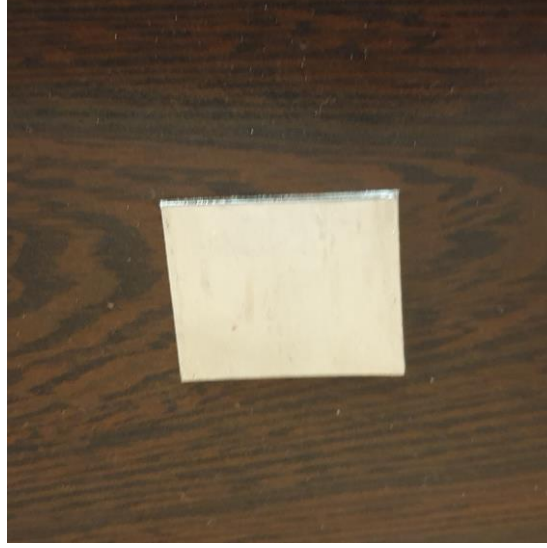
Malzeme kalınlık (mm)	Bilye çap (mm)
6 ve üzeri	2,5 – 5 – 10
3 – 6	2,5 – 5
1,5 – 3	2,5
0,6 – 1,5	1

4.3.1. Birinci grup sertlik deneyi için numune hazırlanması

Birinci grup test numunelerinin üretimi için çekme ve eğme deneylerinde olduğu gibi aynı döküm yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle birinci grupta 925 ayar gümüş alaşımı için karışım oranları belirlenmiştir. Çizelge 4.9’da karışım oranları tablo halinde verilmiştir. Karışımlar potaya alınarak indüksiyonlu döküm makinasında 1100 °C ısıda eritilerek 50x50x5 (mm) ölçülerine ayarlanmış olan astar kalıbına dökülmüştür. Alaşım soğuduktan sonra kalıptan çıkarılmıştır. Deney numuneleri markalandıktan sonra tesviye işlemleri uygulanarak istenilen ölçüde ve ASTM E10 standardına uygun numuneler üretilmiştir. Şekil 4.26’da test numunesinin son hali gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. 925 Ayar gümüş alaşım oranı ve miktarları

925 Ayar gümüş alaşımı oranı	Has gümüş miktarı	Saf bakır miktarı	Toplam Alaşım miktarı	Adet
%92,5 Has gümüş %7,5 Saf Bakır	60,125 gr	4,875 gr	65 gr	1 adet

**Şekil 4.26.** Sertlik deneyi için hazırlanmış numune

4.3.2. İkinci grup sertlik deneyi için numune hazırlanması

İkinci grup sertlik deneyi numuneleri için karışım oranları belirlendikten sonra çekme ve eğme deneylerinde olduğu gibi aynı üretim yöntemleri kullanılarak numuneler üretilmiştir. Çizelge 4.10’da karışım oranları tablo halinde verilmiştir. 925 ayar nanotoz ilaveli alaşım için karışımlar kapalı vakumlu döküm makinesi haznesine alınarak 1100 °C sabit sıcaklıkta eritilmiştir. Alaşım karıştırma çubuğu ile karıştırılmış ve homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. Hazneden alınan eriyik metal astar kalıbına dökülerek soğuduktan sonra kalıptan çıkarılmıştır. Tesviye işlemleri uygulanarak istenilen ölçüde ve ASTM E10 standardına uygun olarak deney numuneleri hazırlanmıştır.

Çizelge 4.10. Gümüş nanotozun ilave oranlarına göre eğme deneyi numunelerin karışım miktarları

Gümüş Nanotoz ilave oranı	Has gümüş miktarı	20 Nm %99,9 Gümüş nanotoz miktarı	Saf bakır miktarı	Toplam Alaşım miktarı	Adet
%0,5	59,824375 gr	0,300625 gr	4,875 gr	65 gr	1 adet
	179,47312 gr	0,901875 gr	14,625 gr	195 gr	3 adet
%1	59,52375 gr	0,60125 gr	4,875 gr	65 gr	1 adet
	178,57125 gr	1,80375 gr	14,625 gr	195 gr	3 adet
%1,5	59,223125 gr	0,901875 gr	4,875 gr	65 gr	1 adet
	177,66937 gr	2,705625 gr	14,625 gr	195 gr	3 adet
%2	58,9225 gr	1,2025 gr	4,875 gr	65 gr	1 adet
	176,7675 gr	3,6075 gr	14,625 gr	195 gr	3 adet

4.3.3. Brinell sertlik deneyinin yapılışı

Sertlik deneyi Batman Üniversitesi Makine mühendisliği anabilim dalı mekanik laboratuvarında yapılmıştır. Sertlik deneyi için laboratuvarında bulunan 187,5 Kgf yük kapasitesine sahip HB30 standart ölçeğinde olan ERNST AT 250 marka Brinell sertlik cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.27’de ERNST AT 250 marka sertlik cihazı gösterilmiştir. Bu test için test edilecek numune kalınlığına göre 2,5 mm çapında bilye tercih edilmiştir.

**Şekil 4.27.** ERNST AT 250 marka sertlik deneyi cihazı

Sertlik deneyinde ilk iki mekanik deneyde olduğu gibi 1. Grup deney numuneleri olan nanotoz ilavesiz 925 ayar gümüş numuneleri test edilmiştir. İlk grupta sertlik cihazında üç adet numune test edilmiştir. Bu numuneler muhtelif bölgelerinden üçer defa yüke maruz bırakılmıştır. Sertlik cihazı üzerinden veriler HB sertlik birimi olarak elde edilmiştir. Her numune için sonuçların ortalamaları alınmıştır. 2. Grup deney numuneleri olan %99,99 saflığa sahip 20 nm ölçeğinde ve %0,5, %1, %1,5 ve %2 nanotoz oranlarına sahip 12 adet numune test edilmiştir. Elde edilen veriler 1. Grup verileriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.28’de Sertlik cihazında test edilen deney numunesi gösterilmiştir.



Şekil 4.28. ERNST AT 250 marka sertlik deneyi cihazında test edilen deney numunesi

4.4. Statik Analiz

Statik analiz için sonlu elemanlar metodu uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi için ANSYS yazılım programından faydalanılmıştır. Bu analiz testi için statik test seçenekleri içerisinde çekme deneyi uygun görülmüştür. Çekme testi statik analizi için öncelikle test edilen alaşım malzemelerin (%0, %0,5, %1, %1,5 ve %2 nanotoz katkılı) elastisite modüllerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan literatür araştırmalarında 925 ayar gümüş-bakır alaşımına ve gümüş nanotoz katkılı gümüş malzemenin elastisite modül verilerine rastlanmamıştır. Bu yüzden tek eksenli çekme deneyinde elde edilen verilerle elastisite modülü hesaplama yoluna gidilmiştir.

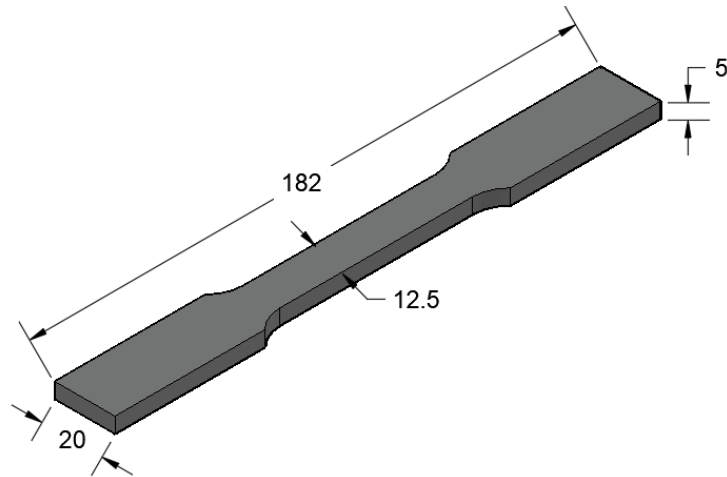
Denklem (4.4)' den faydalanılmıştır. Ayrıca Tek eksen çekme deneyinde elde edilen gerçek gerilim ve gerçek uzama değerlerinde faydalanılmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ ise } \Rightarrow E = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} \quad (4.4)$$

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılacak çekme statik analizi için gümüş metalinin poisson oranı verisinde ihtiyaç duyulmuştur. Poisson oranı deney numunesinin enine kesit değişimlerinin boyuna olan kesit değişimlerine oranı ile bulunur. Denklem (4.12)' de poisson oranı denklemi verilmiştir. Poisson verisinin elde edilmesi için metal elementlerin poisson oranı tablosundan $\nu=0,37$ olarak tespit edilmiştir. (Anonim 8, 2022) Bu veri ANSYS yazılımında gümüşün poisson oranı olarak kullanılmıştır.

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{yanal}}{\varepsilon_{eksenel}} \quad (4.12)$$

AutoCAD çizim programı kullanılarak model çizimler oluşturulmuştur. Şekil 4.29'da AutoCAD çizim programı ile çizilmiş numune modeli gösterilmiştir. Elde edilen bu model çizimler ANSYS programına aktarılmıştır. Tek eksen çekme deneyi verileri de eklenerek ANSYS yazılımında statik çekme analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.29. ANSYS yazılımı için AutoCAD programında hazırlanan çekme numunesi modeli

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında gümüş takı üretimi için kullanılan 925 ayar gümüş-bakır alaşımı için %0, %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranında 20nm boyutunda %99,99 saflıkta gümüş nanotoz ilaveli test numuneleri elde edilmiştir. Üretilen test numunelerinin mekanik testleri (Tek eksen çekme deneyi, üç nokta eğme deneyi ve sertlik deneyi) yapılmıştır. İlk etapta 925 ayar (%0 nanotoz katkılı) gümüş-bakır alaşımı numuneleri test edilmiştir. Ardından katkı oranlarına göre gümüş nanotoz ilave edilmiş numunelerin testleri yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Mekanik Testlerden elde edilen veriler ayrıca sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak statik çekme analiz testinde kullanılmıştır. AutoCAD yazılımı kullanılarak model çizilmiştir. Mekanik testlerden elde edilen veriler ile 925 ayar gümüş-bakır alaşımı malzemelerin elastisite modülleri bulunmuştur. Bu veriler ANSYS programında kullanılarak numunelerin statik çekme analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile birlikte tüm numuneler karşılaştırılmıştır.

