



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STEM TEMELLİ NANOTEKNOLOJİ
ETKİNLİKLERİNİN ORTAOKUL 7. SINIF
ÖĞRENCİLERİNİN NANOTEKNOLOJİ
FARKINDALIĞI VE ELEŞTİREL DÜŞÜNME
BECERİLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Gülnaz BULUT KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı

Mart -2026
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STEM TEMELLİ NANOTEKNOLOJİ
ETKİNLİKLERİNİN ORTAOKUL 7. SINIF
ÖĞRENCİLERİNİN NANOTEKNOLOJİ
FARKINDALIĞI VE ELEŞTİREL DÜŞÜNME
BECERİLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Gülnaz BULUT KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Esin KAYA

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Bekir YILDIRIM
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Erdal CANPOLAT
Jüri Üyesi: Doç. Dr. Ayten ARSLAN
Jüri Üyesi: Doç. Dr. Ayşe ÇİFTÇİ

Mart -2026
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

Gölnaz BULUT KARAKAYA tarafından hazırlanan “STEM Temelli Nanoteknoloji Etkinliklerinin Ortaokul 7. Sınıf Öğrencilerinin Nanoteknoloji Farkındalığı ve Eleştirel Düşünme Becerileri Üzerine Etkileri” adlı tez çalışması 23/01/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Erdal CANPOLAT
Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü

.....

Danışman

Prof. Dr. Esin KAYA
Muş Alparslan Üniversitesi,
Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü.

.....

2. Danışman

Prof. Dr. Bekir YILDIRIM
Muş Alparslan Üniversitesi,
Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü.

.....

Üye

Doç. Dr. Ayten ARSLAN
Muş Alparslan Üniversitesi,
Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü.

.....

Üye

Doç. Dr. Ayşe ÇİFTÇİ
Muş Alparslan Üniversitesi,
Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Bölümü.

.....

Yukarıdaki sonuç;
Enstitü Yönetim Kurulu/...../..... Tarih ve/..... nolu kararı
ile onaylanmıştır.

.....

FBE Müdürü

**Prof.Dr. Bekir YILDIRIM bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

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

Gölnaz BULUT KARAKAYA

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

STEM TEMELLİ NANOTEKNOLOJİ ETKİNLİKLERİNİN ORTAOKUL 7. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN NANOTEKNOLOJİ FARKINDALIĞI VE ELEŞTİREL DÜŞÜNME BECERİLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Gülnaz BULUT KARAKAYA

**Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Esin KAYA
İkinci Danışman: Prof. Dr. Bekir YILDIRIM**

Bu araştırmanın amacı fen bilimleri dersi 7.sınıf öğretim programında yer alan “Saf Madde ve Karışımlar” ünitesindeki konulara STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin dahil edilmesinin öğrencilerin nanoteknoloji farkındalığı ve eleştirel düşünme becerileri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu çalışmada karma araştırma yöntemlerinden eş zamanlı iç içe geçmiş (gömülü) desen kullanılmıştır. Araştırmaya, 2024-2025 eğitim-öğretim yılında Muş ili Merkez ilçesinde yer alan bir ortaokulda öğrenim gören 48 yedinci sınıf öğrencisi katılmıştır. Çalışmada nicel araştırma yöntemlerinden ön test son test kontrol gruplu yarı deneysel desen kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan nicel veri toplama araçları “Nanoteknoloji Farkındalık Anketi” ve “Eleştirel Düşünme Ölçeği” olup nitel veri toplama aracı olarak da “Nanoteknoloji Uygulamaları Görüş Formu” kullanılmıştır. Nicel veriler IBM SPSS Statistics 23.0 programı ile analiz edilmiştir. Araştırmanın nitel boyutunda durum çalışması yöntemi kullanılmıştır. Nitel verilerin analizinde ise içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen verilerin analizi sonucunda STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin 7. sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturduğu, eleştirel düşünme becerilerinde ise anlamlı bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir. Öğrenciler ile yapılan görüşmeler sonucunda ise öğrencilerin nanoteknoloji hakkında olumlu görüş bildirdikleri sonucuna ulaşılmıştır.

2026, 110 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji Eğitimi, STEM, Ortaokul Öğrencileri, Eleştirel Düşünme, Nanoteknoloji Farkındalığı, Karma Yöntem

ABSTRACT

MASTER’S THESIS

THE EXAMINATION OF THE EFFECTS OF STEM-BASED INSTRUCTION SUPPORTED BY APPLIED NANOTECHNOLOGY ACTIVITIES ON 7TH GRADE MIDDLE SCHOOL STUDENTS NANOTECHNOLOGY AWARENESS AND CRITICAL THINKING SKILLS

Gölnaz BULUT KARAKAYA

**Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Science Education**

**Advisor: Prof. Dr. Esin KAYA
Co-Advisor: Prof. Dr. Bekir YILDIRIM**

The aim of this study is to investigate the effects of integrating STEM-based nanotechnology activities into the topics of the “Pure Substances and Mixtures” unit in the 7th-grade science curriculum on students’ nanotechnology awareness and critical thinking skills. In this study, a concurrent embedded mixed-methods design was employed. The number of attendants/(or) The participants consisted of 48 seventh-grade students studying at a middle school in the central district of Muş during the 2024–2025 academic year. A pre-test post-test quasi-experimental design with a control group was used in the quantitative research. The “Nanotechnology Awareness Questionnaire” and the “Critical Thinking Scale” were employed as quantitative data collection tools, and the “Nanotechnology Applications Interview Form” was used to collect qualitative data. Quantitative data were analyzed using IBM SPSS Statistics 23.0, while qualitative data were analyzed through content analysis. The consequences/(or)The results revealed that STEM-based nanotechnology activities created a statistically significant increase in students’ nanotechnology awareness. However, no significant difference was detected in their critical thinking skills. The analysis of interview data showed that students held positive opinions about nanotechnology.

2026, 110 Pages

Keywords: Nanotechnology Education, STEM, Middle School Students, Critical Thinking, Nanotechnology Awareness, Mixed Management

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgi, deneyim ve rehberliğiyle bana yol gösteren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer danışman hocalarım Prof. Dr. Esin KAYA ve Prof. Dr. Bekir YILDIRIM'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendileri, akademik bakış açımı geliştirmemde ve araştırmamı şekillendirmemde büyük katkı sağlamıştır.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca beni daima destekleyen, sevgileri ve sabırlarıyla her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim. Onların inancı ve teşviki olmasaydı, bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmazdı.

Emekleri, anlayışları ve katkıları için tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve araştırma sürecinde bana yardımcı olan herkese de içtenlikle teşekkür ederim.

Gölnaz BULUT KARAKAYA
MUŞ-2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem Durumu.....	1
1.2. Araştırmanın Problem Cümlesi	2
1.3. Araştırmanın Alt Problemleri	2
1.4. Araştırmanın Amacı ve Önemi	3
1.5. Araştırmanın Varsayımları	3
1.6. Araştırmanın Sınırlılıkları.....	3
1.7. Araştırmanın Tanımları.....	4
1.8. Kuramsal Çerçeve.....	4
1.8.1. Nanoteknoloji Nedir?.....	4
1.8.2. Nanoteknoloji Niçin Önemlidir?	6
1.8.3. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları	7
1.8.4. Nanomalzemeler	11
1.8.5. Doğal Nanoyapılar.....	15
1.8.6. Nanoteknoloji Eğitimi.....	17
1.8.7. STEM Eğitimi.....	23
1.8.8. STEM ve Nanoteknoloji Eğitimi	28
2. YÖNTEM	33
2.1. Araştırmanın Modeli.....	33
2.1.1. Nicel Boyut	33
2.1.2. Nitel Boyut.....	34
2.2. Çalışma Grubu	34
2.3. Veri Toplama Araçları	35
2.3.1. Nanoteknoloji Farkındalık Anketi	35
2.3.2. Eleştirel Düşünme Ölçeği	36
2.3.3. Nanoteknoloji Uygulamaları Görüş Formu	36
2.4. Verilerin Analizi	37
2.4.1. Nicel Veri Analizi	38
2.4.2. Nitel Veri Analizi.....	38
2.5. Uygulama Süreci.....	38
3. BULGULAR.....	53

3.1. Birinci Alt Probleme İlişkin Bulgular.....	53
3.2. İkinci alt probleme ilişkin bulgular.....	55
3.3. Üçüncü alt probleme ilişkin bulgular.....	57
4. ARAŞTIRMANIN SONUÇLARI VE TARTIŞMA	67
KAYNAKLAR	72
EKLER	80
ÖZGEÇMİŞ	98



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

CO ₂	: Karbondioksit
GO	: Grafen Oksit
NO ₂	: Azotdioksit
SO ₂	: Kükürtdioksit

Kısaltmalar

CNT	: Karbon Nanotüp
MEB	: Millî Eğitim Bakanlığı
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı)
NSF	: National Science Foundation (Ulusal Bilim Vakfı)
NST	: Nanobilim ve Nanoteknoloji
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
STEM	: Science Technology Engineering Mathematics
TGA	: Tahmin Et, Gözle, Açıkla
TRİZ	: Yaratıcı Problem Çözme Teorisi
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Altın atomunun 1 nm skalaya yerleştirilmiş görüntüsü (Beşergil, 2025).....	5
Şekil 1. 2. Nanometre Skalası (Saallah ve Lenggoro, 2018).....	5
Şekil 1. 3. Fulleren yapısı (Nishiyama, 2015)	6
Şekil 1. 4. Akıllı nano ilaç paketi düzeneği (Erkoç, 2020).....	9
Şekil 1. 5. Gluten algılayıcı (Güloğlu, 2016)	9
Şekil 1. 6. RoboBees (İTÜÇekirdek, 2025).....	11
Şekil 1. 7. Karbon nanomalzemeler (Beşergil, 2025).....	12
Şekil 1. 8. Fulleren örnekleri (Beşergil, 2025)	12
Şekil 1. 9. Karbon nanotüp çeşitleri şematik gösterimi (Beşergil, 2025).....	13
Şekil 1. 10. a) Grafen su arıtmada kullanılıyor. b) Grafit Tabakaları (Yetiş, 2023).....	14
Şekil 1. 11. Grafen ve Grafen oksit yapısı (Bedeloğlu ve Taş, 2016).....	15
Şekil 1. 12. Lotus Etkisi (Ünallı, 2025).....	15
Şekil 1. 13. Geko kertenkelesi ayağı (Beşergil, 2025)	16
Şekil 1. 14. Güve Gözünün Yapısı (Han ve ark., 2016)	16
Şekil 1. 15. Ateşböceği ışığı (Starr, 2025).....	17
Şekil 2. 1. Lahana Yaprağı Etkinlik Resimleri	41
Şekil 2. 2. Grup Tasarımları	41
Şekil 2. 3. Geko Kertenkelesinin Ayak Yapısı Etkinliği	43
Şekil 2. 4. Geko Kertenkelesi Ayak Yapısı ve Nanoteknoloji Uygulamaları Grup Tasarımları	44
Şekil 2. 5. Nano Altın ve Nano Gümüş Etkinliği	46
Şekil 2. 6. Nano altın ve Nano gümüş Etkinliği Grup Tasarımları	47
Şekil 2. 7. Karbon Nanotüp Etkinliği	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Katılımcıların demografik özellikleri ve nano teknolojiye yönelik bilgi düzeyleri	53
Çizelge 3. 2. Katılımcıların Ön Test ve Son Test Nano Teknolojik Farkındalık Puanlarının Karşılaştırılması	53
Çizelge 3. 3. Nanoteknoloji Farkındalık Ölçeği Etki Büyüklüğü.....	54
Çizelge 3. 4. Katılımcıların Ön Test ve Son Test Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği Puanlarının Karşılaştırılması	55
Çizelge 3. 5. Eleştirel Düşünme Ölçeği Grup İçi ve Gruplar Arası Etki Büyüklükleri..	56
Çizelge 3. 6. Nanoteknoloji nedir? Sorusuna verilen cevapların tema kod ve frekans tabloları.....	57
Çizelge 3. 7. Günlük hayatta nerelerde karşınıza çıkar? Sorusuna verilen cevapların tema kod ve frekans tabloları.....	58
Çizelge 3. 8. Nanoteknoloji ile ilgili etkinlikler sırasında en çok hangi bilgiyi öğrendiğinizi düşünüyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları	59
Çizelge 3. 9. Bu bilgi günlük yaşamda nasıl işinize yarayabilir? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları	60
Çizelge 3. 10. Bu etkinliklerde sizi en çok zorlayan kısım neydi? Bu zorlukları nasıl aşabileceğinizi düşündünüz? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.	61
Çizelge 3. 11. Nanoteknoloji ile ilgili görüşleriniz etkinlikler sonrası değişti mi? Neden? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.	62
Çizelge 3. 12. Bu etkinliklerde grup halinde çalışmak size nasıl bir katkı sağladı? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.	63
Çizelge 3. 13. Nanoteknolojinin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere nasıl bir etkisi olduğunu düşünüyorsunuz? Örnek vererek açıklayınız. Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.	64
Çizelge 3. 14. Nanoteknoloji ile ilgili öğrendiğiniz üç önemli kavramı yazınız ve bunları kısaca açıklayınız. Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.	65

1. GİRİŞ

1.1. Problem Durumu

Her dönem, insan yaşamını önemli ölçüde etkileyen teknolojik gelişmelere sahne olmuştur (Eyüpoğlu, 2017). Günümüzde ise bu dönemi “nanoteknoloji çağı” olarak adlandırmak yerinde olabilir. Bu kavramın temelleri, Richard Feynman’ın Aralık 1959’da California Teknoloji Enstitüsü’nde yaptığı “There is Plenty of Room at the Bottom” (“Aşağıda Çok Yer Var”) başlıklı konuşmaya dayanmaktadır. Feynman, konuşmasında doğadan ilham alan insan tasarımıyla atomik ölçekte daha önce mümkün olmayan hassas sistemlerin geliştirilebileceğini dile getirmiştir (Allhoff ve ark., 2017). Atom düzeyindeki hassas mühendisliğe dayanan nanoteknoloji; nano boyuttaki materyallerin dikkatli ve kontrollü bir şekilde manipüle edilmesini, konumlandırılmasını, modellenmesini, ölçülmesini ve üretilmesini sağlayarak yeni özellik ve işlevlere sahip malzemeler ile cihazların geliştirilmesine olanak tanıyan önemli bir teknoloji alanıdır (Nasrollahzadeh ve ark., 2019). Sanayide devrim yaratma potansiyeli göz önüne alındığında, hızla değişen dünyamızda bu teknolojik ilerlemeyi yakalamak büyük önem taşımaktadır (Tüylek, 2021).