5.1. Tek eksen çekme deneyi sonuçları

Çekme deneyinde sağlıklı neticeler elde edebilmek amacıyla 1.grup ve 2.grup parametreler belirlenmiştir. Her bir parametreye uygun deney seti oluşturabilmek ve uygulamak için üçer adet numune üretilmiştir. Bu numuneler İnstron 8801 marka çekme cihazında 5mm/dk sabit hızda ve ortam sıcaklığı 23 ± 2 °C derecede test edilmeye başlanmış ve numuneler kopana kadar yüklemeye maruz bırakılmışlardır. Her grupta bulunan test numuneleri için maksimum çekme kuvvetleri, uzamaları ve gerilmeleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deney numunelerinin çekme testleri sonucunda alaşımlardaki maksimum gerilme değerleri ve uzama miktarları tespit edilmiştir. Çizelge 5.1’de çekme deneyinde elde edilen değerler gösterilmiştir.

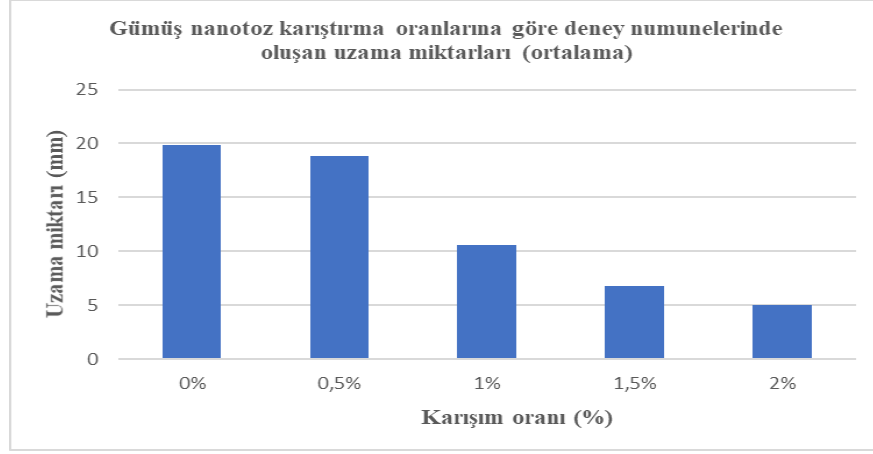
Çizelge 5.1. Numunelerin çekme deneyi sonuçları

	1. Grup numune (ortalama)	2. Grup Numuneler (Ortalama)			
Nanotoz Karıştırma Oranları	%0	%0,5	%1	%1,5	%2
Maksimum çekme Dayanımı (MPa)	255,06	239,58	261,79	268,07	225,30
Uzama miktarı (mm)	19,89	18,83	10,56	6,80	5,03
Elastisite modülü (MPa)	81898,93	75210,10	93642,84	85975,02	104515,57
Uzama miktarı (%)	%10,9	%10,3	%5,8	%3,7	%2,7

Çekme deneyinde ilk test edilen 1.grup (%0 nanotoz ilaveli) gümüş-bakır alaşımının maksimum çekme dayanımı 255,06 MPa olarak bulunmuştur. Daha sonra ki testlerde gümüş-bakır alaşımına belli oranlarda 99,9 saflıkta nanotoz ilave edilmiştir. 2.grupta alaşıma ilk önce %0,5 oranında nanotoz katkısı yapılmıştır. 239,6 MPa maksimum dayanım değeri hesaplanmıştır. Maksimum çekme dayanımı %0 nanotoz katkılı alaşımdan bir miktar düşük çıkmıştır. %1 oranında nanotoz ilave edilen numunenin maksimum çekme dayanımı değeri 261,8 MPa olmuştur. İlk iki test numunesinden daha yüksek gerilme değeri göstermiştir. %1,5 nanotoz ilave edilen alaşım numunelerinin maksimum çekme dayanımları 268,1 MPa olarak belirlenmişti. Bu değer teste edilen numuneler içerisinde en yüksek gerilim değerine sahiptir. %2 oranında nanotoz ilave edilen numunelerde ortalama 225,3 MPa maksimum gerilme değeri belirlenmiştir. Bu değer test edilen tüm numuneler içerisinde en düşük maksimum çekme dayanım düzeyine sahiptir.

Elde edilen neticelere göre gümüş-bakır alaşımına ilave edilen nanotoz oranlarına göre farklı maksimum çekme dayanımları gözlemlenmiştir. Düşük oranlarda nanotoz ilave edildiğinde gerilmede bir miktar artış gözlenmiştir. Ancak nanotoz oranı arttırıldıkça gerilmede düşüşler gözlemlenmiştir.

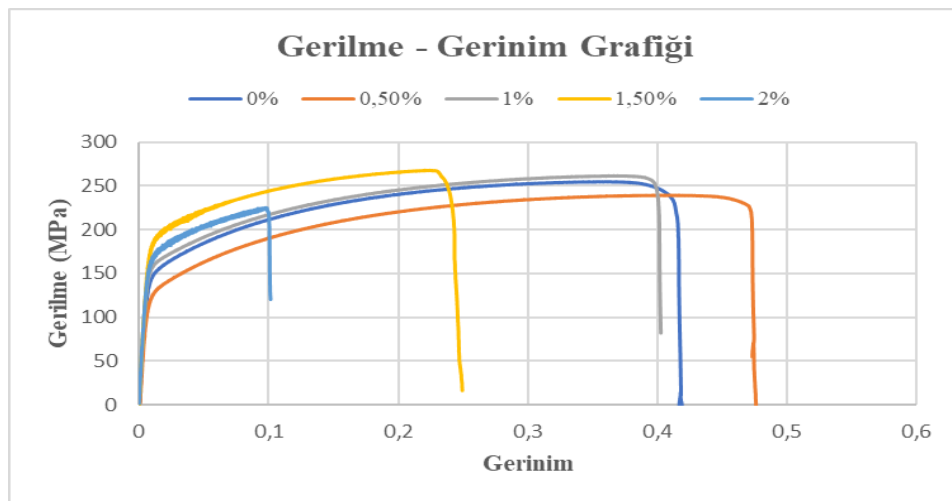
Çekme deneyinde gümüş-bakır alaşımı deney malzemelerinde oluşan süneklik ve gevreklik durumları da gözlemlenmiştir. Şekil 5.1 'de gümüş nanotoz ilave oranlarına göre deney malzemelerinde meydana gelen uzama miktarları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Gümüş nanotoz karışım oranlarına göre malzemede meydana gelen uzama miktarları

182 mm boy uzunluğa sahip olan deney numunelerine çekme deneyi test cihazında kopuncaya kadar kuvvet uygulanmıştır. Şekil 5.1'deki grafikte de görüldüğü gibi çekme deneyi sonucunda nanotoz ilave edilmemiş olan 925 ayar gümüş-bakır alaşımının uzama miktarı yaklaşık 20 mm olmuştur. Diğer deney malzemelerine göre sünek davranış göstermiştir. Nanotoz ilave edilme oranları arttıkça malzemelerin uzama miktarlarında kademeli olarak azalma gözlemlenmiştir. %2 oranında nanotoz ilave edilen deney numunelerinde boyda uzama gözle görülür miktarda azalmıştır. Deney numunelerinde 5mm'nin altında uzama miktarı ölçülmüştür. Test edilen önceki deney numunelerine göre gevrek malzeme davranışı göstermiştir. Nanotoz ilave oranlarında artış meydana geldiği zaman alaşım malzemede esneklik zayıflamaktadır.

Şekil 5.2'de Gerilim-Gerinim grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre tek eksenli çekme deneyi sonrası malzemelerde oluşan şekil değişimi incelenmiştir.

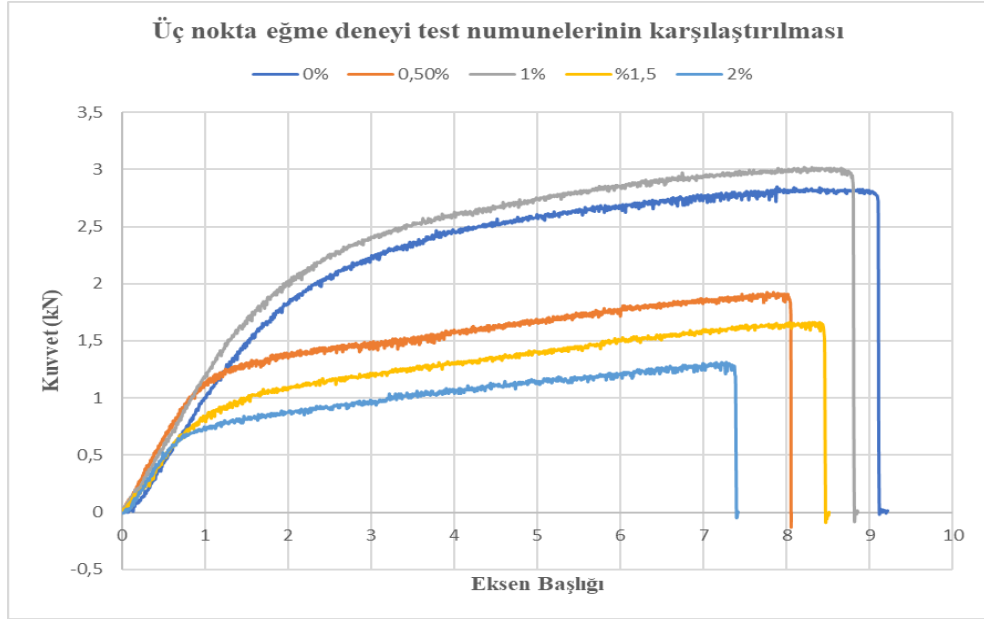


Şekil 5.2. Tek eksen çekme deneyi Gerilme-Gerinim grafiği

Şekil 5.2'deki grafikte de görüldüğü gibi %0 nanotoz ihtiva eden malzemede gerinim değeri yüksektir. Bu da malzemenin sünek davrandığını gösterir. %0,5 oranında nanotoz ilave edilince gerinim de bir miktar artış gözlemlenmiştir. Yani malzemede plastik şekil değiştirme davranışında artış meydana gelmiştir. %1 oranında nanotoz ilavesi olduğunda malzemede hem çekme dayanımı artmıştır hem de elastisite modülünde artış meydana gelmiştir. Ancak gerinim miktarında azalma olmuştur. Bu da gevrek malzeme davranışında bulunmaya başladığını gösterir. %1,5 nanotoz ilaveli numunede ise çekme dayanımı artmış ancak gerinim değeri azalmıştır. Malzeme gevrek davranış göstermiştir, boyda da uzama düşüktür. En son numune olan %2 nanotoz katkılı malzeme de ise çekme dayanımı ve gerinim en düşük seviyededir. Malzeme tamamen gevrek davranış göstermiştir.

5.2. Üç nokta eğme deneyi sonuçları

925 ayar gümüş-bakır alaşımı ile %0,5, %1, %1,5, %2 oranlarda 99,99 ayar saf gümüş nanotoz ilave edilmiş 925 ayar gümüş bakır alaşımlarının eğme deneyi cihazında uygulanan kuvvete bağlı olarak tüm numunelerin eğme dayanımlarının ölçümü yapılmıştır. Deney numunelerinin üç nokta eğme deneyi test cihazından alınan veriler bilgisayar ortamına alınarak grafik oluşturulmuştur. Şekil 5.3'te Eğme kuvveti-Yer değiştirme grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Üç nokta eğme deneyi Eğme Kuvveti-Yer değiştirme grafiği

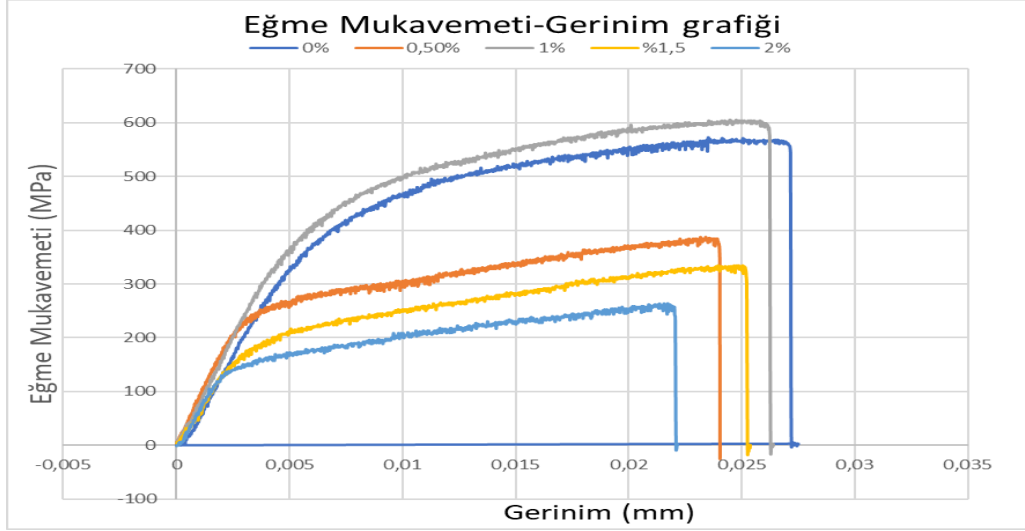
Şekil 5.3'teki grafik incelendiğinde 925 ayar gümüş-bakır alaşımının (%0 nanotoz ilaveli) eğme kuvveti 2,5 kN değerinin üzerinde ölçülmüştür. %0,5 nanotoz ilave edilen numunede ise eğme kuvvetinde önemli ölçüde düşüş göstermiş olup 2 kN değerinin altında ölçülmüştür. Yer değiştirme yani uzama miktarında da bir miktar azalma meydana gelmiştir. Ancak %1 oranında nanotoz ilave edilen numunede ise Eğme kuvveti en yüksek ölçülen değer olmuştur yaklaşık 3 kN ölçülmüştür. Yer değiştirme miktarında ise %0 nanotoz içeren numuneye göre azalma göstermiştir. %1,5 nanotoz katkılı numunede ise Eğme kuvveti %1 nanotoz katkılı numuneye göre epeyce düşük eğme kuvveti göstermiştir. Ayrıca uzama miktarı da azalmıştır. %2 nanotoz ilaveli numunenin deney sonucunda ise eğme kuvveti ve uzama en düşük değerde çıkmıştır.

Şekil 5.3'teki grafikten de anlaşılabacağı gibi nanotoz karışım oranlarına göre deney numunelerinde farklı eğme kuvveti ve uzama değerleri gözlemlenmiştir. Üç nokta eğme deneyinde test edilen tüm numunelerin maksimum eğme mukavemetleri ve gerinim değerleri de hesaplanmıştır. Bu değerler çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Numunelerin eğme mukavemeti ve gerinim değerleri

	1. Grup numune (ortalama)		2. Grup Numuneler (Ortalama)		
Nanotoz Karıştırma Oranları	%0	%0,5	%1	%1,5	%2
Maksimum Eğme Mukavemeti (MPa)	572,7383	387,5791	605,69	334,2	263,6
Maksimum Eğme Gerinimi (mm)	0,027513	0,024043	0,0264	0,025	0,022

Şekil 5.4'te üç nokta eğme deneyinde test edilen numunelerin Eğme mukavemeti ve gerinim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Üç nokta eğme deneyi Eğme Mukavemeti-Gerinim grafiği

Şekil 5.4'te ki grafikteki eğme mukavemeti ve gerinim değerleri Şekil 5.3'te ki Eğme kuvveti ve yer değiştirme grafiği ile benzerlik göstermektedir. 925 ayar nanotoz içermeyen (%0) gümüş-bakır alaşımı numunesi ile belli oranlarda nanotoz ihtiva eden numunelerin deney testlerinde eğme mukavemeti ve gerinim verileri karşılaştırılmıştır. %0 oranlı gümüş-bakır alaşımının maksimum eğme mukavemeti 572 MPa'dır. %0,5 oranında nanotoz katıldığında maksimum eğme mukavemeti 387 MPa'dır. %0 oranlı test numunesine göre eğme mukavemetinde düşüş göstermiştir. %1 oranında nanotoz katıldığında ise maksimum eğme mukavemeti en yüksek değerde çıkmıştır. Bu da 605 MPa'dır. %1,5 oranında nanotoz ilave edilince eğme mukavemeti 335 MPa değerine gerilemiştir. %2 oranında nanotoz ilave edilince eğme mukavemeti 263 MPa gerilemiştir. Bu değer en düşük Maksimum eğme mukavemetidir. Grafikten de anlaşılacağı gibi farklı oranlarda nanotoz ilave edilince eğme mukavemetinde farklı ölçümler gözlemlenmiştir. Düşük oranlarda nanotoz ilave edilince eğme mukavemetinde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Bir miktar daha nanotoz miktarı arttırılınca bu kez eğme mukavemeti yükselmiştir. Ancak daha fazla oranlarda nanotoz ilave edilince kademeli olarak hem maksimum mukavemet değerlerinde hem de gerinim değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

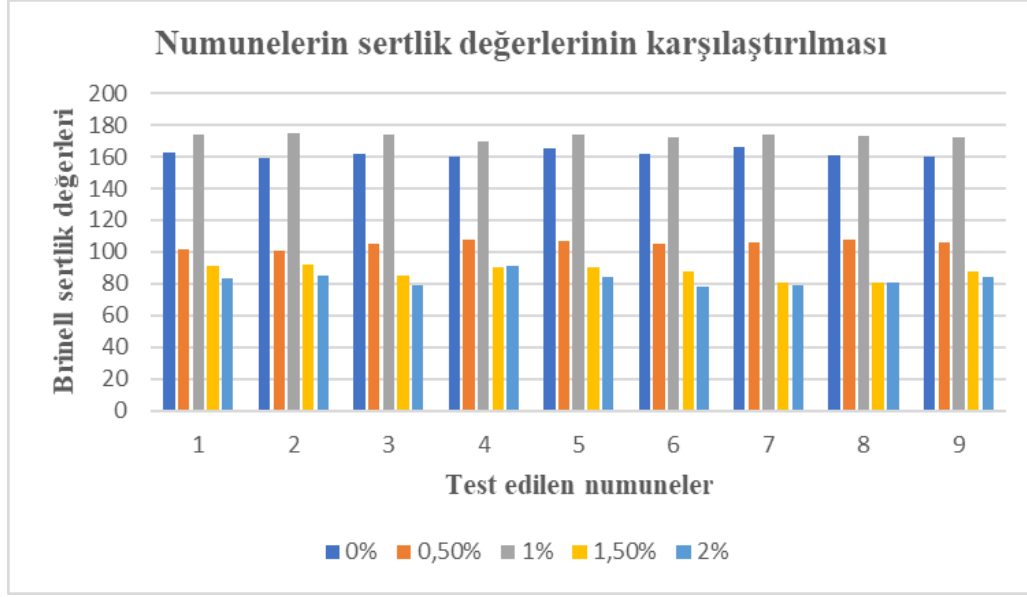
5.3. Brinell sertlik deneyi sonuçları

Sertlik deneyi için brinell sertlik deneyi cihazı kullanılmıştır. 187,5 Kgf yük kapasitesine sahip cihaz ile 2,5 mm çapındaki bilye kullanılmıştır. Cihaza yerleştirilen her bir test numunesinin muhtelif yerlerinden üçer defa olacak şekilde yüke maruz bırakılmıştır. Cihazdan alınan veriler bilgisayar ortamına alınarak Çizelge 5.3'teki sertlik ölçüm tablosu hazırlanmıştır.

Çizelge 5.3. Brinell sertlik ölçme cihazıyla test edilen numunelerin sertlik ölçümleri

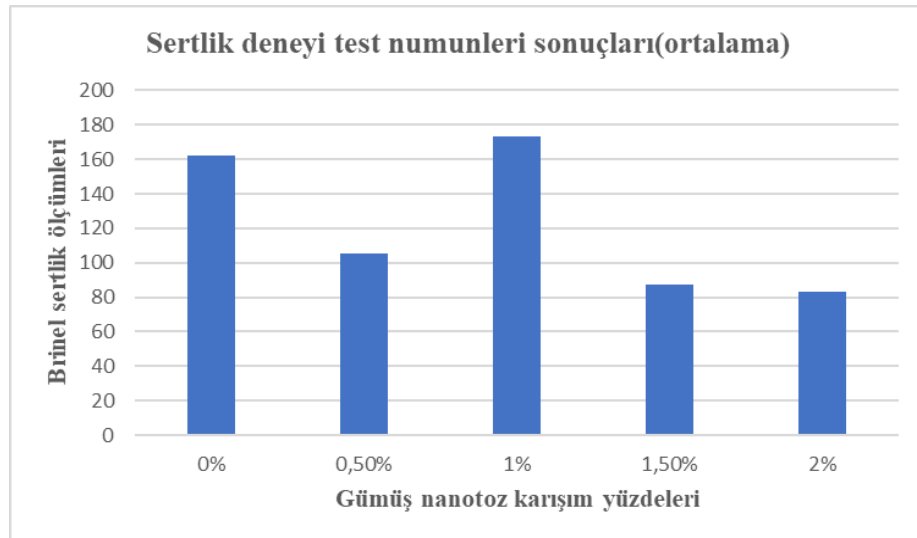
925 Ayar gümüş-bakır alaşımında, gümüş nanotoz katkı oranına göre sertlik ölçümleri (HB)					
	%0 nanotoz katkı	%0,5 nanotoz katkı	%1 nanotoz katkı	%1,5 nanotoz katkı	%2 nanotoz katkı
1. Ölçüm	163 HB	102 HB	174 HB	91 HB	83 HB
2. Ölçüm	159 HB	101 HB	175 HB	92 HB	85 HB
3. Ölçüm	162 HB	105 HB	174 HB	85 HB	79 HB
4. Ölçüm	160 HB	108 HB	170 HB	90 HB	91 HB
5. Ölçüm	165 HB	107 HB	174 HB	90 HB	84 HB
6. Ölçüm	162 HB	105 HB	172 HB	88 HB	78 HB
7. Ölçüm	166 HB	106 HB	174 HB	81 HB	79 HB
8. Ölçüm	161 HB	108 HB	173 HB	81 HB	81 HB
9. Ölçüm	160 HB	106 HB	172 HB	88 HB	84 HB
Ortalama	162 HB	105 HB	173 HB	87 HB	83 HB