Nanobilim ve nanoteknoloji, günümüz araştırmalarında öncü konumda yer almakta ve 21. yüzyılın yeni bir devrimi olarak görülmektedir (Sebastian ve ark., 2016). Nanobilim, nano boyuttaki maddenin kontrolü ve manipülasyonu sırasında ortaya çıkan olguları araştırırken; nanoteknoloji, bu boyuttaki yapıların entegre edilmesini ve atomik-moleküler düzeyde malzemelerin üretim ile kullanımını kapsayan geniş bir alanı ifade eder (Bostancı ve ark., 2021). Bireysel ve toplumsal ihtiyaçlara cevap veren nanoteknoloji; tekstilden ilaca, temizlik ürünlerinden uçak kaplamalarına kadar pek çok alanda doğrudan hayatı kolaylaştırmakta ve modern yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmektedir (Tüylek, 2021).

Günümüzde toplumsal, bireysel ve ekonomik beklentilerin giderek arttığı düşünüldüğünde, nanobilim ve nanoteknoloji alanlarının ürün geliştirme ve yenilikçi çözümler üretme açısından önem kazandığı görülmektedir (Zor, 2017). Nitelikli bilim insanı ve mühendis yetiştirilmesi, nanoteknoloji eğitimi sayesinde mümkün olacaktır (Çavdar ve ark., 2024). Fen öğretiminin temel hedeflerinden biri, bireylerin bilim okuryazarlık düzeylerini artırmaktır (Kılıç ve ark., 2008). Bu doğrultuda, ülkemizde ilköğretim seviyesinde Fen Bilimleri Dersi öğretim programının ana amacı, bilimsel

okuryazar bireyler yetiştirmek olarak belirlenmiştir. Nitekim, 2005 yılında uygulamaya konulan Fen ve Teknoloji Dersi Öğretim Programı'nın vizyonunda tüm öğrencilerin fen ve teknoloji okuryazarı olarak yetiştirilmesi açıkça vurgulanmış; söz konusu vizyon 2013 öğretim programında da korunarak devam ettirilmiştir (Keskin ve ark., 2016).

Fen okuryazarlığı; fen bilimlerine yönelik bilgi, beceri ve olumlu tutumların, araştırma yapma, problem çözme, etkili iletişim kurma, iş birliği yapma ve sürdürülebilir kalkınma bilinci gibi 21. yüzyıl becerileriyle bütünleşmesinden oluşan çok boyutlu bir yetkinlik alanıdır (Kaya ve ark., 2013). Bu yetkinliğin günümüzdeki önemli bileşenlerinden biri ise, doğal çevre ve toplumsal bağlamda nanoteknolojiye yönelik araştırma ve uygulamaları kapsayan nano-okuryazarlıktır (Aslan ve ark., 2015).

Nanoteknolojinin disiplinler arası ve çok yönlü yapısı, eğitim alanında yenilikçi öğretim yöntemlerinin uygulanabilmesine zemin hazırlamaktadır (Tekelioğlu, 2019). Bu bağlamda, özellikle STEM eğitimi öne çıkan bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Farklı disiplinleri bütünleştiren pedagojik bir model olan STEM; öğrencilerin disiplinler arası iş birliğine dayalı çalışmalar yürütmelerine, derinlemesine öğrenme süreçlerine katılmalarına ve bilgilerini gerçek yaşam bağlamında uygulamalarına imkân tanımaktadır. Ayrıca bu yaklaşım, eleştirel düşünme, problem çözme, iletişim ve iş birliği gibi 21. yüzyıl becerilerinin gelişimine de önemli katkılar sağlamaktadır (Yıldırım ve ark., 2017).

1.2. Araştırmanın Problem Cümlesi

STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleriyle desteklenen öğretim sürecinin ortaokul 7. sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarına ve öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerine etkisi nedir?

1.3. Araştırmanın Alt Problemleri

1. STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin ortaokul 7. sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarına etkisi nedir?

2. STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleriyle desteklenmiş öğretim sürecinin öğrencilerin eleştirel düşünme becerileri üzerine etkisi var mıdır?

3. STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleriyle desteklenmiş öğretim sürecine ilişkin öğrenci görüşleri nelerdir?

1.4. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı; Fen Bilimleri dersi 7. sınıf öğretim programında yer alan ‘Saf Madde ve Karışımlar’ ünitesinde yer alan konulara STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin dâhil edilmesinin öğrenciler üzerindeki etkisini araştırmaktır. “Saf Madde ve Karışımlar” ünitesindeki konulara STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin dahil edilmesinin öğrencilerin nanoteknoloji farkındalıkları, eleştirel düşünme becerileri üzerindeki etkisi araştırılacak ve öğrencilerin nanoteknoloji etkinliklerine ilişkin görüşleri alınacaktır.

Literatür incelendiğinde fen bilimleri eğitiminde ortaokul düzeyinde nanoteknoloji ve STEM uygulamalarını birlikte ele alan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu bağlamda STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin öğrencilerin nanoteknoloji farkındalıkları ve eleştirel düşünme becerileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmanın söz konusu alandaki sınırlı çalışmalara katkı sağlaması ve fen eğitimi alanına yeni bir bakış açısı kazandırması beklenmektedir.

1.5. Araştırmanın Varsayımları

1. Araştırmaya katılan ortaokul 7. Sınıf öğrencilerinin ölçme araçlarına objektif cevaplar verdikleri varsayılmıştır.
2. Araştırmaya dahil olan grupların birbirlerini etkilemediği ve veri toplama araçlarına verdikleri cevaplara yansımadağı varsayılmıştır.

1.6. Araştırmanın Sınırlılıkları

1. Bu çalışma 2024-2025 Eğitim-Öğretim Yılı ile sınırlıdır.
2. Bu çalışma 2024-2025 Yılı Muş ili Merkez ilçesindeki bir ortaokulda 7. sınıfta öğrenim gören 48 öğrenci ile sınırlıdır.
3. Bu çalışma Fen Bilimleri dersi “Saf Madde ve Karışımlar” ünitesindeki konular ile sınırlıdır.
4. Bu çalışma “nilüfer (lotus) bitkisinin kendini temizleme özelliği ve nanoteknoloji”, “Geko kertenkelesinin ayak yapısı ve nanoteknolojideki kullanım alanları”, “nano altın ve nano gümüş”, “karbon nanotüplerin yapısı ve kullanım alanları” etkinlikleri ile sınırlıdır.

1.7. Araştırmanın Tanımları

Nanoteknoloji: 1 nanometre ile 100 nanometre arasındaki yapıları içeren bir teknoloji alanını ifade eder (Tüylek, 2021).

Nanobilim: Nano boyuttaki maddenin manipülasyonu ve denetimi sırasında ortaya çıkan olguların araştırıldığı bilim alanını ifade eder (Bostancı ve ark., 2021).

Nanometre: Metrenin milyarda biri olarak ifade edilir (Nasrollahzadeh ve ark., 2019)

1.8. Kuramsal Çerçeve

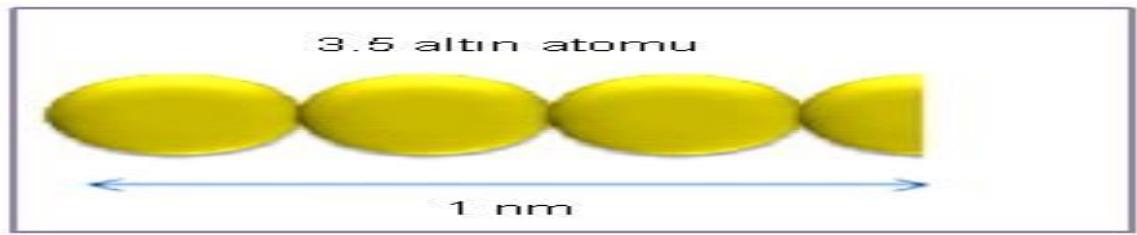
1.8.1. Nanoteknoloji Nedir?

Yunanca "nano" öneki “çok kısa adam” ya da “cüce” anlamındadır ve metrik sistemde metrenin milyarda biri olarak ifade edilerek bir boyut veya zaman küçülmesini ifade eder (Nagarale, 2022). Nanoteknoloji, teknolojinin büyük makroskobik dünyadan milimetre ölçeğindeki nesnelere (örneğin, ilk transistör), ardından mikron boyutlarına (örneğin, bütünleşmiş devreler) ve sonunda nano boyutlarına (örneğin, kuantum noktası) kadar küçülerek gelişmesinin doğal bir sonucudur. Bu, metrik sistemde metrenin milyarda biri olarak ifade edilen bir ölçekle gerçekleşir. Bu ölçeklerde sistemlerin mekanik hareketleri normal sistemlere göre farklılaşmaktadır (Nanobilim ve Nanoteknoloji Strateji Grubu, 2004). Nanoteknoloji, 1 nanometre ile 100 nanometre arasındaki boyutlara sahip yapılarla ilgilenen bir teknoloji alanıdır. Başka bir ifadeyle, bu alanın uygulama ölçeği 1-100 nm aralığında tanımlanmaktadır (Tüylek, 2021). Metreden bir milyar kat daha küçük boyutlardaki malzemelerin manipülasyonu ve kontrolünü mümkün kılan nanoteknoloji, bu özelliği sayesinde bilimsel ve endüstriyel alanlarda devrim niteliğinde gelişmelerin önünü açmaktadır (Nasrollahzadeh ve ark., 2019).

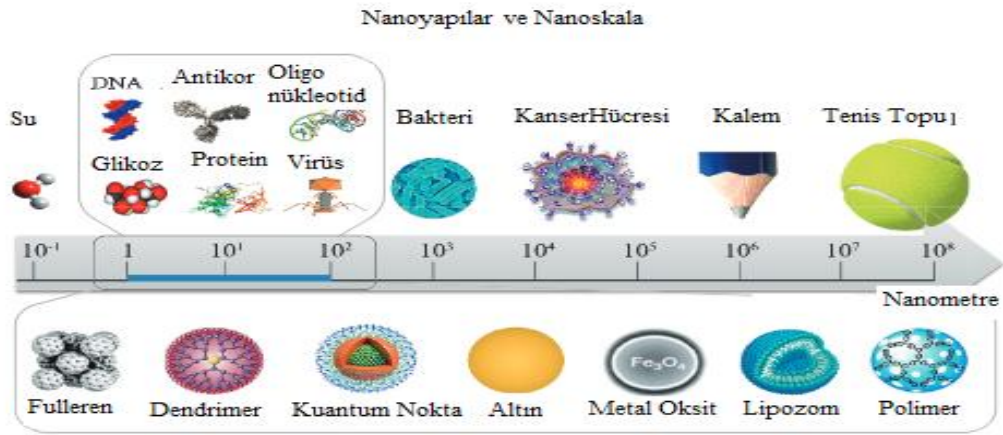
Nanoteknoloji; nanobilim, nano malzemeler, nano tıp, nano ölçüm, nano manipülasyon, nano elektronik ve nano robotik gibi pek çok alt alanı bünyesinde barındırmaktadır (Sadiku ve ark., 2021). Aslında yeni bir kavram olmayan “nanoteknoloji” terimi, ilk kez 1974 yılında Tokyo Üniversitesi’nden Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır (Ramsden, 2005). Taniguchi, “On The Basic Concept Of Nano-Technology” (“Temel Nano-Teknoloji Kavramı Hakkında”) başlıklı çalışmasında nanoteknolojiyi, mühendislik malzemelerinin nanometrik ölçekte sınıflandırılması, tasarlanması ve üretilmesi olarak tanımlamıştır. Ancak bu tanım zamanla genişletilerek

yalnızca mühendislik malzemeleriyle sınırlı kalmamış; nano ölçeklerde üretilebilecek araç, gereç ve sistemleri de kapsar hâle gelmiştir (Ramsden, 2005; Allhoff ve ark., 2017).

Bu tür sistemlerin geliştirilmesi, ancak nano boyutlarda yürütülecek çalışmalarla mümkün olabilmektedir. Bir atom veya çok küçük atom gruplarını “nano obje” ya da “nano malzeme” olarak adlandırmak için alt ölçek sınırı 1 nanometre olarak kabul edilir. Dolayısıyla nanomalzemeler, 1 ile 100 nanometre arasındaki boyutlarda bulunan malzemelerdir (Beşergil, 2025).



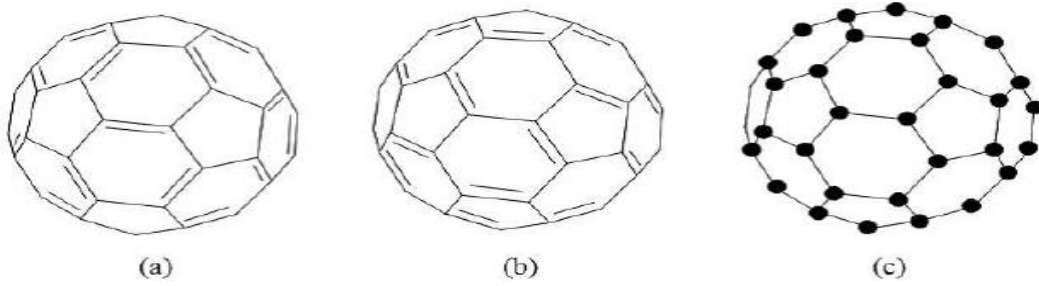
Şekil 1. 1. Altın atomunun 1 nm skalaya yerleştirilmiş görüntüsü (Beşergil, 2025)



Şekil 1. 2. Nanometre Skalası (Saallah ve Lenggoro, 2018)

Nanomalzemeler, boyut olarak tek bir atomdan daha büyük, ancak bakteri ve hücrelerden daha küçük ölçekte yer almaktadır. Örneğin, hacimsel (bulk) malzemeler ile karşılaştırıldığında, bu malzemeler tenis topu büyüklüğünde boyutlara ulaşabilir (Beşergil, 2025). Bu boyut kıyaslaması Şekil 1.2.’deki skalada gösterilmektedir. Nano malzemelerin keşfi, “Bucky topu” ile başlamıştır. 1985 yılında R.E. Smalley, H.W. Kroto ve R.F. Curl, 60 karbon atomundan oluşan karbon elementinin yeni bir allotropunu ortaya çıkarmıştır. Yapısal olarak, mimar Richard Buckminster Fuller’in tasarladığı jeodezik kubbelerine benzediği için bu allotroplar “Buckminsterfullerene” ya

da yaygın adıyla “Bucky Topu” (Fulleren) olarak adlandırılmıştır (Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, 2025). Fullerenler, farklı sayılarda karbon atomlarından oluşan allotropik yapıya sahip nano ölçekli kafes yapılarıdır (Yalçın, 2023).



Şekil 1. 3. Fulleren yapısı (Nishiyama, 2015)

Atom ve moleküller, nano boyutlarda dikkatlice birleştirilerek 1-100 nanometre arasındaki işlevsel yapıların tasarlanıp üretilmesi sağlanır; bu süreç, atom ve moleküllerin dizilimindeki değişikliklerle maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini farklılaştırır ve bilim insanlarının mevcut teknolojileri geliştirme çabalarına yol açar (Tüylek, 2018.) Antik dönemdeki ve günümüze kadar ulaşan birçok eserde, nanoteknolojik uygulamalara rastlamak mümkündür ve bu uygulamalarda özellikle nanoparçacıkların kullanımı oldukça dikkat çekicidir (Benli, 2008).

1.8.2. Nanoteknoloji Niçin Önemlidir?

Nanoteknoloji, atom ve molekül düzeyinde maddelerin tasarımı ve üretimiyle ilgilenen multidisipliner bir bilim dalıdır (Erkoç, 2020). Bu alan, maddelerin nano ölçeklerdeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirme ve kontrol etme olanağı sağlar (Roco ve ark., 2011). Bu sayede, nanoteknoloji pek çok sektörde yenilikçi çözümler geliştirmek için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Bhushan, 2017). Özellikle enerji alanında nanomalzemeler, güneş pilleri ve bataryaların verimliliğini ve dayanıklılığını artırmaktadır (Erkoç, 2020). Çevre teknolojilerinde ise nanoteknoloji, suyun arıtılması ve kirliliğin kontrolü gibi kritik sorunlara etkili çözümler sunmaktadır (Nasrollahzadeh ve ark., 2019). Ayrıca, elektronik ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, nanoteknolojinin sağladığı daha küçük ve enerji tasarruflu cihaz üretiminde önemli rol oynamaktadır (Bhushan, 2017).

Geniş kapsamıyla nanoteknoloji, sürdürülebilirlikten küresel kriz senaryolarına kadar önemli potansiyeller barındırmaktadır (Zhu ve ark., 2021). Örneğin, dünya

genelindeki açlık ve enerji sorunlarını çözme, hatta uzay asansörleri ve sibernetik varlıklar yaratma gibi yenilikçi uygulamalara kapı aralayabilir (Allhoff ve ark., 2017). Bununla birlikte, doğanın temel yapılarını yanlışlıkla veya bilinçsizce değiştirme riskini de taşımaktadır (Allhoff ve ark., 2017). Günümüzde nanoteknoloji hızla gelişirken, çevresel ve sağlık risklerinin yanında görünmezlik kılıfı ve akıllı toz gibi yenilikçi ürünler de ortaya çıkmaktadır (Nasrollahzadeh ve ark., 2019). Bu nedenle, nanoteknolojinin geleceği hakkında daha fazla araştırma yapılması ve potansiyel etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir (Tüylek, 2021).

Nanopartiküller, kuantum fiziğinin etkisi altında olduğundan makroskobik maddelerden farklı davranışlar sergiler (Hood, 2004). Bu benzersiz özellikler, iletkenlikten optik duyarlılığa kadar çeşitli alanlarda farklı performanslar ortaya koyar (Roco, ve ark., 2011). Aynı kimyasal yapı, nano boyutta farklı renkler, elektronik ve manyetik özellikler kazanabilir; bu da nanoteknolojinin gücünü ve önemini artırır (Hood, 2004). Bu gelişmeler ışığında, nanoteknolojinin çeşitli disiplinlerde sunduğu fırsatları anlamak ve bu alanda uzmanlaşmak giderek daha kritik hale gelmektedir (Tüylek, 2021).

1.8.3. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

1.8.3.1. Bilgisayar Teknolojileri ve Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin gelişimi, elektronik cihazların boyutlarının nanometre ölçeğine kadar küçülmesini sağlamış ve bu durum bilgi işlem alanında yeni yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, modern bilgisayarların temel yapıtaşlarından olan transistörlerin boyutları önemli ölçüde küçülmüş; 2000’li yılların başında 130-250 nanometre arasında değişen transistörler, 2016 yılında Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı’nda karbon nanotüpler ve molibden disülfür (MoS_2) kullanılarak 1 nanometre boyutuna indirilmiştir. Bu gelişme, nanoteknolojinin cihazların küçültülmesindeki potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır (Yakar, 2018).

Öte yandan, elektronik cihazların küçülmesi ve işlem kapasitesinin artması, bilgi işlemde klasik yöntemlerin yetersiz kalmasına yol açmış ve kuantum bilgi işleme teknolojilerinin geliştirilmesini gerektirmiştir. Kuantum bilgisayarlar, yüksek bilgi işlem hızları sayesinde yakın gelecekte gelişmiş ülkelerde standart bilgisayarların yerini alması beklenen teknolojilerdir. Örneğin, 16 bitlik işlem kapasitesine sahip bir kuantum bilgisayar, geleneksel bilgisayarların yaklaşık üç yüz yıl sürecekt karmaşık bir

hesaplamayı yalnızca bir ayda tamamlayabilmekte ve böylece, nanoteknoloji ve kuantum bilgi işleme alanlarındaki ilerlemeler, bilgi işlem teknolojilerinde devrim niteliğinde dönüşümlere işaret etmektedir denilebilir. (Demir, 2024).

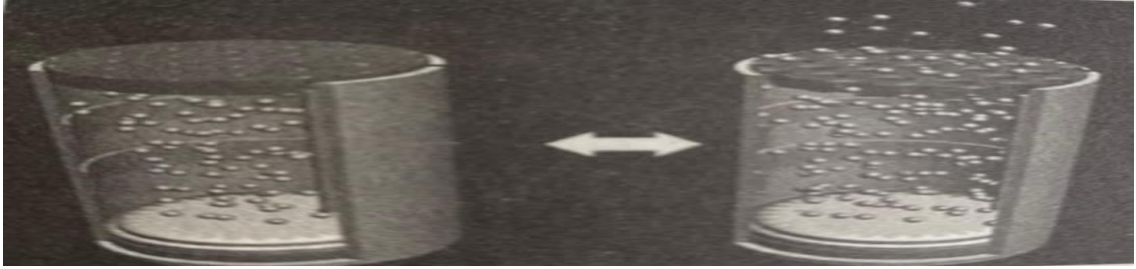
1.8.3.2. Havacılık ve Uzay Alanında Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, havacılık sektöründe malzeme dayanıklılığını artırma, ağırlığı azaltma ve yakıt verimliliğini geliştirme konularında önemli bir yer tutmaktadır. Nano-kompozitler, uçak gövdeleri ve kanat yapılarında kullanılarak yapısal mukavemeti güçlendirirken; karbon nanotüpler gibi ileri düzey malzemeler hem hafiflik hem de yüksek dayanıklılık sağlamaktadır. Bunun yanı sıra nano kaplamalar, uçak yüzeylerinde buzlanmayı engelleyerek aerodinamik performansı yükseltir. Bu gelişmeler, bakım maliyetlerinin düşmesine, uçuş güvenliğinin artmasına ve enerji kullanımının daha verimli hâle gelmesine katkı sağlar (Mathew ve ark., 2019). Havacılık ve uzay araçlarının daha hafif, uzun ömürlü ve dayanıklı malzemelerle üretilmesi, işletme maliyetlerini düşürürken azaltılan ağırlığın yakıt kapasitesine eklenmesiyle daha uzun menzilli seferler mümkün hâle gelmektedir (Yardımcı, 2012). Uzay araştırmaları bağlamında NASA Ames Araştırma Merkezi, nanoteknolojiye yönelik çalışmalarda önde gelen kuruluşlardan biri olarak; yüksek hassasiyetli, küçük boyutlu algılayıcılar ve gelişmiş bilgi depolama sistemlerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır (Özer, 2019).

1.8.3.3. Tıp ve Sağlık Alanında Nanoteknoloji

Biyo-nanoteknoloji, teşhis, ilaç dağıtımı ve moleküler görüntüleme gibi sağlık alanlarında önemli ilerlemeler sağlamış; özellikle nano-onkoloji ve aşı geliştirme süreçlerinde, hedefe yönelik tedavi ve bağışıklık sistemini güçlendirme amacıyla etkin şekilde kullanılmıştır. SARS-CoV-2 pandemisinde nanopartikül temelli sistemlerin modern mRNA aşılarının geliştirilmesinde kritik bir rol oynaması, nanoteknolojinin sağlık alanındaki uygulanabilirliğini somut olarak ortaya koymuştur (Dikme ve Padak, 2022). Nanoteknoloji, kanser gibi hastalıkların erken ve doğru teşhisi ile kişiye özgü tedavi yöntemlerinin geliştirilmesinde yüksek potansiyele sahiptir; implant malzemelerinin üretimi ve gen tedavisinde kullanılan nano sistemler de bu alanın öne çıkan uygulamaları arasında yer almaktadır (Tüylek, 2021). Nanoteknolojinin tıp alanındaki en önemli kullanım alanlarından biri ilaç salımıdır. Bu yöntemde, ilaçlar nanoparçacıklara yüklenerek hastaya uygulanır; nanoparçacıklar hastalıklı hücreleri hedef alarak ilacı doğrudan bu bölgelere taşır ve sağlıklı dokulara zarar vermeden tedavi

sağlar. Kanser tedavisinde kullanılan kemoterapi ilaçlarının yalnızca çok küçük bir kısmının (%1 gibi) hastalıklı bölgeye ulaşabildiği düşünüldüğünde, nanoteknoloji sayesinde ilacın yalnızca hedef dokuya iletilmesi hem tedavi etkinliğini artırmakta hem de yan etkileri azaltmaktadır (Yakar, 2018). Ayrıca, sürekli ilaç kullanması gereken hastalar için vücuda yerleştirilebilen ve gerektiğinde ilaç salımı yapabilen nano ilaç paketlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da devam etmektedir (Erkoç, 2020)



Şekil 1. 4. Akıllı nano ilaç paketi düzenneği (Erkoç, 2020)

Deriye yerleştirilen ter algılayıcılar sayesinde terin bileşimi analiz edilerek su ve tuz dengesi izlenebilir, olumsuz bir durumda vücuda uyarı verilerek, şoförlerin uyku durumu bilek, direksiyon veya koltuk sensörleriyle nabız ve solunum ritmi takip edilerek tespit edilebilir. Ayrıca, çölyak hastaları için geliştirilen gluten algılayıcılar, yiyeceklerde gluten varlığını hızlıca belirleyebilmektedir(Erkoç, 2020).



Şekil 1. 5. Gluten algılayıcı (Güloğlu, 2016)

Nano küreler ve nano robotlar, biyouyumlu yapıları sayesinde ilaçların hedeflenen bölgelere güvenli ve kontrollü şekilde iletilmesini sağlar; nano robotlar ayrıca mikroskobik boyutlarıyla hastalık tespiti ve ilaç hedeflemede kullanılabilir. Biyosensörler ve biyoçipler, nanomalzemeler ve mikroişlemci teknolojileriyle biyolojik sinyalleri hassas şekilde analiz ederek kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarına imkân verir (Tüylek, 2019).

1.8.3.4. Çevre ve Enerjide Nanoteknoloji

Sanayileşmenin yol açtığı NO₂, SO₂ ve CO₂ gibi zararlı gazların kontrolünde, nano sensörler, nano katalizörler, nanokompozitler, nano filtreler ve nano biyomalzemeler aracılığıyla hava kirleticilerinin yüksek verimle azaltılması sağlanabilmektedir. Nanoteknoloji; nano kaplamalar, su arıtma sistemlerinde kullanılan nano filtreler, nanopartiküller, nano foto katalizörler, nano kil ve karbon nanotüpler gibi modern araçlarla hem hava hem de su kirliliğini etkin biçimde azaltırken enerji ve hammadde kullanımını da düşürmektedir (Taran ve ark., 2021). Ayrıca, enerji üretiminde verim kayıplarını önleme, pil ömrünü uzatma ve çevresel kirleticilerin tespiti ile temizlenmesine yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu kapsamda, pil yapılarında kullanılan nanoteller depolama kapasitesini ve elektron transferini artırırsa da hassas yapıları ve yeniden şarj edilememeleri önemli bir sınırlılık olarak görülmektedir (Demir, 2024).