Çizelge 5.3'te gösterilen tabloya göre 925 ayar nanotoz ilave edilmemiş gümüş-bakır alaşımının ortalama sertlik değeri 162 HB çıkmıştır. Bu alaşıma %0,5 nanotoz ilave edildiğinde ortalama sonuç 105 HB olmuştur. Sertlikte bir miktar düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ancak nanotoz ilave oranı %1 olduğunda sertlik değeri ortalama 173 HB gibi bir değere çıkmıştır. %1 nanotoz ilave oranı %05 nanotoz ilave oranına nazaran malzemeyi daha da sertleştirmiştir. Alaşıma eklenen nanotoz oranı %1,5 olduğunda sertlikte yüksek miktarda düşüş gözlemlenmiştir. Ortalama 87 HB değeri tespit edilmiştir. Nanotoz ilave oranı %2 olduğunda %1,5 ilave oranına yakın bir değer tespit edilmiştir. Tespit edilen değer 83 HB'dir. Şekil 5.5'te sertlik cihazında test edilen bütün numunelerin sertlik değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Tüm test numunelerin sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.6’da test edilen numunelerin ortalama sonuçları verilmiştir. Elde edilen bu ortalama sonuçlara göre en yüksek sertlik değeri %1 oranında nanotoz ilaveli numunelerde gözlenmiştir. En düşük sertlik değerleri ise %1,5 ve %2 oranlarda nanotoz ilave edilmiş numunelerde gözlenmiştir. Şekil 5.6’daki grafiğe bakıldığında nanotoz ilave oranlarına göre gümüş-bakır alaşım numunelerindeki sertlik değerleri farklılık göstermiştir.



Şekil 5.6. Tüm test numunelerin ortalama sertlik değerlerinin karşılaştırılması

5.4. Statik Analiz sonuçları

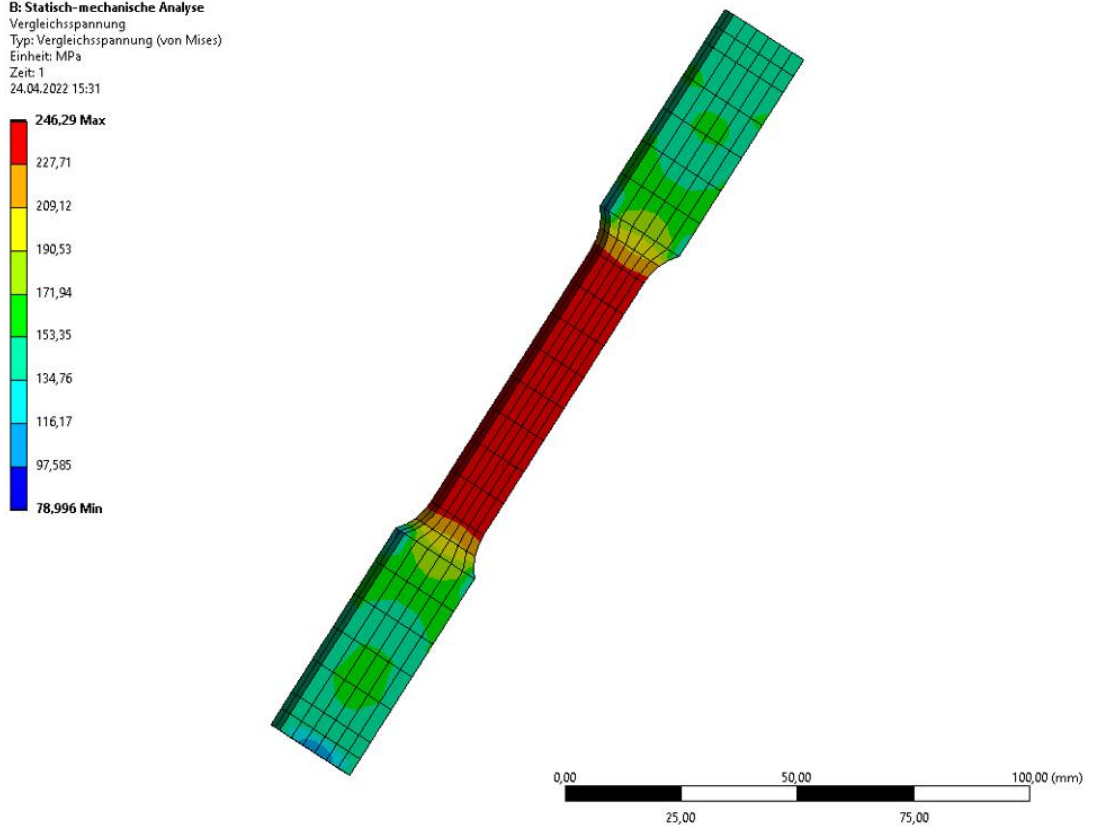
Sonlu elemanları metodu kullanılarak ANSYS yazılımı ile statik analiz yapılmıştır. Statik analiz işlemlerinden çekme analizi uygulanmıştır. Bilgisayar destekli çizim programında çekme deneyi için model hazırlanmıştır. Statik analiz için ihtiyaç duyulan veriler için tek eksen çekme deneyinde elde edilen veriler kullanılmıştır. Çizelge 5.4'te tek eksen çekme deneyinde elde edilen veriler gösterilmiştir. Deney numunelerinin elastisite modülleri belirlenmiştir. Gerçek gerilim değerleri ve gerçek uzama miktarları lineer olarak yazılıma işlenmiştir. Ayrıca gümüş için tespit edilen $\nu=0,37$ poisson oranı veri olarak kullanılmıştır.

Tüm verilerin ANSYS yazılım programına uygulandıktan sonra çekme deneyi için hazırlanan deney numunesi modelin bir tarafı sabitlenmiştir, diğer tarafına ise 15000 N'luk bir yük uygulanmıştır. Bu yüke maruz bırakılan malzemenin davranışı gözlemlenmiştir. Kopma gerilimine yakın bir kuvvetin oluşabilmesi için 15000 N yük tercih edilmiştir Sıcaklık değeri olarak oda sıcaklığına yakın 20 °C girilmiştir.

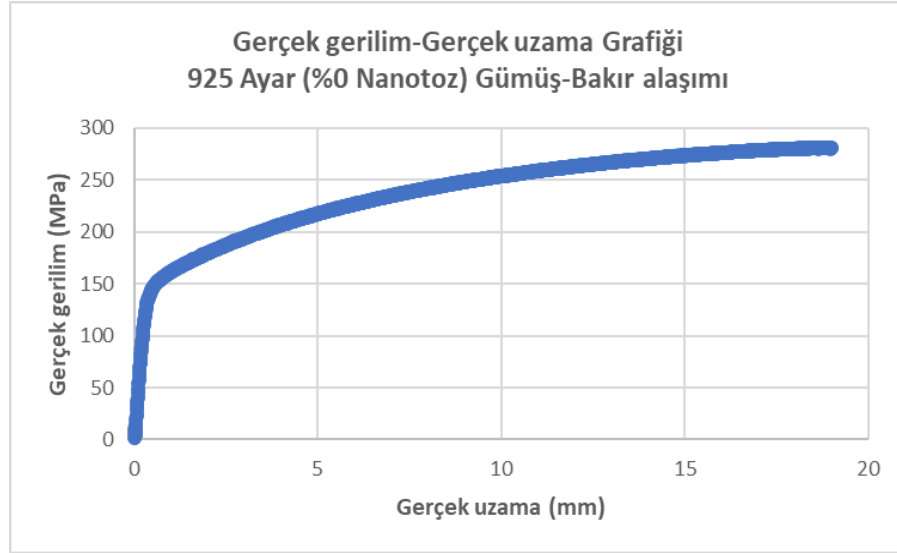
Çizelge 5.4. Numunelerin çekme deneyi elastisite modülü ve maksimum çekme dayanımı değerleri

	1. Grup numune		2. Grup Numuneler		
Nanotoz Karıştırma Oranları	%0	%0,5	%1	%1,5	%2
Elastisite modülü (MPa)	81898,9	75210,1	93642,8	85975,02	104515,6
Maksimum çekme Dayanımı (MPa)	255,1	239,58	261,8	268,07	225,30

Statik analiz için öncelikle birinci gruptaki 925 ayar nanotoz ilavesiz gümüş-bakır alaşımı malzemesinin analizi yapılmıştır. Şekil 5.7'de 15000 N yüke maruz kalmış malzemenin mesh edilmiş görüntüsü verilmiştir. Renk skalasında da görüldüğü gibi yükün malzeme üzerinde uyguladığı gerilim şiddetleri görülmektedir. En fazla gerilim kopmanın olacağı kırmızı bölgede gözlenmiştir. Maksimum gerilim 246,29 MPa olmuştur. Bu değer tek eksen çekme deneyinde elde edilen aynı özellikteki deney numunesinde ölçülen 255,1 MPa maksimum çekme dayanımı değerine yakın bir değerdir. Şekil 5.8'de statik analiz için kullanılan gerçek gerilim ve gerçek uzama grafiği gösterilmiştir. Grafikteki gerçek gerilim değerleri ve gerçek uzama değerleri lineer olarak yazılıma işlenerek statik çekme analizi gerçekleştirilmiştir.