1.8.3.5. Biyoteknoloji ve Tarım

Nüfus artışıyla yükselen gıda talebini karşılamak için geliştirilen tarım nanoteknolojisi, sürdürülebilirlik, verimlilik ve ürün kalitesini artırarak açlık ve yetersiz beslenme gibi sorunların çözümünde özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli bir rol oynamaktadır (Neme ve ark., 2021). Nanoteknoloji, tarımsal ürünlerin üretiminden işlenmesine, depolanmasından paketlenip taşınmasına kadar her aşamada geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir (Mousavi ve Rezaei, 2011). Nanoteknoloji tarımda, zararlıların etkisini azaltacak kimyasallar geliştirilmesinden genetik iyileştirmelere ve DNA testlerinin uygulanmasına kadar geniş bir alanda kullanılmakta; ayrıca, arı neslinin tükenmesi riskine karşı Manchester Üniversitesi'nde bitkilerde tozlaşmayı sağlayabilecek mikrorobot arılar ve örümcekler tasarlanmaktadır (Erkoç, 2020). Harvard ve Northeastern Üniversitelerinden bilim insanları, böcek kanat yapısından esinlenerek 3 cm kanat açıklığına, 80 mg ağırlığa ve 15 dakika uçuş kapasitesine sahip, seramik kanatlı ve karbon fiber-titanyum gövdeli dünyanın en küçük uçan robot arılarını geliştirmiştir (Ekici, 2015).



Şekil 1. 6. RoboBees (İTÜÇekirdek, 2025)

1.8.3.6. Savunma

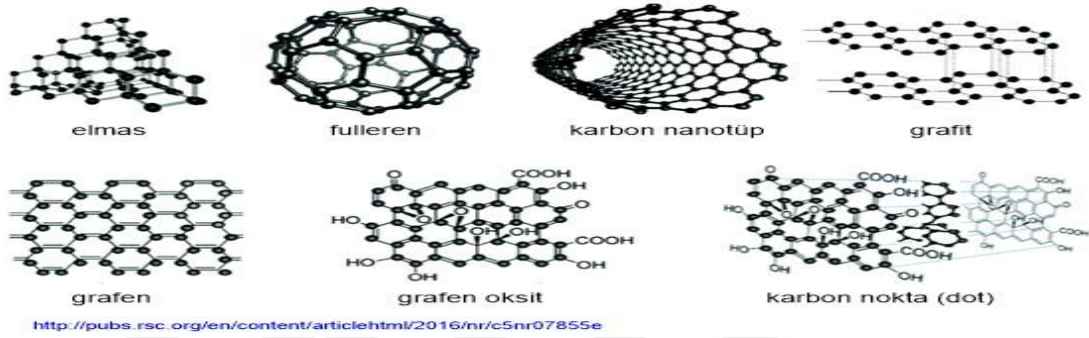
Savunma alanında stratejik bir teknoloji hâline gelen nanoteknoloji; optik sistemler, nano makineler, robotik çözümler, akıllı malzemeler, minyatür ve akıllı silahlar, artırılmış gerçeklik uygulamaları, gelişmiş bellek sistemleri, asker performansını destekleyen ilaçlar ve dış iskeletler, nano elektronik, zırh teknolojileri, akıllı tekstiller, biyo-uyumlu protez ve implantlar, yapay doku-organ-kas üretimi ile kuantum bilgisayar ve iletişim sistemleri gibi birçok alanda, geleceğin askeri yeteneklerini dönüştürme potansiyeli taşımaktadır (Demir, 2024). Savunma sanayinde önemli bir yere sahip olan nanoteknoloji, dayanıklı kumaşlar, olumsuz hava koşullarında kir ve su tutmayan kaplamalı gözlükler ile askerlerin sağlık durumunu izlemeye yönelik biyosensörlerin kullanımını yaygınlaştırma potansiyeline sahiptir (Özer, 2019).

1.8.4. Nanomalzemeler

Nanomalzemeler, boyutları 100 nanometreden küçük olan ve atom ya da moleküllerin özel şekilde düzenlenmesiyle oluşturulan malzemelerdir. İç yapılarındaki serbest elektronların hareket kabiliyetine göre sıfır, bir, iki veya üç boyutlu olarak sınıflandırılan bu malzemeler, farklı yapıları sayesinde çeşitli işlevsel özellikler kazanır (Tüylek, 2016). Nanoyapılar ise, mekanik, fiziksel ve kimyasal süreçlerin birleşimiyle farklı üretim yöntemleri kullanılarak oluşturulan, boyutları nanometre seviyesinde olan sistemlerdir ve ilaç salınımından tekstil kaplamalarına kadar birçok alanda işlevsel olarak kullanılmaktadır (Ersöz ve ark., 2018).

1.8.4.1. Karbon Nanomalzemeler

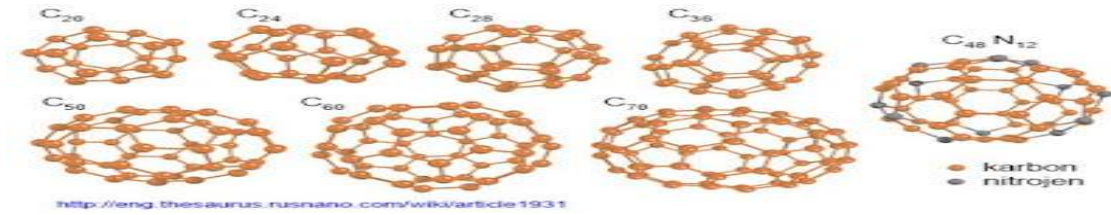
Evrende en yaygın altıncı element olan karbon, insan vücudunda oksijenden sonra en fazla bulunan ikinci elementtir. İnsan vücudunun kütesinin yaklaşık %18'i karbon içermektedir (Yetiş, 2023). Karbon, BC8 (lonsdaleite), elmas, grafit, grafen, fullerenler ve karbon nanotüpler gibi çeşitli moleküler yapılarla birçok farklı allotropa sahiptir (Yalgın, 2023).



Şekil 1. 7. Karbon nanomalzemeler (Beşergil, 2025)

1.8.4.2. Fulleren

Fullerenler, çeşitli karbon allotroplarından oluşan nano ölçekli kafes yapılarıdır. En küçük fulleren yapısı 20 karbon atomu içerirken, bilinen en büyük fulleren ise C540 formundadır (Yalgın, 2023)

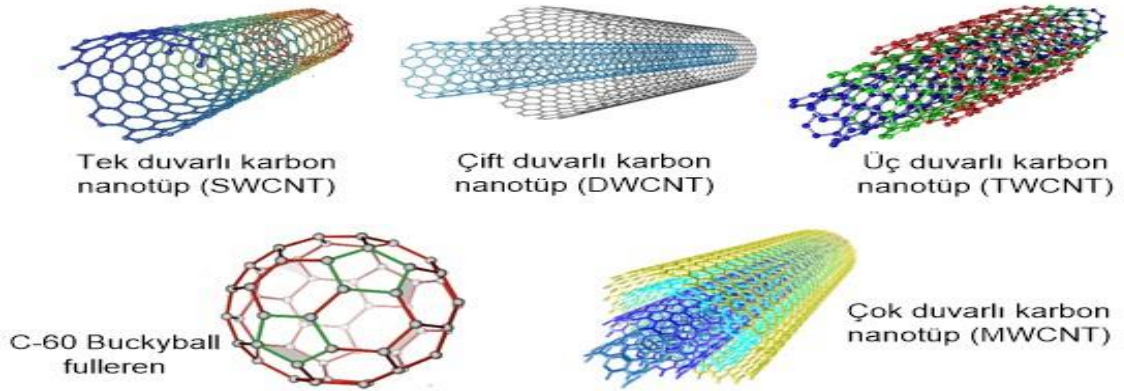


Şekil 1. 8. Fulleren örnekleri (Beşergil, 2025)

1.8.4.3. Karbon nanotüpler

Karbon nanotüpler (CNT), 1990'lardan bu yana olağanüstü özellikleri sayesinde nanoteknolojide önemli bir model haline gelmiş, keşiften ticari ürüne uzanan süreçte dünya çapında yoğun araştırma ve rekabetin odağında yer almıştır (Pul, 2019). Yüksek sağlamlık, hafiflik, elektrik ve ısı iletkenliği gibi üstün niteliklere sahip olan karbon nanotüpler; su arıtma, biyosensör, elektronik, spor malzemeleri ve yapay kas gibi birçok

alandaki kullanılmakta olup, geniş yüzey alanı ve esnek yapılarıyla gelecekte pek çok teknolojik yenilik için ideal malzemeler olarak görülmektedir (Semerci, 2014).



1.8.4.4. Nano Elmas

Karbonun elmas ve grafit gibi çok sayıda allotropu vardır. Elmas, bilinen en sert doğal malzeme olup, karbon atomlarının dörtyüzlü geometrik yapılarla oluşturduğu kristal yapısı sayesinde bu sertliği kazanır. Bu yapısı elması iyi bir ısı iletkeni yaparken elektrik iletmez. Nano ölçekteki yapay elmas parçacıkları, kanser tedavisinde ve yaraların iyileşmesinde etkili olup, ilaçların vücutta daha iyi dağılmasını sağlar (Yetiş, 2023).

1.8.4.5. Nano Altın ve Nano Gümüş

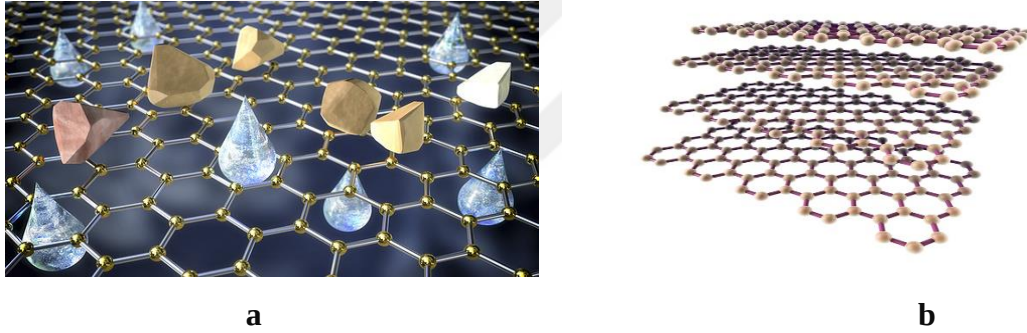
Altın nanopartiküller, uzay, elektronik, sağlık, gıda, otomotiv, yapı, tekstil, bilişim ve mücevher gibi pek çok sektörde yaygın olarak kullanılmakta olup, değerli bir metal olmaları nedeniyle maliyetleri yüksek olsa da özellikle tıp alanında önemli bir yere sahiptir. İlaç iletimi, hastalıkların teşhisi, medikal görüntüleme ve tedavi süreçlerinde etkin rol oynamaktadır (Güney ve ark., 2019). Tarih boyunca kolloidal altın, cam ve seramiklerin renklendirilmesinde kullanılmış; günümüzde ise otomotiv sektöründe geliştirilen nano altın bazlı boyalarla ışık koşullarına göre değişen dinamik renk etkisi sağlayarak araçlara estetik farklılık kazandırmakta, ayrıca bu özellik güvenlik sistemleri, değerli materyallerin korunması ve gizli belgelerin tespiti gibi ileri teknoloji alanlarında da değerlendirilmektedir (Güney ve ark., Küçüksarıyıldız, 2019). Gümüş nanopartiküller ise üstün elektriksel iletkenlik, kimyasal stabilite, katalitik etkinlik ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde yüksek ticarî değere sahip olup bu

nitelikler onların özellikle medikal ve elektronik uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır (Saul, 2018).

1.8.4.6. Grafen ve Grafit

Karbon atomlarının altıgen dizilimle tek katmanlı yapı oluşturmalarıyla meydana gelen grafen, keşfedilen ilk iki boyutlu malzeme olup tek atom kalınlığında, insan saç telinin çapının yaklaşık bir milyonuncu kısmı inceliğinde, ısıyı ve elektriği son derece etkili ileten, çelikten 200 kat daha dayanıklı, hafif ve esnek bir yapıya sahiptir (Yetiş, 2023).

Grafit ise, grafen tabakalarının van der Waals bağlarıyla birbirine tutunarak paketlenmiş halde bulunduğu, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, ısıya dayanıklılık ve metal parçaların hareketini kolaylaştırma özellikleri sayesinde metal endüstrisinde yaygın kullanılan tabakalı yapıda bir karbon allotropudur; bu yapının zayıf bağları, yüksek saflıktaki grafitten kırılarak ayrıldığında grafen üretimi mümkün olmaktadır (Bedeloğlu ve Taş, 2016).



Şekil 1. 10. a) Grafen su arıtmada kullanılıyor. b) Grafit Tabakaları (Yetiş, 2023)

1.8.4.7. Grafen oksit

GO (Grafen Oksit), grafenin kimyasal olarak değiştirilmiş bir formu olup grafen suyu iten bir yapıya sahipken, GO suyu seven özelliğiyle farklılık gösterir. Bu özelliği ile GO, ilaç taşıma, hücre görüntüleme ve biyosensör uygulamaları gibi canlı sistemlerinde kullanım için elverişli hale gelmiştir (Özsobacı ve Ergün, 2023).