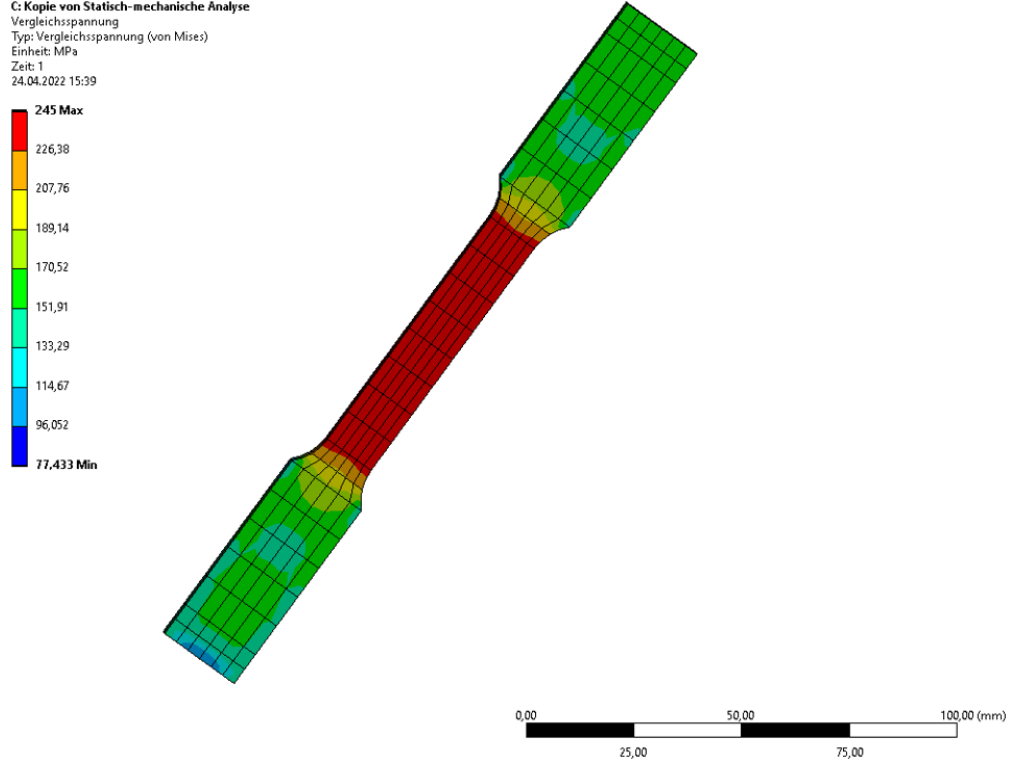
Şekil 5.7. %0 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü



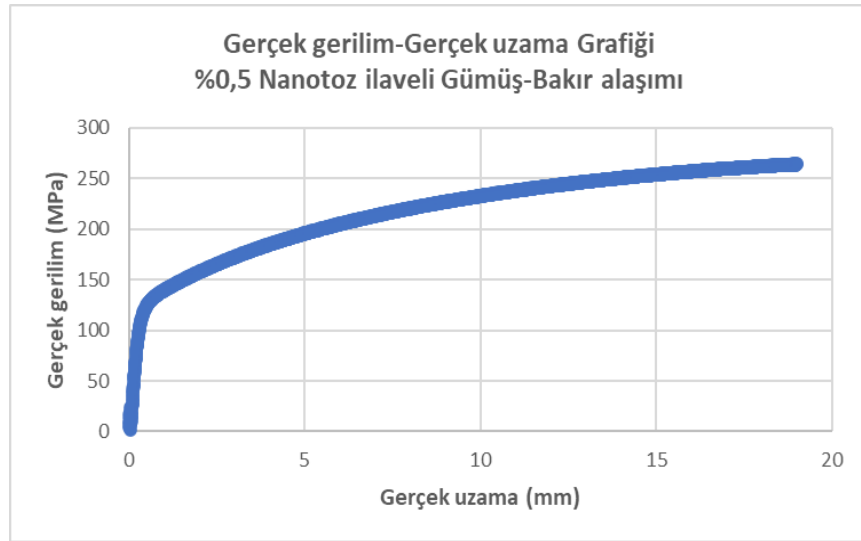
Şekil 5.8. %0 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği

İkinci grupta bulunan ve %0,5 nanotoz ilaveli gümüş-bakır alaşım malzeme analizinde malzemenin bir ucu sabit diğer ucuna 15000 N'luk yük uygulanmıştır. Şekil 5.9'da yük altındaki malzeme görüntüsü verilmiştir. Oluşan gerilim kırmızı bölgede maksimum seviyeye çıkmıştır. Kopma işlemi bu bölgede gerçekleşecektir.

Maksimum gerilim 245 MPa'dır. Tek eksen çekme deneyinde uygulanan aynı deney malzemesinin maksimum çekme dayanımı 239,6 MPa çıkmıştı. Değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 5.10'da statik analiz için kullanılan gerçek gerilim ve gerçek uzama grafiği gösterilmiştir.

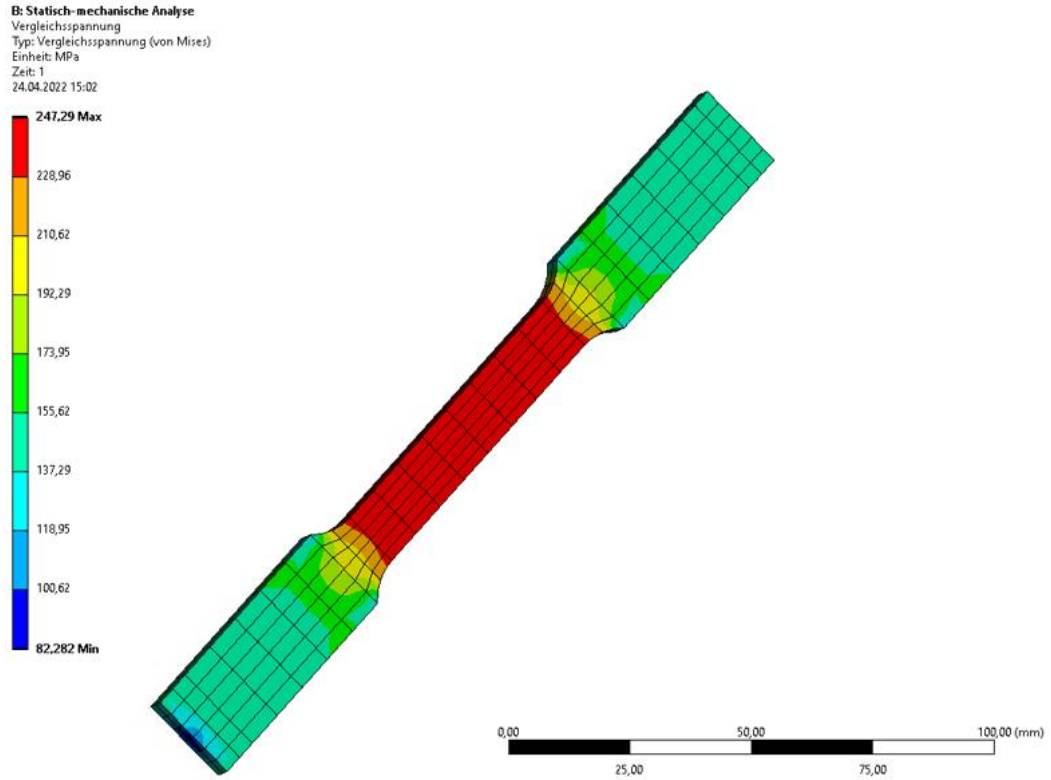


Şekil 5.9. %0,5 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü

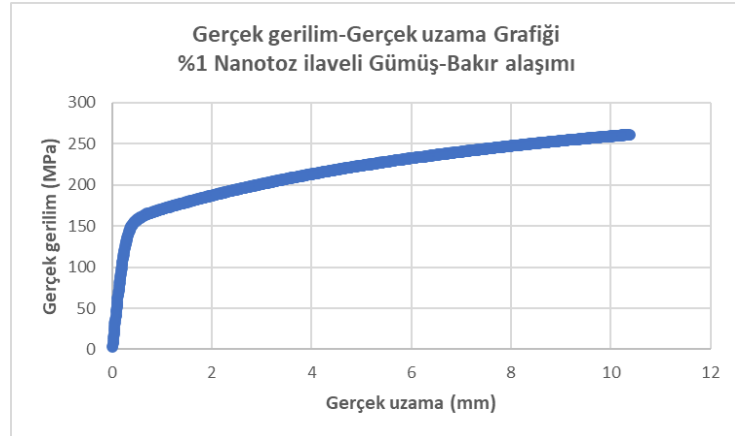


Şekil 5.10. %0,5 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği

İkinci grup gümüş-bakır alaşımı olan %1 nanotoz ilaveli malzeme analiz edilmiştir. En yüksek gerilim renk skalasına göre kırmızı bölgede yoğunur. Kopma burada gerçekleşecektir. Maksimum gerilim 247,29 MPa'dır. Aynı malzemenin tek eksen çekme deneyinde elde maksimum çekme dayanımı 261,8 MPa'dır. Gerilim değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Şekil 5.11'de 15000 N yüke maruz bırakılmış malzemenin analiz görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.12'de statik analiz için kullanılan gerçek gerilim ve gerçek uzama grafiği gösterilmiştir.

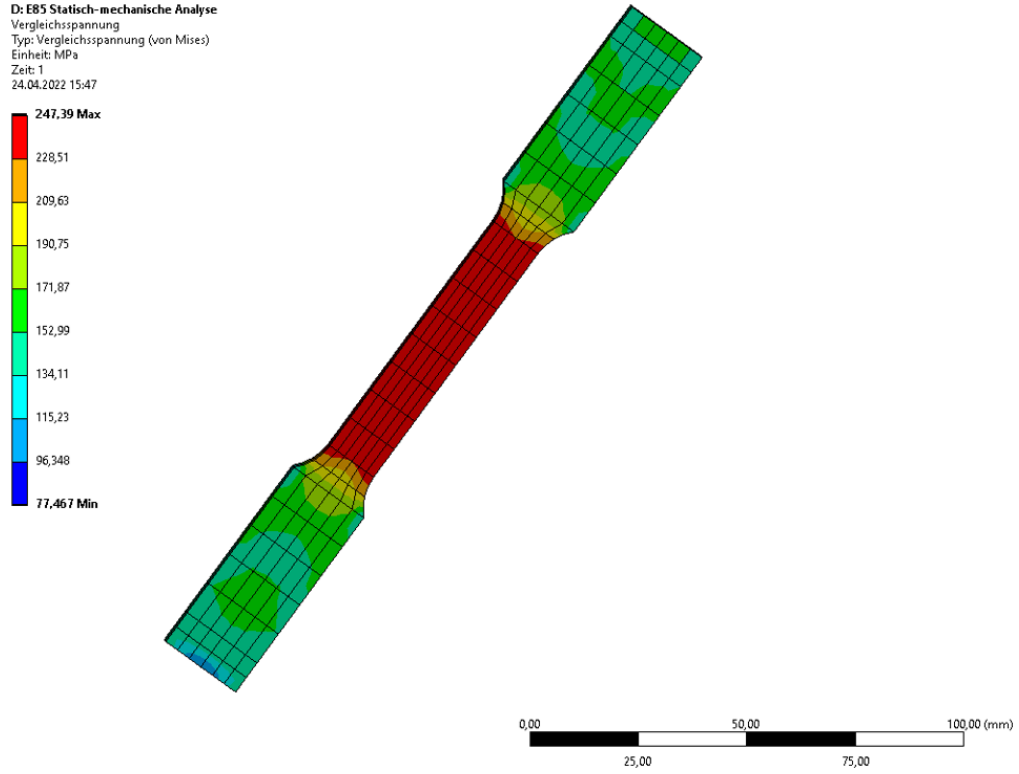


Şekil 5.11. %1 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü

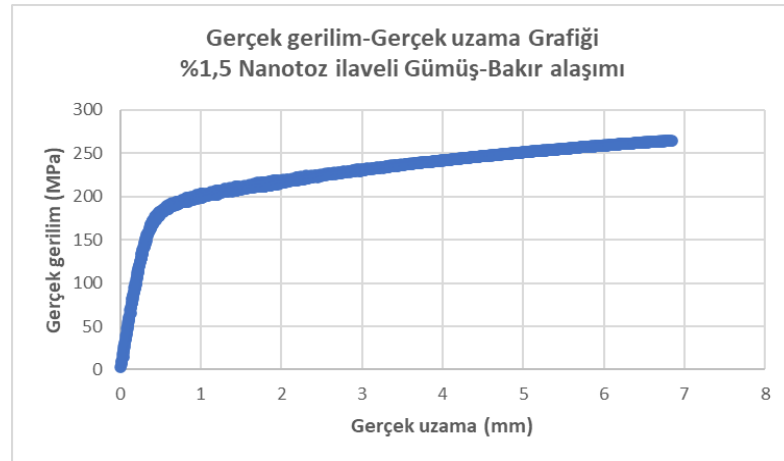


Şekil 5.12. %1 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği

%1,5 nanotoz ilaveli malzemenin analizinde maksimum gerilim 247,39 MPa çıkmıştır. Analiz edilen malzemeler içinde en yüksek gerilime sahip malzeme olarak ölçülmüştür. Tek eksen çekme deneyinde aynı özelliklere sahip malzemenin Maksimum çekme dayanımı 268,07 MPa'dır. Bu değer çekme deneyine tabi tutulan diğer numunelerden fazla maksimum çekme mukavemetine de sahiptir. Şekil 5.13'te 15000 N yüke maruz bırakılmış malzemenin analiz görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.14'te statik analiz için kullanılan gerçek gerilim ve gerçek uzama grafiği gösterilmiştir.

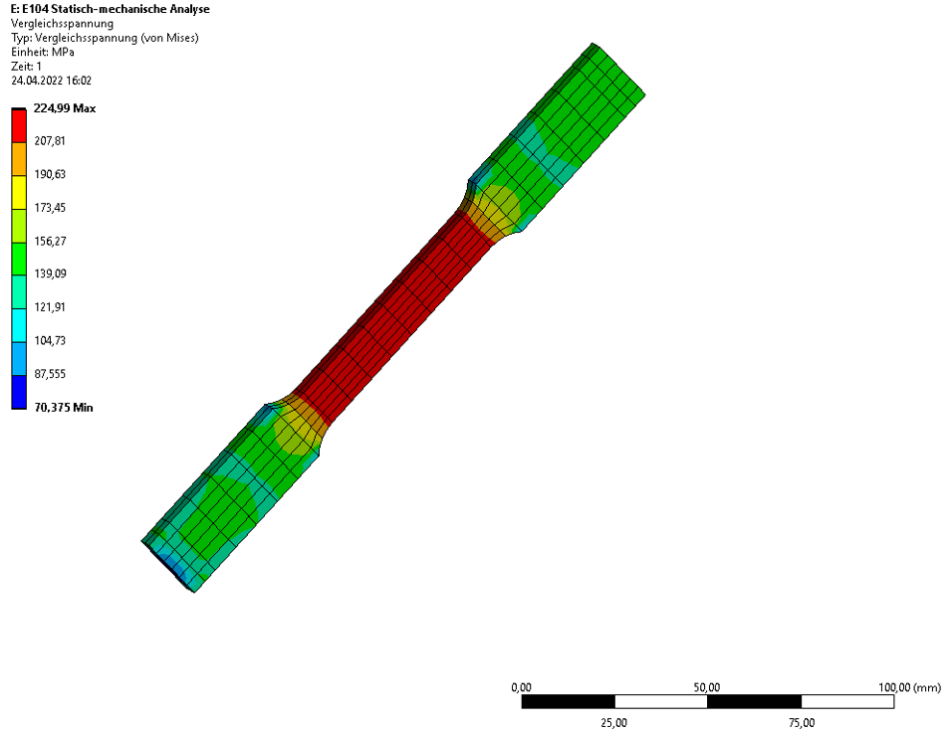


Şekil 5.13. %1,5 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü

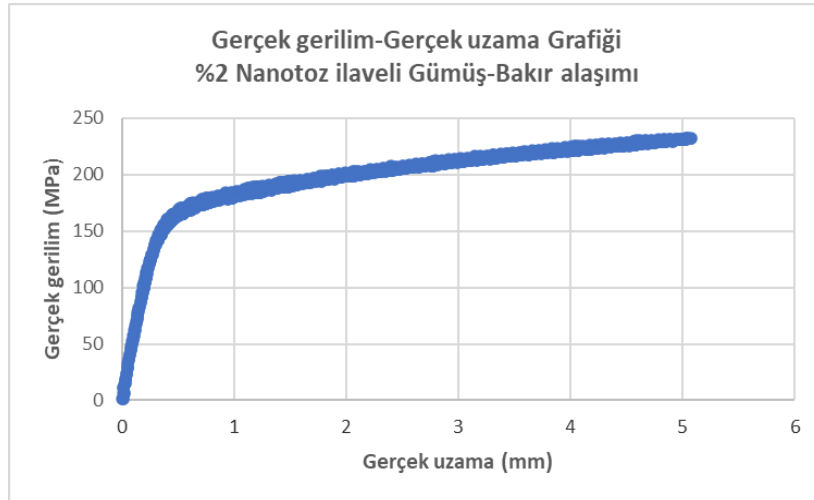


Şekil 5.14. %1,5 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği

%2 nanotoz ilaveli malzemenin analizinde maksimum gerilim 224,99 MPa çıkmıştır. Bu değer analiz edilen malzemeler arasında en düşük gerilim değerine sahiptir. Aynı özelliklere sahip deney malzemesinin tek eksen çekme deneyindeki maksimum çekme dayanımı 225,3 MPa'dır. Statik analiz değeri ile çekme deneyi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 5.15'te 15000 N yüke maruz bırakılmış malzemenin analiz görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.16'da statik analiz için kullanılan gerçek gerilim ve gerçek uzama grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.15. %2 nanotoz ilaveli deney numunesin yük altındaki görüntüsü



Şekil 5.16. %2 nanotoz ilaveli deney numunesin gerçek gerilme-gerçek uzama grafiği

Çizelge 5.5'te Tek eksen çekme deneyinde elde edilen maksimum çekme mukavemetleri ile Nümerik analiz neticesinde elde edilen maksimum gerilimler tablo olarak gösterilmiştir. Elde edilen gerilimler karşılaştırıldığında birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.5. Nümerik analiz testi maksimum gerilim değerleri ve maksimum çekme dayanımları

	1. Grup numune		2. Grup Numuneler		
Nanotoz Karıştırma Oranları	%0	%0,5	%1	%1,5	%2
Nümerik Analiz Maksimum Gerilim (MPa)	246,3	245	247,3	247,4	224,9
Maksimum çekme Dayanımı (MPa)	255,1	239,58	261,8	268,07	225,30

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında kuyumculuk sektöründe kullanılan 925 ayar düzeyindeki gümüş-bakır alaşımına belli oranlarda ve %99,99 saflıkta, 20 nm ölçüsünde gümüş nanotoz ilave edilerek mekanik testler için uygun numuneler hazırlanmıştır. Bu deney numunelerine tek eksen çekme deneyi, üç nokta eğme deneyi ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra sonlu elemanlar yöntemine gidilerek statik çekme analizi yapılmıştır. Bu analiz için ANSYS yazılımı kullanılmıştır. Bilgisayar destekli çizim programında hazırlanan model ve mekanik testlerden elde edilen veriler ANSYS yazılımına aktarılarak numunelerin statik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan tüm mekanik deneyler ve elde edilen veriler neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Tek eksenli çekme deneyi sonucunda nanotoz ilave edilmemiş 925 ayar gümüş-bakır alaşımının maksimum çekme dayanımı 255.1 MPa'dır. Gümüş-bakır alaşımına bir miktar (%0,5) nanotoz ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımında bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bir miktar daha nanotoz ilave edildiğinde (%1, %1,5) maksimum çekme dayanımında artış meydana gelmiştir. Ancak nanotoz miktarı daha da arttırıldığında (%2) maksimum çekme dayanımı düşüş göstermiş ve 225,3 MPa olmuştur.
2. 182 mm boy uzunluğuna sahip 925 ayar nanotoz ilavesiz (%0) gümüş-bakır alaşımına çekme testi cihazında kopuncaya kadar kuvvet uygulanmıştır. Alaşımda meydana gelen uzama miktarı ortalama 19,9 mm olmuştur. Gümüş-bakır alaşımına bir miktar (%0,5) nanotoz ilave edildiğinde uzama miktarı 18,8 mm olmuştur. Nanotoz oranı bir miktar daha arttırıldığında (%1) uzama miktarı azalmış 10,5 mm olmuştur. %1 nanotoz oranındaki numune bir önceki deney numunelerine göre gevrek malzeme davranışı göstermiştir. Nanotoz ilave oranı daha da arttırıldığında (%1,5, %2) uzama miktarında büyük azalma gözlenmiştir. Bu alaşım malzemeleri gevrek malzeme özelliği göstermiştir.
3. Gerilme-gerinim grafiğine göre en yüksek gerinime sahip deney numuneleri %0 ve %0,5 nanotoz ilaveli gümüş-bakır alaşımları olmuştur. Bu malzemeler sünek malzeme davranışı göstermişlerdir. En düşük gerinime sahip deney malzemesi ise %2 oranında nanotoz ihtiva eden gümüş-bakır alaşımıdır. Diğer numunelere göre gevrek malzeme davranışı sergilemiştir.