Şekil 1. 11. Grafen ve Grafen oksit yapısı (Bedeloğlu ve Taş, 2016)

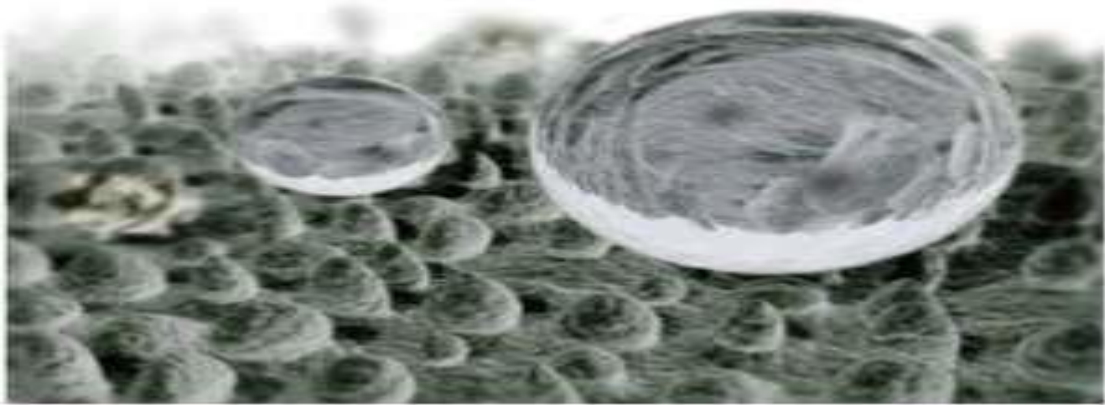
1.8.4.8. Karbon Nokta (Karbon Kuantum Noktacığı)

Karbon noktalar, biyolojik canlılar, bitki ve hayvan atıkları, kimyasal maddeler ya da grafen gibi farklı karbon kaynaklarından kolayca üretilen, vücuda zarar vermeyen, biyouyumlu ve suda çözünebilen yapılardır (Dinç ve Kara, 2018). Boyutları genellikle 10 nanometreden küçük olan bu kristal yapıları yarı iletkenler hem düşük toksisiteleri hem de canlı dokularla kolay uyum sağlamaları sayesinde optik özellikleri bakımından avantajlıdır (Bingül ve ark., 2023).

1.8.5. Doğal Nanoyapılar

1.8.5.1. Nilüfer Yaprığı

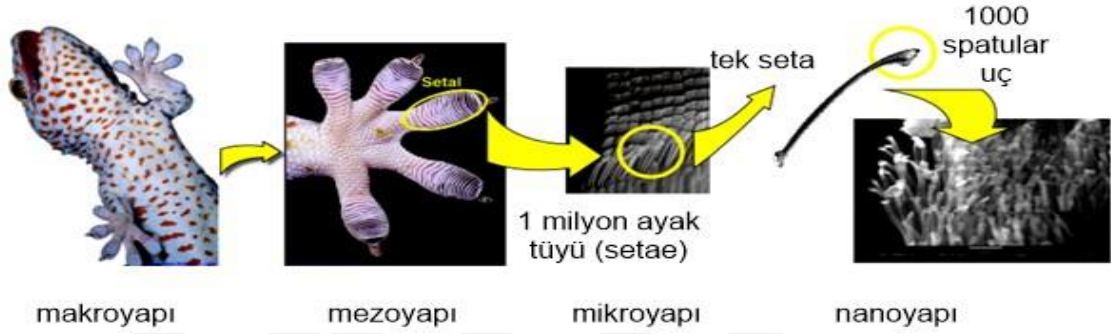
“Lotus etkisi” olarak literatüre giren olgu, Alman botanikçi Wilhelm Barlott’un nilüfer yaprağı üzerine düşen su damlalarının yüzeyde tutunmadığını fark etmesiyle keşfedilmiştir. Nano ölçekte yapılan incelemelerde, yaprak yüzeyinin tamamen düz olmayıp mikroskobik çıkıntılara sahip olduğu görülmüştür. Bu yapı, yaprağa su itici bir özellik kazandırmaktadır. Bu prensipten ilham alınarak leke tutmayan boyalar, giysiler, çeşitli tekstil ürünleri ve cam yüzeyler geliştirilmiştir (Erkoç, 2020).



Şekil 1. 12. Lotus Etkisi (Ünallı, 2025)

1.8.5.2. Nano Yapışkan Adımlar

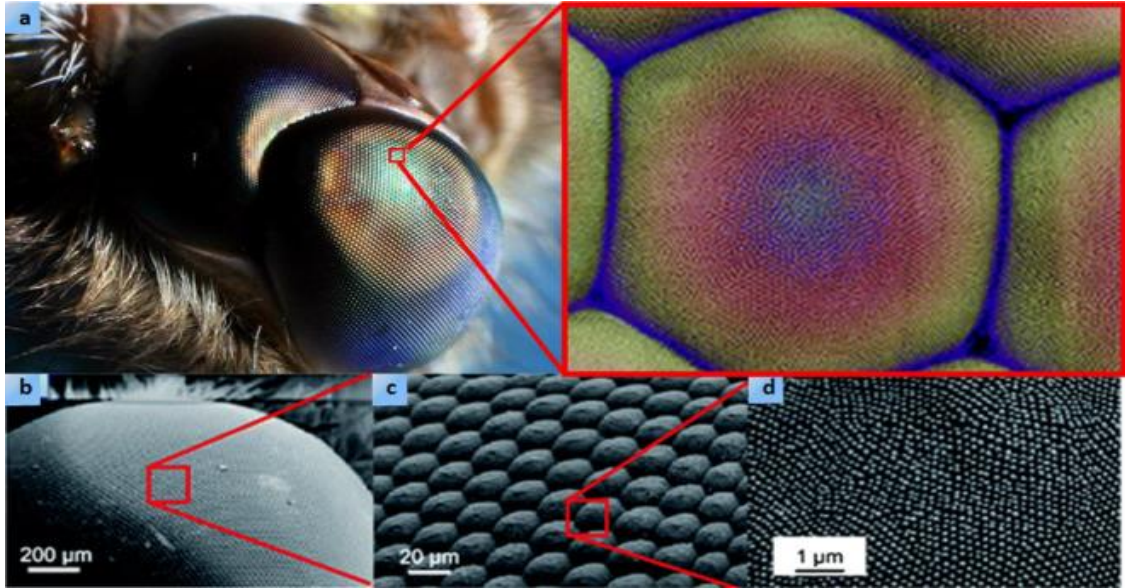
Günlük hayatta sıkça ihtiyaç duyulan geçici yapıştırıcıların doğadaki karşılığı, milyonlarca yıl önce bazı kertenkele türlerinin, özellikle gekoların ayak parmaklarının altındaki yapışkan yapılar sayesinde düz yüzeylere tırmanabilme yeteneği ile çözümlenmiş olup, “tersinebilir” veya “akıllı yapışkanlık” olarak adlandırılan bu mekanizmanın işleyişi, ancak son yirmi beş yılda bilim insanları tarafından anlaşılmaya başlanmıştır (Demirkıran, 2019).



Şekil 1. 13. Geko kertenkelesi ayağı (Beşergil, 2025)

1.8.5.3. Böcek Gözü

Böceklerin ommatidium adı verilen petek göz yapısı, her biri farklı yöne bakan mercekli birimlerden oluşarak onlara geniş görüş açısı ve harekete karşı yüksek hassasiyet sağlar; bu özellik, geniş açılı kamera sistemleri ve biyolojik görüntüleme cihazlarının geliştirilmesinde örnek alınmaktadır (Çelik, 2013).



Şekil 1. 14. Güve Gözünün Yapısı (Han ve ark., 2016)

1.8.5.4. Ateş Böcekleri Biyolüminesansı

Canlı organizmalarda gerçekleşen biyokimyasal tepkimeler sonucunda kimyasal enerjinin görünür ışığa dönüştürülmesi ve bu ışığın çevreye yayılması olayı biyolüminesans ışıma olarak adlandırılır.(Tunç, 2019). Ateş böceğinin ışık yayma özelliğinden esinlenilen özel nanoyapılar, LED merceklerin daha fazla ışık geçirmesini sağlayarak LED’lerin parlaklığını ve verimliliğini artırmaktadır (Kima ve ark., 2012). Syracuse Üniversitesi’ndeki bilim insanları, nano çubukların boyut ve yapısal özelliklerini inceleyerek biyolüminesansı etkili şekilde taklit eden ve ateş böceklerinin doğal ışığını kullanabilen bir sistem geliştirdiler (Yıldırım, 2012).



Şekil 1. 15. Ateşböceği ışığı (Starr, 2025)

1.8.6. Nanoteknoloji Eğitimi

1.8.6.1. Dünyada ve Türkiye’de Nanoteknoloji Eğitiminin Durumu

Dünyada nanoteknoloji eğitimi hızla yaygınlaşmakta ve gelişmiş ülkeler bu alanda çeşitli programlar ve projelerle genç nesilleri donatmayı amaçlamaktadır (Roco ve ark., 2011). Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri’nde “Ulusal Nanoteknoloji Girişimi” ve Ulusal Bilim Kurumu destekli “Nanotechnology Center for Learning and Teaching (NCLT)” ile lise ve üniversite müfredatlarına nanoteknoloji entegrasyonu için ders materyalleri geliştirilmiştir (Alpat ve ark., 2016). Avrupa Birliği ülkelerinde ise “Time for nano”, “Nanototouch” ve “Nanoyou” gibi projelerle nanoteknoloji eğitiminin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Sagun Gököz ve ark., 2014). UNESCO, teknoloji ve diğer disiplinler arasında bağlantı kurarak “Entegre Fen Eğitimi” kapsamında nanoteknoloji eğitimi desteklemektedir (Şahin ve Ekli, 2013).

Türkiye’de nanoteknoloji eğitimi son yıllarda gelişmekle birlikte, henüz ilkökul ve ortaokul seviyesinde yaygın bir uygulama bulunmamaktadır (Ateş ve Üce, 2017).

Lisansüstü düzeyde ise 22 yüksek lisans ve 10 doktora programı ile eğitim verilmektedir; bu veriler 2017 yılında Yüksek Planlama Kurulu tarafından yayımlanan Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı'nda belirtilmiştir (Bilim Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 2017). Türkiye'de nanoteknoloji kavramı lise kimya müfredatında 12. sınıf "Karbon Kimyasına Giriş" ve "Enerji Kaynakları ve Bilimsel Gelişmeler" ünitelerinde yer almakta, ancak daha düşük kademelerde bu alanda eğitim eksik kalmaktadır (Millî Eğitim Bakanlığı, 2019).

Nanoteknoloji eğitimi, dünya genelinde özellikle lise ve ortaokul fen bilimleri müfredatına entegre edilmeye başlanmış olup ABD'de nano ölçekli bilimlere üzerine araştırmalar devam etmektedir (Hingant ve Albe, 2012). Almanya'da Saarlabor Initiative lise ve ortaokul öğrencilerinin nanoteknoloji araştırmalarına erişimini sağlarken, 2016'da NanoTruck projesi ile nanoteknolojinin fırsatları ve riskleri halka ücretsiz olarak tanıtılmıştır (Bilici ve ark., 2023). Japonya'da ise "Nanoteknoloji Araştırmacıları Ağ Merkezi" ve "Nanoteknoloji Yaz Okulu" gibi programlarla genç bilim insanları için eğitim olanakları sunulmaktadır (Zor, 2017).

Nanoteknoloji eğitimi, teknolojik gelişmelerin hızına paralel olarak multidisipliner bir yapıya sahiptir ve bilimsel bilgi kadar etik, çevresel ve sağlık boyutlarının da eğitim programlarına dâhil edilmesi gerekmektedir (Allhoff ve ark., 2017). Türkiye'nin nanoteknoloji alanındaki eğitim altyapısını güçlendirmesi ve uluslararası iş birliklerini artırması, bu alandaki yetkinliğini geliştirmesi açısından önemlidir (Tüylek, 2021). Böylece, nanoteknolojinin sunduğu bilimsel ve ekonomik fırsatlardan daha etkin faydalanması mümkün olacaktır (Bhushan, 2017).

1.8.6.2. Nanoteknoloji Eğitimi Neden Önemlidir?

Nanoteknoloji, materyallerin atom ve molekül seviyesinde tasarımı ve kontrolüyle sağlık, enerji, çevre ve elektronik gibi birçok kritik alanda devrim yaratma potansiyeline sahip ileri bir bilim dalıdır (Roco, 2011). Bu teknoloji, küresel çapta ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınma için yenilikçi fırsatlar sunarken, insan yaşam kalitesinin artırılmasına da önemli katkılar sağlamaktadır (Bhushan, 2017). Ancak nanoteknolojinin karmaşık ve hızla gelişen yapısı, alanın gerektirdiği eğitimli insan kaynağı ihtiyacını da artırmaktadır (Erkoç, 2020).

Nanoteknolojinin toplumsal ve endüstriyel önemi giderek artmakta ve bu gelişmeler eğitim uygulamalarının güncellenmesini zorunlu kılmaktadır (Azizov, 2021). Amerikan Ulusal Bilim Kurumu (NSF), 2015 itibarıyla dünya genelinde yaklaşık 2

milyon kişinin nanobilim ve nanoteknoloji alanında çalışacağı öngörüsünden hareketle lise düzeyinden başlayarak nanoteknoloji eğitimini teşvik etmekte, çeşitli programlar geliştirmektedir (Sagun Gököz ve ark., 2014). Benzer şekilde, Avrupa Birliği de lise ve üniversite seviyesinde nanoteknoloji eğitimini destekleyen projeler yürütmektedir (Karataş ve Ülker, 2014). Türkiye’de ise nanoteknoloji eğitimi sınırlı sayıda programla sınırlı kalmaktadır (Yıldırım, 2021).