4. Üç nokta eğme testi sonuçlarına göre 925 ayar gümüş-bakır alaşımının (%0) eğme kuvveti 2,5 kN değerinin üzerinde ölçülmüştür. %0,5 nanotoz ilave edilen numunede ise eğme kuvvetinde önemli ölçüde düşüş görülmüş olup 2,0 kN değerinin altında ölçülmüştür. Ancak %1 oranında nanotoz ilave edilen numunede ise Eğme kuvveti en yüksek ölçülen değer olmuştur yaklaşık 3,0 kN ölçülmüştür. %1,5 nanotoz katkılı numunede ise Eğme kuvveti %1 nanotoz katkılı numuneye göre epeyce düşük eğme kuvveti göstermiştir. %2 nanotoz ilaveli numunenin deney sonucunda ise eğme kuvveti en düşük değerde çıkmıştır. Eğme kuvvetlerinde nanotoz ilave edilme oranlarına göre farklı eğme kuvvetleri ölçülmüştür.
5. Brinell sertlik testi sonuçlarına göre 925 ayar nanotoz ilave edilmemiş (%0) gümüş-bakır alaşımının ortalama sertlik değeri 162 HB ölçülmüştür. 925 ayar gümüş-bakır alaşımına bir miktar (%0,5) nanotoz ilave edildiğinde çıkan ortalama sonuç 105 HB ölçülmüştür. Nanotozlu alaşımın sertlik değeri düşük çıkmıştır. 925 ayar nanotoz ilavesiz (%0) alaşıma %1 oranında nanotoz ilave edildiğinde 173 HB gibi ortalama bir değer çıkmıştır. Sertlik değeri bir miktar yükselmiştir. Nanotoz ilavesiz (%0) alaşıma %1,5 ve %2 oranlarda nanotoz ilave edildiğinde sırasıyla 83 HB ve 87 HB gibi düşük sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu oranlar sertliği büyük oranda düşürmüştür.
6. Statik çekme analizi için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Analiz işlemi ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Statik analiz testi için sisteme istenen veriler yüklenmiş ve tek eksen çekme deneyinde kullanılan numunelerin benzer özelliklerinde ve ölçülerinde model numuneler oluşturulmuştur. Deney numunelerinin bir tarafı sabit tutularak diğer tarafına 15000 N yük verilmiştir. 925 ayar nanotoz ilavesiz (%0) gümüş-bakır alaşımı malzemesinin statik analizinde maksimum gerilim 246,3 MPa olmuştur. Nanotoz ilave edilen (%0,5) alaşımı maksimum gerilim 245 MPa olmuştur. Nanotoz miktarı artırılarak %1 oranında ilave edilen gümüş-bakır alaşımın maksimum gerilmesi 247,3 MPa'dır. %1,5 nanotoz katkılı deney numunesinde ise maksimum gerilme 247,4 MPa'dır. Son olarak analizi yapılan %2 nanotoz ilave oranlı deney numunesinin maksimum gerilmesi 225 MPa'dır. Deney numunelerinden elde edilen statik analiz sonuçları Tek eksen çekme deneyinde elde edilen verilere yakın değerler çıkmıştır.

Yapılan bütün mekanik testlerin sonucunda gümüş-bakır alaşımına değişik oranlarda nanotoz ilave edildiğinde test edilen numunelerde farklı mekanik sonuçlar elde edilmiştir.

6.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında gümüş takı üretiminde kullanılan gümüş-bakır alaşımında gümüş nanopartikül kullanılması olası etkileri mekanik yönden incelenmiştir. Mekanik testlerden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde ilerde yapılacak akademik ve imalat çalışmaları için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur.

1. Gümüş-bakır alaşımına çok düşük oranlarda (%0,1, %0,5 vb.) nanopartikül ilave edilmesi daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Büyük oranlarda ilave edilmesi (%1 ve daha fazlası) farklı mekanik sonuçlar elde edilmesini sağladığından bazı üretim tekniklerinde sorunlar çıkmasına sebebiyet verebilmektedir.
2. Kuyumculuk sektöründe özellikle gümüş takı üretimi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Telkari tekniği, repousse tekniği ve dövme tekniğinde kullanılacak malzemeye rahatça şekil verebilmek için malzemenin bir miktar yumuşak ve sünek olması gerekmektedir. Yüksek oranlarda nanotoz kullanımı (%1 ve fazlası) malzemeyi gevrek hale getirmekte olup bu tarz tekniklerin kullanılmasını sınırlamaktadır. Ancak döküm (Kokil kalıp, alçı kalıp, kum kalıp) tekniklerinde nanotoz oranının bir miktar artırılması malzemeyi gevrek yapsa da bu yöntemler kullanılabilir.
3. Gümüş-bakır alaşımına nanotoz ilave edilirken homojen bir alaşımın meydana gelmesi önem arz etmektedir. Bu yüzden mikserli karıştırıcılar kullanılarak kapalı ortamda döküm işlemi gerçekleştirilmelidir.
4. Açık ortamda yapılacak nanotoz ilavesi için eriyik haldeki gümüş-bakır alaşımına nanotoz ilave edilmemelidir. İlave edildiği takdirde nanotozun bir kısmı henüz havada yanmakta geri kalan kısmı alaşım üzerinde tortu halinde kalarak alaşıma dahil olamamaktadır. Karışımı yapılacak madenler ve nanotoz bir arada kapalı ortama alınıp ısı verilmeli ve eritme işlemi gerçekleştirilmelidir.
5. Nanotoz gramı piyasada pahalı olduğundan gümüş takı sektöründe kullanılması üretim maliyetlerini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

- Adams, F. C., & Barbante, C. (2013). Nanoscience, nanotechnology and spectrometry. In *Spectrochimica Acta-Part B Atomic Spectroscopy* (Vol. 86, pp. 3–13).
- Adlakha-Hutcheon, G., Khaydarov, R., Korenstein, R., Varma, R., Vaseashta, A., Stamm, H., & Abdel-Mottaleb, M. (2009). *Nanomaterials, nanotechnology applications, consumer products, and benefits*, (196-200).
- Ahmadi, Z. (2019). Epoxy in nanotechnology: A short review. In *Progress in Organic Coatings* (Vol. 132, pp. 445–448).
- Akgül F. (2019). Yalın altı sigma: Mobilya Endüstrisinde bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-18.
- Anonim 1, Britannica, Silver/ Silver nugget, <https://www.britannica.com/science/silver> [Ziyaret Tarihi: 01 Ağustos2021].
- Anonim 2, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Gümüş madeni, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/gumus> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2021].
- Anonim 3, Silver İnstitute, Silver in industry, <https://www.silverinstitute.org/silver-in-industry/> [Ziyaret Tarihi: 30 Temmuz 2021].
- Anonim 4, B, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Bakır madeni, 2021, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/bakir> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2021].
- Anonim 5, Nanotoz özellikleri, Nanokar, <https://www.nanokar.com.tr/urun/nano-gumus> [Ziyaret Tarihi: 03 Kasım 2021].
- Anonim 6, Vacuum Casting Machines, topcast Engineering, https://www.Topcast.it/en/products/tvcd--double--chamber_12.html [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2021].
- Anonim 7, İnstron, Floor standing Fatigue Testing Systems, <https://www.instron.com/en/products/testing-systems/dynamic-and-fatigue-systems/servo-hydraulic-fatigue/8801---8802> [Ziyaret Tarihi: 06 Aralık 2021].
- Anonim 8, Physical properties of the main metals, https://www.electrical-contacts-wiki.com/index.php/Physikalische_Eigenschaften_der_wichtigsten_Metalle [Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2022].
- Ates, H., & Bahceci, E. (2015). Nano malzemeler için üretim yöntemleri. 3(2), 483–499.
- Aydın, S. (2021). Nanopartiküllerin metal yapıştırıcılar üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1289–1301.

- Bajpai, A., & Carlotti, S. (2019). The effect of hybridized carbon nanotubes, silica nanoparticles, and core-shell rubber on tensile, fracture mechanics and electrical properties of epoxy nanocomposites. *Nanomaterials*, 9(7).
- Bhargava, R., & Raichurkar, P. (2016). Effect of Nanotechnology in Enhancing Mechanical Properties of Composite Materials. In *International Journal on Textile Engineering and Processes* (Vol. 2, Issue 1).
- Biswas, P., & Wu, C. Y. (2005). Nanoparticles and the environment. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 55(6), 708–746.
- Bozan, U., Altuncu, E., Üstel, F. (2014). Nano partikül takviyeli teflon kaplamaların üretilmesi ve karakterizasyonu. In *SAU J. Sci* (Vol. 18, Issue 1).
- Bozoglu, J., & Karacar, P. (2013). Yeşil binalarda nano teknoloji uygulamaları ve mimari tasarım üzerindeki etkileri, 4-10.
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007'a). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), MR17–MR71.
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007'b). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), MR17–MR71.
- Carles Codina. (2000). The Complete Book of Jewelry Making, pp. 136.
- Çetinkaya, Ö. (2003). Nitratlı çözeltilerden gümüş geri kazanımında sementasyon koşullarının belirlenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-7.
- Chomsaeng, N., & Poolthong, N. (2017). Hardness and microstructure of sterling silver cast by sloped cooling plate method. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 16(4), 255–262.
- Czarnecka-Komorowska, D., Grzeskowiak, K., Popielarski, P., Barczewski, M., Gawdzinska, K., & Poplawski, M. (2020). Polyethylene wax modified by organoclay bentonite used in the lost-wax casting process: Processing-structure-property relationships. *Materials*, 13(10).
- Desireddy, A., Conn, B. E., Guo, J., Yoon, B., Barnett, R. N., Monahan, B. M., Kirschbaum, K., Griffith, W. P., Whetten, R. L., Landman, U., & Bigioni, T. P. (2013). Ultrastable silver nanoparticles. *Nature*, 501(7467), 399–402.
- Dili, Ş. (2011). Anadolu'da antik çağ altın ve gümüş takı buluntuları: Araştırmaların aşaması hakkında bir değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal bilimler enstitüsü*, İzmir, 43-47.
- Er, B. (2012). Van ilinde üretilen takıların bazı özellikleri. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*, Ankara, 14-20.
- Erkoç, S. (2007). *Nanobilim ve nanoteknoloji* (Vol. 2). ODTÜ Yayıncılık.