Nanoteknoloji eğitimi, öğrencilere teorik bilgilerin yanı sıra uygulamalı deneyim ve laboratuvar becerileri kazandırarak teknik ve etik boyutları anlamalarını sağlar (Roco ve ark., 2011). Böylece, teknolojinin sunduğu fırsatlardan yararlanacak, aynı zamanda çevresel ve sağlık risklerini minimize edecek bilinçli uzmanlar yetiştirilebilir (Allhoff ve ark., 2017). Ayrıca nanoteknoloji, kimya, fizik, biyoloji, malzeme bilimi ve mühendislik gibi farklı disiplinlerin entegrasyonunu gerektirdiğinden, eğitim programlarının çok yönlü ve disiplinler arası yapılandırılması büyük önem taşır (Zhu ve ark., 2021).

Nanoteknoloji alanındaki vasıflı iş gücü talebinin hızla artması, eğitimde karşılaşılan zorlukları da artırmaktadır. Özellikle hangi bilim dalının eğitimi vereceği ve hangi müfredat düzeylerinde yer alacağı konusunda henüz net bir fikir birliği bulunmamaktadır (Yıldırım, 2021). Ulusal Bilim Vakfı (NSF) gibi kurumlar, nanoteknoloji eğitiminin ilkokuldan başlayarak yaygınlaştırılması gerektiğini vurgulamaktadır (Ak, 2009). Öğrencilerin nanobilim ve nanoteknoloji alanındaki bilgi düzeylerinin ortaya çıkarılması ve bu alanın eğitim müfredatına etkin entegrasyonu kritik öncelikler arasında yer almaktadır (Ateş ve Üce, 2017).

Nanoteknoloji eğitimi kapsamında belirlenen temel konu başlıkları, boyut ve ölçek, maddenin özellikleri, araçlar ve teknikler, modeller ve simülasyonlar, teknoloji ve toplum, sosyal etkiler ile kuantum mekaniği gibi kavramları kapsamaktadır (Zor, 2017). Bu konular, nano ölçekli fenomenlerin anlaşılmasını, ölçülmesini ve geliştirilmesini sağlayan temel kavramları ve uygulamaları içermektedir (Yıldırım, 2021). İlköğretim öğrencileri üzerinde yapılan araştırmalar, çocukların boyut ve ölçek kavramlarını anlama düzeylerinin beklenenden yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Mandrikas ve ark., 2019). Ayrıca, bu kavramların erken yaşta öğretilmesinin bilimsel kavrayışı desteklediği belirlenmiştir (Ha ve Lajium, 2022).

Sonuç olarak, nanoteknoloji eğitimi sadece teknik bilgi sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda etik, çevresel ve sosyal sorumlulukları da kapsayan kapsamlı bir öğrenme süreci olarak önem kazanmaktadır (Bhushan, 2017). Uluslararası düzeyde artan

nanobilim farkındalığı ve eğitim ihtiyacı, fen bilimleri eğitimiyle entegrasyonun önemini ortaya koymaktadır (Aslan ve Şenel, 2015). Bu eğitim yatırımları, geleceğin yenilikçi ve sürdürülebilir toplumları için vazgeçilmezdir (Çavdar ve ark., 2024)

1.8.6.3. Fen Eğitiminde Nanoteknolojinin Önemi ve Müfredata Entegrasyonu

1.8.6.3.1. Fen Eğitiminde Nanoteknolojinin Rolü

Fen bilimi, bilginin doğasını düşünebilme, mevcut bilgileri anlamlandırabilme ve yeni bilgiler üretebilme sürecini kapsayan, çevremizdeki olguları anlamlandırmamıza yardımcı olan temel bir doğa bilimidir. Bu alan, karmaşık çevremizde düzenlilik arama, elde edilen verileri somut bilgi ve becerilere dönüştürme yetisini kazandırır (Hakan ve ark., 2003). Fen eğitimi, öğrencilerin ilgi, gereksinim, gelişim aşaması ve çevresel koşulları göz önünde bulundurularak, uygun yöntem ve tekniklerle basit ve somut şekilde sunulmalıdır (Hakan ve ark., 2003). Günümüzde, problem çözme, eleştirel düşünme, analitik düşünme, yaratıcı düşünme ve etkili karar verme gibi becerilere sahip bireylere olan ihtiyaç giderek artmaktadır (Kardaş, 2013). Bu nedenle fen eğitimi, yalnızca temel kavramların aktarımını değil, aynı zamanda öğrencilerin çağdaş bilim-teknoloji-toplum ilişkilerini tartışabilecek bir yetkinliğe ulaşmasını da hedeflemelidir (Bostancı, 2022).

Toplumun bireylerinin gelişen teknolojiye uyum sağlayabilmesi, bilgiyi takip edebilmesi ve toplumsal tartışmalara akılcı bir biçimde katılabilmesi için bilimsel okuryazarlık kritik bir unsurdur (Şahin ve Say, 2010). Bu bağlamda nanobilim ve nanoteknoloji, güncel bilimsel okuryazarlığın önemli bileşenleri haline gelmiştir (Laherto, 2012). Nanoteknoloji, farklı okuryazarlık alanlarını bir araya getirerek yeni bir okuryazarlık boyutu oluşturur ve bu nedenle fen eğitiminde ele alınması kaçınılmazdır (Bostancı, 2022). Fen bilgisi eğitiminde nanoteknoloji, öğrencilerin nanoteknolojik ürünleri bilinçli şekilde tüketebilmesine, doğru kararlar verebilmesine ve güncel gelişmeler hakkında fikir üretebilmesine katkı sağlar (Ergün ve ark., 2017). Bu noktada amaç, bireylerin nano-ürünlerin temel işleyişini, olası risk ve faydalarını genel düzeyde kavramalarını sağlamak, böylece toplumsal bilinç düzeyini yükseltmektir (Zor, 2017; Aslan ve Şenel, 2015).

Fen eğitiminin disiplinler arası yapısı, nanoteknoloji konularının erken yaş gruplarına kazandırılmasını gerekli kılar (Harman ve Şeker, 2018). İlköğretim düzeyinde nanobilim ve nanoteknolojinin temel kavramlarının verilmesi, hem

öğrencilerin güncel konuları takip etmesini hem de öğretim sürecinde karşılaşılabilecek sorunların önceden öngörülmesini sağlar (Mandrikas ve ark., 2019). Nanobilimin okul müfredatına entegrasyonu, öğrencilerin bilimin karmaşık doğasını anlamalarına yardımcı olurken, aynı zamanda onların geleceğin iş gücüne hazırlanmasına katkıda bulunur (Ghattas ve Carver, 2012). Bu süreç, öğrencilerin nanoteknolojik gelişmelere olan ilgilerini artırarak, eğitimcilerin de sürekli yenilikleri takip etmesine ve bunları çeşitli akademik ve profesyonel platformlarda paylaşmasına olanak tanır (Kaya ve Karataş, 2016).

Sonuç olarak, fen bilgisi eğitiminde nanoteknolojiye yer verilmesi, bilimsel okuryazarlığı güçlendiren, disiplinler arası düşünmeyi destekleyen ve öğrencilerin teknolojik gelişmelere uyum becerisini artıran kritik bir yaklaşımdır (Bostancı ve ark., 2021). Erken yaşlarda ve uygulamalı etkinliklerle desteklenen bu eğitim, öğrencilerin kavramsal anlayışlarını pekiştirerek ileri düzey bilimsel çalışmalar ve tartışmalara katılımını kolaylaştırır (Bostancı ve ark., 2021). Böylece fen eğitimi hem bilimsel hem de toplumsal açıdan nanoteknoloji odaklı bir vizyon geliştirerek öğrencileri geleceğin bilinçli bireyleri olarak yetiştirmeye hizmet eder (Stevens ve ark., 2009).

1.8.6.3.2. Fen Eğitiminde Nanoteknolojinin Ders Programlarına Dâhil Edilmesine Yönelik Literatür Taraması

Fen eğitiminde nanoteknolojinin müfredata dahil edilmesi ile ilgili alan yazın incelendiğinde Şahin ve Ekli (2013)'nin yapmış olduğu çalışmada Türkiye'de 6, 7 ve 8. sınıfta öğrenim gören binin üzerinde ortaokul öğrencisinin nanoteknolojiye ilişkin farkındalık, görüş ve risk algıları incelenmiştir. Araştırmacıların geliştirdiği anket aracılığıyla elde edilen veriler, öğrencilerin nanoteknoloji hakkında belirli bir farkındalığa sahip olduklarını ve bu teknolojiye karşı olumlu bir tutum geliştirdiklerini göstermiştir. Çalışmada, nanoteknolojinin disiplinler arası yapısı ve biyoteknoloji ile bilgi teknolojilerine olan etkisi vurgulanarak, fen bilimleri müfredatında teknolojinin öneminin daha güçlü şekilde işlenmesi ve bu yolla öğrencilerin nanoteknolojiye olan güven ve ilgilerinin artırılması gerektiği ifade edilmiştir. Kaya ve Karataş (2016) Türkiye ile Bulgaristan, Hırvatistan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Yunanistan, İtalya, Romanya ve İspanya'nın fen eğitimi müfredatlarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Araştırmada, İspanya dışında hiçbir ülkede nanoteknolojiye yönelik zorunlu ders veya bölüm bulunmadığı belirlenmiştir. İspanya'da ise lise müfredatının ilk yıllarından itibaren nanoteknoloji zorunlu ders veya

konu olarak yer alırken, Yunanistan’da yalnızca lise düzeyinde müfredat dışı etkinlikler düzenlenmekte; Hırvatistan’da ise konu olarak işlenmekle birlikte başlı başına bir bölüm yer almamaktadır. Finlandiya’da ortaokullarda nanoteknoloji eğitimi öğrencilerin isteğine bırakılmıştır. Türkiye’de ise ortaokul fen programında zorunlu ders ya da ünite bulunmadığı, ancak ortaokul ve lise düzeyinde tanıtıcı etkinliklerle konunun müfredata entegre edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Delgado, Stevens ve Krajcik (2015), tarafından yürütülen araştırmada, ortaokul öğrencilerinin boyut ve ölçeklendirme konularındaki eksiklerini gidermek amacıyla 12 saatlik bir yaz bilim kampı tasarlanmıştır. Mikroskop, bilgisayar simülasyonları ve 2B/3B ölçekli modellerin kullanıldığı etkinlikler proje tabanlı öğretim yaklaşımıyla “Nanoteknoloji beni hastalanmaktan nasıl koruyabilir?” sorusu etrafında şekillendirilmiştir. Kamp sonunda yapılan görüşmeler, öğrencilerin atom, virüs ve hücrelerin boyutları konusundaki bilgi düzeylerinde anlamlı bir artış olduğunu ve bazı konularda lise öğrencilerinin seviyesini yakaladıklarını ortaya koymuştur. Mandrikas, Michailidi ve Stavrou (2019), Yunanistan’da 6. sınıf öğrencileriyle gerçekleştirdikleri çalışmada nanobilim ve nanoteknoloji (NST) temelli bir öğretme-öğrenme dizisi geliştirmiştir. Program, boyut-ölçek kavramları ve hidrofobik/hidrofilik malzemeler üzerinden nano ölçekteki özellik değişimlerini merkeze almış, ayrıca Sorumlu Araştırma ve Yenilik (RRI) boyutlarını öğrencilere tanıtmayı hedeflemiştir. Bulgular, öğrencilerin temel NST kavramlarını başarıyla kavradığını; ancak RRI kapsamında cinsiyet eşitliği ve açık erişim gibi konularda sınırlı farkındalık geliştirdiklerini göstermiştir.

Tekelioğlu (2019), 2018-2019 eğitim-öğretim yılında Muğla’da yürütülen çalışmada, 7. sınıf öğrencileri “Madde ve Değişim” ünitesi kapsamında karbon nanotüp modelleme etkinliklerine katılmıştır. Nicel analizler, öğrencilerin nanoteknoloji farkındalık ve kavramsal anlama düzeylerinin anlamlı şekilde arttığını göstermiştir. Öğrenciler etkinlikleri keyifli bulduklarını ifade etmiş; ancak modelleme sürecinde bazı psikomotor ve mantıksal-matematiksel becerilerde zorluk yaşadıklarını belirtmiştir. Bilici (2019), doktora tezinde bir bilim merkezinde 109 ortaokul öğrencisi ile “Tahmin Et-Gözle-Açıkla (TGA)” yöntemiyle altı etkinlikten oluşan bir nanoteknoloji atölyesi gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, öğrencilerin nanoteknoloji kavramlarına ilişkin algılarının makroskobik düzeyden tanecik düzeyine kaydığı belirlenmiştir. **Yu ve Jen (2020)**, Tayvan’da üstün yetenekli 4. ve 6. sınıf öğrencileriyle 5E öğretim modelini kullanarak nanoteknoloji konularını fen bilimleri müfredatına entegre etmiştir. Lotus

etkisi (nilüfer bitkisi) üzerine tasarlanan deneysel etkinlikler, öğrencilerin nanoölçek kavramlarını anlamalarını sağlamış ve ön test-son test sonuçlarında anlamlı gelişim ortaya çıkmıştır. Bostancı ve arkadaşları (2023), zenginleştirilmiş öğrenme ortamlarında nanobilim ve nanoteknoloji eğitiminin etkilerini incelemiştir. “Nanomalzeme üretimi, boyuta bağlı özellikler, nano ölçekte gözlem ve uygulamalar” içeren etkinlikler sonucunda, öğrencilerin konuya ilişkin farkındalıklarının, ilgilerinin ve güven düzeylerinin arttığı; fayda ve zarar konularında ise daha dengeli bir bakış açısı geliştirdikleri görülmüştür. Bilici, Yazıcıgil ve Akaygün (2023), Türkiye’de nanoteknoloji eğitiminin henüz sınırlı sayıda çalışmaya konu olduğunu, bu eğitimin hem sınıf içinde hem de sınıf dışında, bilgi temelli ve öğrenci merkezli yaklaşımlarla yürütülmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