- Feynman, R. P. (1960). There's Plenty of Room at the Bottom: *Vol. XXIII* (Issue 5).
- Fırat, Y. (2010). Mardin ili gümüş telkari kadın takıları. Yüksek Lisans tezi, *Gazi Üniversitesi, Eğitim bilimleri enstitüsü*, Ankara, 30-35.
- Friedrichs, S., & Schulte, J. (2007). Environmental, health and safety aspects of nanotechnology-implications for the R&D in (small) companies. *Science and Technology of Advanced Materials*, 8(1-2), 12-18.
- Greil, S., Edtmaier, C., Haubner, R., & Lauter, L. (2017). Metallographic investigations of silver alloys used for minting. *Materials Science Forum*, 891 MSF, 89-94.
- Gündoğan, K., & Köksal, D. (2020). Nanopartikül Takviyeli Polimer Matrisli r-PET Geri Dönüşüm İpliklerinin Mikroyapı, Termal, Mekanik ve Antistatik Özelliklerinin İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- Gürmen, S., & Ebin, B. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri 1. *Metalurji Dergisi*, 31-37.
- Guz, A. N., & Ya Rushchitskii, Y. (2003). *Nanomaterials: On the mechanics of nanomaterials International Applied Mechanics*. Vol. 39, No. 11.
- Hamed, N., El-Feky, M. S., Kohail, M., & Nasr, E. S. A. R. (2019). Effect of nano-clay de-agglomeration on mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 205, 245-256.
- Henriques, B., Soares, D., Teixeira, J. C., & Silva, F. S. (2014). Effect of hot pressing variables on the microstructure, relative density and hardness of sterling silver (Ag-Cu alloy) powder compacts. *Materials Research*, 17(3), 664-671.
- Hong, S. T., & Weil, K. S. (2007). Niobium-clad 304L stainless steel PEMFC bipolar plate material. Tensile and bend properties. *Journal of Power Sources*, 168(2), 408-417.
- Işık, Ç. (2018). Mikro ve nanoölçekli mekanik sistemlerin modellenmesinde yerel olmayan sonlu elemanlar formülasyonu. Doktora tezi, *Akdeniz Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü*, Antalya, 3-13.
- Ju-Nam, Y., & Lead, J. R. (2008). Manufactured nanoparticles: An overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. *Science of the Total Environment*, 400(1-3), 396-414.
- Kamiloğlu, İ. E. (2009). Mardin ili gümüş işlemeciliği ve yörede yapılan ürünlerin bazı özellikleri, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-25.
- Kandemir, S. (2018). Grafen Nanolevha Takviyesinin AlSi10Mg Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 177-187.

- Kayıkçı, R., & Akar, N. (2007). Farklı kesit kalınlıklarına sahip büyük hacimli bir çelik dökümün simülasyon teknikleri ile tasarlanması. *Politeknik Dergisi*, 10(4), 395–401.
- Kiper, M. (2004). Teknoloji-Teknoloji transfer mekanizmaları ve bu kapsamda üniversite –sanayi iş birliği. *Türk mühendis ve mimar odaları birliği*, 59-65.
- Kiraz, C., Kürşad Sezer, H., Şahin, İ., (2018). Kuyumculuk sektöründe 3B baskı tasarım tekniklerinin özgürlüğünden faydalanıldığında sektöre getirileri. *International Journal of 3D Printing Technologies and digital Industry* (Vol. 2, Issue 2).
- Korkar, Ü. (2016). Ankara halk eğitim merkezlerinde yapılan gümüş takı işlemeciliği üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi üniversitesi, Eğitim bilimleri enstitüsü*, Ankara, 21-25.
- Kumruoğlu, L. C. (2019). Alüminyum-Magnezyum-Zirkonyum Alaşımına Grafen-Nano Karbon Esaslı Takviyelerin, Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 1–1.
- Luther, W. (2006). International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology, *Final Report* 19. March, 2-18.
- Manière, C., Saccardo, E., Lee, G., McKittrick, J., Molinari, A., & Olevsky, E. A. (2018). Swelling negation during sintering of sterling silver: An experimental and theoretical approach. *Results in Physics*, 11, 79–84.
- Menceloğlu, Y. Z., & Kırca, M. B. (2008). Uluslararası rekabet stratejileri: Nanoteknoloji ve Türkiye, *Yayın No. TÜSİAD-T/2008-11/474*, 25-32
- MSR. (2020). Mücevherat Sektör Raporu *T.C. Ticaret Bakanlığı -İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi*, (2-9).
- Niemeyer, C. M. (2001). Nanoparticles, Proteins, and Nucleic Acids: Biotechnology Meets Materials Science. *German Chemical Society*, 40(22), 4128–4158.
- Nisaratanaporn, E., Wongsriruksa, S., Pongsukitwat, S., & Lothongkum, G. (2007). Study on the microstructure, mechanical properties, tarnish and corrosion resistance of sterling silver alloyed with manganese. *Materials Science and Engineering A*, 445–446, 663–668.
- Odabaşı, A. (2004). Kokil ve kum kalıba döküm yöntemleriyle üretilen yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin X-Işınları ve taramalı elektron mikroskobu çalışmalarıyla karakterize edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-62.
- Osterwalder, N., Loher, S., Grass, R. N., Brunner, T. J., Limbach, L. K., Halim, S. C., & Stark, W. J. (2007). Preparation of nano-gypsum from anhydrite nanoparticles: Strongly increased Vickers hardness and formation of calcium sulfate nano-needles. *Journal of Nanoparticle Research*, 9(2), 275–281.

- Praiphruk, S., Lothongkum, G., Nisaratanaporn, E., & Lohwongwatana, B. (2013). Investigation of Supersaturated Silver Alloys for High Hardness Jewelry Application. In *Journal of Metals, Materials and Minerals* (Vol. 23, Issue 2).
- Priya, C. S., & Velraj, G. (2012). Synthesis and characterization of nano and micro copper doped conducting polymer. *Materials Letters*, 77, 29–31.
- Rao, C. N. R. (Chintamani N. R., Müller, A., & Cheetham, A. K. (2004). *The chemistry of nanomaterials : synthesis, properties and applications in 2 volumes*. Wiley-VCH.
- Roco, M. C. (1999). *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report, Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade* September, 25-30.
- Rosi, N. L., & Mirkin, C. A. (2005). Nanostructures in biodiagnostics. In *Chemical Reviews* (Vol. 105, Issue 4, pp. 1547–1562).
- Saadatmandi, S., Ramezanzadeh, B., Asghari, M., & Bahlakeh, G. (2020). Graphene oxide nanoplatfrom surface decoration by spherical zinc-polypyrrole nanoparticles for epoxy coating properties enhancement: Detailed explorations from integrated experimental and electronic-scale quantum mechanics approaches. *Journal of Alloys and Compounds*, 816.
- Nanoteknoloji Strateji Grubu (2004). Nanobilim ve nanoteknoloji stratejileri, *Vizyon 2023 Projesi*, Ankara, 4-7.
- Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete-A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 24, Issue 11, pp. 2060–2071).
- Sarikaya, H. Z. (2009). İzmir İli Günümüz Kuyumculuğunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 37-38.
- Shen, J., & Chan, Y. C. (2009). Research advances in nano-composite solders. *Microelectronics Reliability*, 49(3), 223–234.
- Shi, X., Nguyen, T. A., Suo, Z., Liu, Y., & Avci, R. (2009). Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating. *Surface and Coatings Technology*, 204(3), 237–245.
- Sobolev, K., Flores, I., Hermosillo, R., & Torres-Martínez, L. M. (2006). *Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites, Proceedings of ACI Session on “Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives” November 7, 2006, Denver, USA*, 1-28.
- Sobolev, K., & Gutierrez, M. F. (2005). How nanotechnology can change the concrete world: Part 1. *American Ceramic Society, Westerville, OH*, 84(10), 14–17.
- Sözen, E., Aydemir, D., & Gündüz, G. (2017). Nano TiO₂ ve nano borun odun plastik kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerine etkileri. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 331–337.

- T.C. Kalkınma Bakanlığı-Madencilik politikaları-Özel ihtisas komisyonu raporu. (2018). *On birinci kalkınma planı (2019-2023)*.
- The Silver Institute. (2021). *World silver survey 2021*, pp. 51.
- Thongnopkun, P., Jamkratoke, M., & Ekgasit, S. (2012). Thermal behavior of nano-silver clay in the application of handmade jewelry. *Materials Science and Engineering A*, 556, 849–854.
- Türkmen, M., Bayar, C., Beden, Ü., ve E., Yüksekokulu, S., & Mutlutürk, N. (2014). *Spor Malzemelerinde Nano-Teknoloji Kullanımı ve Performansa Katkısı, International Journal of Social Science Research*, 2-8.
- Uygun, Ö. (2018). Kokil kalıp ve uygulamalarında termal gerilme ve analiz etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü*, Konya, 3-10.
- Var, I., & Sağlam, S. (2014). Gıda Endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. *Gıda*, 40(2), 101–108.
- Whitesides, G. M. (2005). Nanoscience, nanotechnology, and chemistry. *Small*, 1(2), 172–179.
- Wu, C. L., Zhang, M. Q., Rong, M. Z., & Friedrich, K. (2002). *Tensile performance improvement of low nanoparticles filled-polypropylene composites*.
- Xiong, W., Hao, L., Li, Y., Tang, D., Cui, Q., Feng, Z., & Yan, C. (2019). Effect of selective laser melting parameters on morphology, microstructure, densification and mechanical properties of supersaturated silver alloy. *Materials and Design*, 170.
- Yu, Q., Meng, K., & Guo, J. (2018). Research on innovative application of silver material in modern jewelry design. *MATEC Web of Conferences*, 176.
- Zhang, L., & Webster, T. J. (2009). Nanotechnology and nanomaterials: Promises for improved tissue regeneration. In *Nano Today* (Vol. 4, Issue 1, pp. 66–80).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sabahattin AKGÜL
Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. İstanbul	2000
Üniversite	: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Diyarbakır	2018
Yüksek Lisans	: Batman Üniv. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Batman	-----
Doktora	: -----	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2003-2006	SCT/ORTURBO Otomotiv Filtre San. /MERSİN	Kalite Yönetim Birimi
2010-2018	Milli Eğitim Bakanlığı /MARDİN	Teknik Öğretmen
2018- -----	Mardin Artuklu Üniversitesi /MARDİN	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Bilgisayar Destekli Tasarım, Talaşlı imalat, Takı Tasarımı, Takı İmalatı

YABANCI DİLLER

İngilizce