1.8.7. STEM Eğitimi

1.8.7.1. STEM Eğitimi Nedir?

STEM Eğitimi ilk olarak Bilim, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji (SMET) olarak adlandırılan ve Amerika Ulusal Bilim Vakfı (NSF) tarafından oluşturulan bir girişimdi (White, 2014). 2001 yılında ortaya çıkan STEM yaklaşımı, Amerikalı öğrencilerin bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarına yönelik ilgilerindeki azalma tespit edildikten sonra akademik ve eğitim politikaları açısından önemli bir konu haline gelmiştir (Yıldırım B., 2021). Howard Gardner, makinelerin yapamadığı işleri yapabilecek bireyler yetiştirmek gerektiğini vurgulayarak, yeşil enerji, 3B-4B yazıcılar ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin sanayi dönemi eğitim anlayışıyla yetişen insanlara iş alanı bırakmayacağını, bu nedenle 21. yüzyılda yaratıcılık, eleştirel düşünme, problem çözme ve iş birliği gibi becerilerin hayatta kalmak için evrensel okuryazarlık haline geleceğini belirtmektedir (Akgündüz ve Ertepinar, 2015). 21. yüzyıl bireylerine gerekli bilgi, beceri ve yetkinlikleri kazandırma hedefi gelişmiş ülkelerin STEM eğitimine büyük önem vermelerine neden olmuştur (Yıldırım B., 2021). STEM, fen bilimleri, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerini entegre ederek gerçek dünya problemlerine yönelik çözüm üretmeyi amaçlayan, süreç ve beceri gelişimini merkeze alan, yalnızca ürün odaklı değil, aynı zamanda analitik düşünme ve problem çözme yetkinliklerini geliştiren disiplinler arası bir eğitim yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, ilgi çekici ve motive edici deneyimlerle karmaşık problemlerin anlaşılmasını kolaylaştırarak teorik bilgiyi pratikle bütünleştirmeyi hedefler (Akarsu ve ark., 2020).

Disiplinler arası bir yaklaşım olması, gerçek hayat problemlerine yönelik olması, mühendislik tasarım sürecini içermesi, kanıta dayalı karar verme özelliği, tekrarlı tasarım süreci ve adım adım öğrenme süreci olması, hatalardan ders çıkarmaya fırsat tanınması, süreç odaklı eğitim olması, çözüm çeşitliliğine izin vermesi, grup çalışması olması STEM yaklaşımının temel özellikleridir (Akarsu ve ark., 2020).

1.8.7.2. STEM Alanları

1.8.7.2.1. Fen

Fen bilimleri, evreni sistemli bir şekilde inceleyerek, deney ve gözlem yoluyla veri toplayan, bu verilerden hipotezler oluşturan, hipotezleri test eden ve gerektiğinde yeni deneylerle doğrulayan bilimsel yöntemi kullanarak fiziksel olayları anlamayı, açıklamayı ve gelecekte benzer olayları tahmin etmeyi amaçlayan bir bilgi edinme disiplini (Çengel, 2012a). Türkiye’de 2017 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı, tüm bireylerin fen okuryazarı olarak yetişmesi temel amacı çerçevesinde, bireylerin doğayı keşfetmesini, bilimsel süreç becerilerini geliştirmesini ve günlük yaşam sorunlarına bilimsel çözümler üretmesini sağlamayı hedefler. Ayrıca, bireylerin çevre, toplum ve sürdürülebilir kalkınma bilinci kazanmasını, bilimsel etik ve güvenli çalışma prensiplerini benimsemesini amaçlar. Günümüzde fen eğitiminin yalnızca etkili bir şekilde sunulması yeterli olmayıp, teknoloji, mühendislik ve matematik gibi disiplinlerle bütünleşik bir yapıda ele alınması gerektiği vurgulanmakta ve birçok ülke bu disiplinlerin birlikte öğretilmesinin önemine dikkat çekmektedir (Yıldırım ve Selvi, 2017).

1.8.7.2.2. Teknoloji

Teknoloji, bilimsel bilgilerin pratiğe dönüştürülerek insan hayatını kolaylaştıran yeni ürünler ve işlemler ortaya koyan bir alandır. "Nasıl" ve "nasıl yapılır" sorularına odaklanarak, bilimsel keşifleri icatlara, patentlere ve ticari ürünlere dönüştürür (Çengel, 2012b). STEM eğitimi, bireylere sorunları bütüncül bir perspektifle ele alma, problem çözme, keşif ve inovasyon yapabilme, yenilikçi düşünme ve mantıksal akıl yürütme becerileri kazandırırken aynı zamanda teknoloji okuryazarlığının gelişimine de katkı sağlamaktadır (Arıkan, 2022). Teknoloji okuryazarlığı, bireyin yalnızca belirli bir teknoloji uygulamasını kullanma yetkinliğiyle sınırlı olmayıp, teknolojinin problem çözme süreçlerinde etkin bir araç olarak nasıl işlevselleştirilebileceğine dair bilişsel bir

yaklaşımı da içermektedir (Silik ve Aydın, 2021). Teknolojik ilerlemeler, yaşamın her alanında olduğu gibi eğitim ve öğretim süreçlerinde de derin bir dönüşüm yaratmakta; günümüz sınıf ortamlarında kullanılan ders tasarımlarında, internet tabanlı uygulamalar, web 2.0 araçları ve bilgi-iletişim teknolojilerinin etkisiyle şekillenen bu boyut, öğrenme ve öğretme süreçlerine önemli bir çeşitlilik ve zenginlik katmaktadır (Arıkan, 2022).

1.8.7.2.3. Matematik

STEM eğitimi, disiplinler arası yaklaşımlar aracılığıyla öğrencilere fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarında bilgi ve beceri kazandırmayı hedeflerken; matematiksel modelleme etkinlikleri, problem çözme süreçlerini destekleyerek bilimsel ve matematiksel muhakeme yetisini geliştirmekte ve aynı zamanda iletişim becerilerini güçlendirme potansiyeli nedeniyle STEM eğitiminde önemli bir yere sahiptir (Karahan ve Bozkurt, 2018). Matematik, mühendislik ve bilim için temel bir dil olup, özellikle STEM eğitiminde mühendislik tasarım süreçlerinde kritik bir rol oynar, çünkü tasarlanan ürünlerin sağlam bir matematiksel altyapıya sahip olması gerekmektedir (Yılmaz, 2022a).

1.8.7.2.4. Mühendislik

Mühendislik, fizik ve kimya gibi temel bilimlerin bilgilerini pratik uygulamalara dönüştüren bir disiplin olup, motorlar, köprüler, binalar, madenler, gemiler ve kimyasal tesisler gibi yapıların tasarımı, inşası ve geliştirilmesi süreçlerini kapsar (White, 2014). Toplum açısından ekonomik önemi dikkate alındığında, öğrencilerin mühendislik alanında bilgi edinmeleri ve tasarım sürecine yönelik belirli beceriler geliştirmeleri gerekmektedir (Yılmaz, 2022b).

Yıldırım ve Altun'un (2015) çalışmasına göre STEM eğitimi ve mühendislik uygulamaları;

1. Öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerini geliştirmelerine olanak tanır.
2. Çocukların ve bireylerin yaratıcılıklarını geliştirmelerine katkı sağlar.
3. STEM eğitimi, bireylerin disiplinler arası bir bakış açısı kazanmalarını destekler.
4. Bireylerin öğrendikleri bilgileri kalıcı hale getirmelerine ve önceki bilgilerle bağlantı kurmalarına imkân sunar.
5. STEM eğitimi, bireylerin konuları daha eğlenceli ve ilgi çekici bir şekilde öğrenmelerine yardımcı olur.

6. Öğrencilerin üst düzey düşünme becerilerini geliştirmelerine katkıda bulunur.
7. STEM eğitim ve yöntemleri, bireylere mühendislik alanında tasarım yapma ve prototip oluşturma imkânı sağlar.
8. STEM eğitim ve yaklaşımları, Bloom taksonomisinin üst düzey bilişsel süreçlerine hitap eder.

1.8.7.3. Fen Bilimlerinde STEM Uygulamaları

Nanobilim ve nanoteknolojinin eğitime entegrasyonunda, öğrencilerin seviyelerine uygun konu seçiminde karşılaşılan zorluklar, disiplinler arası bir yaklaşımı gerektirmektedir (Yıldırım, 2021). STEM, fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerini kapsayan bir eğitim yaklaşımıdır (Batı ve ark., 2017). Fen bilimlerinde STEM uygulamaları kapsamında yapılan çalışmalar incelenmiş ve ortaokul düzeyinde STEM'in ele alındığı birçok çalışmaya rastlanmıştır.

Yıldırım ve Selvi'nin (2017) çalışmasında, STEM uygulamaları ve tam öğrenme yaklaşımının ortaokul düzeyindeki öğrencilerin akademik başarıları, fen bilimlerine yönelik motivasyonları, sorgulayıcı öğrenme becerilerine ilişkin algıları, STEM'e yönelik tutumları ve öğrenilen bilgilerin kalıcılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yarı deneysel desenin benimsendiği çalışmada, araştırma süreci pilot uygulama, oryantasyon ve esas uygulama olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın örneklemini, 2015-2016 eğitim-öğretim yılında Muş İl Milli Eğitim Müdürlüğü'ne bağlı bir ortaokulda öğrenim gören yedinci sınıf öğrencileri oluşturmuştur. Eş olasılıklı atama yöntemiyle belirlenen iki şube deney, bir şube ise kontrol grubu olarak seçilmiştir. Verilerin analizinde SPSS paket programı kullanılmıştır. Araştırma bulguları, STEM uygulamaları ve tam öğrenme yaklaşımının öğrencilerin akademik başarıları ile fen bilimlerine yönelik motivasyonlarını anlamlı düzeyde artırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca, bu yaklaşımların öğrenilen bilgilerin uzun vadeli kalıcılığı üzerinde de olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Ancak, STEM uygulamaları ve tam öğrenmenin öğrencilerin STEM'e yönelik tutumları ile fene yönelik sorgulayıcı öğrenme becerileri algıları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, STEM temelli öğretim uygulamalarının ve tam öğrenme yaklaşımının özellikle akademik başarı ve motivasyon gibi bilişsel ve duyuşsal boyutları destekleyecek şekilde yapılandırılması gerektiği önerilmektedir.

Blotnicky, Tamara, French ve Joy'un (2018) çalışmasında, Atlantik Kanada'daki devlet okullarında öğrenim gören 7. ve 9. sınıf düzeyindeki 1448 öğrenciden oluşan bir

örneklem üzerinden yürütülen araştırmada, öğrencilerin bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) alanlarındaki kariyerler için gerekli olan matematik ve fen bilgileri değerlendirilmiştir. Çalışmada aynı zamanda öğrencilerin matematik öz yeterlilik düzeyleri (MSE), kariyer ilgileri, tercih ettikleri kariyer etkinlikleri ve STEM alanlarında kariyer yapma olasılıkları incelendi. Analiz sonuçları, yaşça büyük öğrencilerin STEM kariyerlerinde ihtiyaç duyulan matematik ve fen bilgisi konusunda daha bilinçli olduklarını ortaya koysa da genel anlamda bu bilgi düzeyinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, MSE düzeyi yüksek olan öğrencilerin STEM kariyer gerekliliklerine dair daha fazla bilgiye sahip oldukları belirlenmiştir. Bununla birlikte hem yüksek MSE'ye hem de STEM kariyer bilgisine sahip öğrencilerin, bu alanlarda kariyer yapma eğilimlerinin daha güçlü olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, teknik ve bilimsel becerilere ilgi duyan öğrencilerin STEM kariyerlerini tercih etme olasılığı, pratik ve somut işlere yönelim gösteren öğrencilere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgular, STEM alanlarına yönelik ilgi ve öz yeterliliğin, kariyer seçimlerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Bahadır ve Köse'nin (2021) çalışmasında, STEM eğitiminin ortaokul öğrencilerinin bilimsel yaratıcılıklarına ve STEM mesleklerine olan ilgilerine etkisi incelenmiştir. Araştırma, Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan bir ildeki iki farklı 6. sınıf şubesinde öğrenim gören 73 öğrenciden oluşan bir örneklemle yürütülmüştür. Deney grubunda fen bilimleri dersine mevcut öğretim programına entegre edilen STEM etkinlikleri uygulanırken, kontrol grubunda yalnızca mevcut programdaki etkinlikler sürdürülmüştür. Öğrencilerin bilimsel yaratıcılık düzeylerini değerlendirmek amacıyla Bilimsel Yaratıcılık Testi (BYT), STEM alanlarına yönelik ilgilerini belirlemek için ise STEM Mesleklerine Yönelik İlgi Ölçeği (STEM MYİÖ) kullanılmıştır. Araştırmada elde edilen veriler PASW İstatistik 18 programı aracılığıyla analiz edilmiş, ilişkili ve ilişkisiz örneklem için parametrik t-testi yöntemleri uygulanmıştır. Bulgular, STEM etkinliklerinin bilimsel yaratıcılığı geliştirmede olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve STEM mesleklerine yönelik ilgiyi anlamlı düzeyde artırdığını göstermektedir.

Doğan ve Kahraman'ın (2021) araştırmasında, STEM temelli etkinliklerin ortaokul düzeyindeki öğrencilerin bilimsel yaratıcılık düzeyleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın örneklemini, 2018-2019 eğitim-öğretim yılında bir devlet ortaokulunda öğrenim gören 98 sekizinci sınıf öğrencisinden (deney grubu=50, kontrol grubu=48) oluşmaktadır. Araştırma süreci, ön test-son test kontrol gruplu yarı deneysel desen doğrultusunda yürütülmüştür. Uygulama süresince deney grubuna STEM odaklı

öğretim etkinlikleri uygulanırken, kontrol grubuna mevcut fen uygulamaları dersi programı doğrultusunda eğitim verilmiştir. Her iki grubun da ders saatleri eşit tutulmuş, gruplar arasında etkileşim oluşmamasına özen gösterilmiştir. Veriler, “Bilimsel Yaratıcılık Testi” aracılığıyla toplanmış ve analizlerde bağımsız örneklem için t-testi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, deney grubundaki öğrencilerin bilimsel yaratıcılık puanlarında kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir artış yaşandığını göstermektedir. Özellikle bilimsel yaratıcılığın akıcılık, esneklik ve özgünlük alt boyutlarında deney grubu lehine anlamlı farklar tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, STEM tabanlı öğretim etkinliklerinin öğrencilerin bilimsel yaratıcılık becerilerinin gelişimine kayda değer düzeyde katkı sağladığını açık biçimde ortaya koymaktadır.

1.8.8. STEM ve Nanoteknoloji Eğitimi

Gököz’ün (2006) tez araştırmasında, nanobilim ve nanoteknolojiye (NN) yönelik bir atölye programı geliştirilmiş, uygulanmış ve bu programın öğrencilerin nanobilim ve nanoteknoloji kavramlarına ilişkin farkındalıkları ile kavramsal anlayışlarına etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmada nicel ve nitel yöntemlerin birlikte kullanıldığı karma desen benimsenmiştir. Nicel analizlerde kontrol gruplu yarı deneysel desen (ön test – son test) kullanılmış; nitel veriler ise yarı yapılandırılmış görüşmelerle toplanmıştır. Araştırma, iki özel okul ve bir devlet okulundan 11. sınıf düzeyindeki toplam 79 öğrenciyle gerçekleştirilmiştir. Veriler; Nanobilim ve Nanoteknoloji Farkındalık Anketi (NNAQ), Nanobilim ve Nanoteknoloji Kavramsal Anlama Anketi (NNCUQ) ve Atölye Çalışması Değerlendirme Anketi (NNWEQ) ile toplanmıştır. Ayrıca, nitel veriler ses kaydı alınan görüşmelerin çözümlenmesiyle elde edilmiştir. Uygulama süreci sonunda yapılan analizlerde, öğrencilerin nanobilim ve nanoteknolojiye ilişkin farkındalık düzeylerinde ve kavramsal anlamalarında anlamlı düzeyde artışlar gözlemlenmiştir. Nicel veriler tek yönlü ANOVA, eşleştirilmiş t-testi, bağımsız gruplar t-testi ve ki-kare testleri ile değerlendirilmiş; nitel veriler ise içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Atölye uygulamasının, öğrencilerin konuya olan ilgisini artırdığı, kavramsal yanlış anlamaları azalttığı ve öğrenmeyi daha kalıcı hâle getirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Delgado, Stevens ve Krajcik’in (2015) makalesinde, düşük sosyoekonomik düzeydeki (SES) bir devlet okulunda öğrenim gören ortaokul öğrencileri için geliştirilen ve yaz bilim kampında uygulanan 12 saatlik bir öğretim ünitesi ele alınmıştır. Ünitenin odak noktası, nanoölçekli bilim ve mühendisliğin temel kavramlarından biri olan "boyut ve ölçek" bilgisinin öğrencilere etkili biçimde kazandırılmasıdır. Öğretim süreci, yapı

merkezli bir tasarım yaklaşımıyla oluşturulmuş ve mikroskoplar, özel olarak hazırlanmış bilgisayar simülasyonları ile 2D ve 3D ölçekli modeller kullanılarak desteklenmiştir. Program, proje tabanlı öğrenme yöntemine dayanmakta ve “Nanoteknoloji beni hasta olmaktan nasıl koruyabilir?” sorusu etrafında bağlamlandırılmıştır. Uygulama öncesi ve sonrası yapılan görüşmeler, öğrencilerin atom, virüs ve hücre gibi mikro ve nano ölçekteki nesnelerin boyutları hakkında hem niteliksel hem de niceliksel anlamda bilgi düzeylerinde önemli bir artış sağladığını göstermiştir. Ölçülen etki büyüklüğü 0,8 olarak raporlanmış, bu da müdahalenin güçlü bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, kamp katılımcılarının, bölgedeki özel okul öğrencileriyle olan bilgi farkını kapattıkları ve bazı alanlarda lise öğrencilerinin düzeyini geçtikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen en önemli çıkarım, ileri düzey kavramları hedef alırken aynı zamanda temel ön bilgi ve kavramların öğrenilmesini destekleyen “geniş spektrumlu” öğretim yaklaşımlarının, farklı düzeydeki öğrencilere etkili biçimde ulaşabileceğidir.

1.8.8.1. Fen Bilimleri Eğitiminde STEM ve Nanoteknoloji Eğitimi

Cady, Blok, Grosse ve Wells’in (2014) çalışmasında, Project NANO (Nanobilim ve Nanoteknoloji Tanıtımı) programının ortaokul öğrencileri ve öğretmenler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Program, ortaokul ve lise öğrencilerine, kendi okul ortamlarında optik ve taramalı elektron mikroskopları aracılığıyla mikro düzeydeki olayları keşfetme ve araştırma imkânı sunmaktadır. Öğretmenlere yönelik olarak da mesleki gelişim atölyeleri, sınıf içi eğitim ve müfredat geliştirme desteği sağlamanın yanı sıra, eğitilmiş öğretmenlerin sınıflarına Project NANO araç setlerinin (SEM, stereoskop, bilgisayar, materyaller) ulaştırılmasını da desteklemektedir. Değerlendirme anketleri aracılığıyla programın öğrencilerin bilim ve teknolojiye yönelik tutumları ve öğretmenlerin öğrenme çıktıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Project NANO atölyeleri, öğretmenlerin SEM kullanımına yönelik bilgi ve becerilerini artırmayı hedeflemekte ve öğrencilerin problem çözme ile kanıta dayalı düşünme gibi üst düzey düşünme becerilerini destekleyecek standartlara uygun öğretim materyallerine yeni içerik entegrasyonunu öğretmektedir. Eski bir üniversite öğretim üyesi, iki lise fen öğretmeni ve bir eğitim araştırmacısından oluşan yönetim ekibi tarafından yürütülen Project NANO programı ile, bugüne kadar 7500’den fazla öğrencinin nanoölçekli olgu ve kavramları ilgi çekici bir şekilde deneyimlemesi sağlanmıştır. Project NANO programına katılan öğretmenler, nano ölçekli bilim ve teknolojiyi müfredatlarına etkili

bir şekilde entegre etme ve SEM gibi araçları kullanmada yüksek yetkinlik kazanmışlardır. Program desteği sayesinde, öğrenciler nano temalı ünitelerde olumlu performans sergilemiş, öğretmenler de bu konuları öğretme konusunda güven duymuşlardır. Nano konularının müfredata dâhil edilmesi, öğrencilerin genel bilim anlayışlarını geliştirirken, öğretmenler de kazandıkları becerileri derslerine yansıtarak öğrencilerin aktif katılımını ve bilimsel bulgularını farklı platformlarda sunmalarını teşvik etmektedirler.

Laszcz ve Dalvi'nin (2021) çalışmasında, nanobilim ve nanoteknolojinin (NST) ortaokul düzeyindeki öğrenciler tarafından anlaşılabilirliğini artırmak amacıyla geliştirilen uygulama tabanlı bir öğrenme modülünün etkililiği incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, öğrencilerin NST kavramlarını öğrenmeye olan yatkınlıklarını ve bu kavramlarla etkileşimlerinin STEM (Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) alanlarına yönelik tutumlarına etkisini değerlendirmektir. Araştırma, ABD'nin kuzeydoğusundaki iki devlet okulundan toplam üç fen bilgisi öğretmeni ve 169 sekizinci ve dokuzuncu sınıf öğrencisinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. NST modülü, üç aşamada geliştirilmiştir.

- Giriş oturumu ile modül içeriği ve tasarımı tartışılmış,
- Pilot uygulama gerçekleştirilmiş,
- Öğretmen geri bildirimlerine dayanarak modül yenilenmiştir.

Veri toplama sürecinde anketler, içerik bilgisi ölçme araçları, öğrenci görüşleri ve sınıf içi video kayıtları kullanılmıştır. Sonuç olarak öğrenciler, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) gibi araçlarla yakın çalıştıktan sonra, bu araçların işleyişine dair kavramsal bir anlayış geliştirmişlerdir. Bulgular, öğrencilerin daha önce aşına olmadıkları NST kavramlarını öğrenmeye hazır olduklarını göstermektedir. Öğrencilerin STEM alanlarına yönelik genel tutumlarında istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik gözlenmemekle birlikte, ileri düzey STEM dersleri almayı planlayan öğrenci sayısında artış tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, NST'ye yönelik teknoloji destekli öğrenme modüllerinin, sekizinci sınıf seviyesinden itibaren öğrencilere yeni bilimsel fikirlerin tanıtılmasında etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, öğretmenlerle iş birliği içinde geliştirilen teknoloji tabanlı öğrenme deneyimlerinin, K-12 düzeyinde yenilikçi öğretim uygulamalarını desteklemede kritik bir rol oynayacağı önerilmektedir.

Çavdar, Yıldırım, Kaya ve Akkuş'un (2024) çalışmasında, ortaokul öğrencilerinin problem çözme, eleştirel düşünme ve araştırma-sorgulama becerileri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla nanoteknoloji eğitimi için özelleştirilmiş Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) temelli STEM etkinlikleri ele alınmıştır. STEM yaklaşımının disiplinler arası etkileşimi ve problem çözme yetkinliklerini gerektirmesi bağlamında, bu çalışmanın ortaokul seviyesindeki öğrencilerin söz konusu becerilerini geliştireceği varsayılmıştır. Ek olarak, nanoteknolojiye uyarlanmış TRIZ-STEM etkinliklerinin öğrencilerin nanoteknoloji ve mühendisliğin doğasına dair algıları üzerindeki potansiyel etkisi de araştırma kapsamına dâhil edilmiştir. Çalışmanın örneklemini, amaçlı kolay örnekleme yöntemiyle belirlenen 59 ortaokul öğrencisi oluşturmaktadır. Araştırma metodolojisi olarak, nicel ve nitel veri toplama yöntemlerinin birlikte kullanıldığı gömülü karma yöntem deseni benimsenmiştir. Elde edilen bulgular, uygulanan TRIZ-STEM etkinliklerinin katılımcıların problem çözme, eleştirel düşünme ve araştırma sorgulama becerileri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yaratmadığını göstermektedir. Gözlemlenen farkın etki büyüklüğü ise küçük olarak değerlendirilmiştir. Ancak, çalışma sonuçları, TRIZ-STEM etkinliklerinin öğrencilerin nanoteknoloji ve mühendisliğin doğasına yönelik olumlu bir bakış açısı geliştirmelerine katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Blessing C. Anakpua, Onyemauche C. Inweregubuh, Christiana O. Odimekpa, Chinwe J. Enemu, Chinonso A. Ofozoba, Peter A. Isidi, Uchenna F. Muogbo, Obioma H. Nnalue, Regina E. Obiadazie ve Odinakolisa C. Okudo (2025) tarafından yürütülen çalışma, yapay zekâ destekli hizmet-öğrenme yaklaşımı kapsamında STEM öğrencilerinin nanoteknoloji tabanlı yeşil malzemeler ve sürdürülebilirliğe ilişkin anlayışlarını, algılarını, tutumlarını, motivasyonlarını ve katılım düzeylerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, nicel araştırma yaklaşımlarından tarama (tanımlayıcı anket) modeliyle yürütülmüş; örneklem, Nijerya'nın Enugu Eyaleti Nsukka Eğitim Bölgesi'nde bilişim teknolojileri altyapısına sahip altı lisede öğrenim gören 302 lise son sınıf STEM öğrencisinden amaçlı örnekleme yöntemiyle oluşturulmuştur. Veriler, araştırmacılar tarafından geliştirilen ve güvenirlik katsayısı Cronbach Alfa = 0,84 olan "Sürdürülebilirlik Eğitimi için Yapay Zekâ Destekli Hizmet-Öğreniminde Öğrenci Deneyimleri Anketi (SEASLEQ)" aracılığıyla toplanmış ve SPSS 28 programı kullanılarak betimsel istatistiklerle analiz edilmiştir. Bulgular, öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin kavramsal anlayışlarının genel olarak düşük düzeyde olduğunu, buna karşın sürdürülebilirlik ve yapay zekâ kullanımına yönelik tutumlarının olumlu

olduğunu; ancak yapay zekâ destekli hizmet-öğrenme etkinliklerine yönelik motivasyon ve aktif katılım düzeylerinin sınırlı kaldığını ortaya koymuştur.



2. YÖNTEM

Bu bölümde, araştırmanın yöntemi kapsamında benimsenen model, araştırmanın evreni ve örnekleme, veri toplama süreci ile kullanılan veri toplama araçları, ayrıca toplanan verilerin analiz edilmesi ve yorumlanmasına ilişkin süreçler ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır.

2.1. Araştırmanın Modeli

Bu çalışmada STEM destekli nanoteknoloji etkinliklerinin 7. Sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarına, eleştirel düşünme becerilerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla karma araştırma yöntemi uygulanmıştır. Karma yöntem araştırmaları, araştırmacının nitel ve nicel veri toplama ve analiz tekniklerini aynı araştırma içinde birlikte ya da sıralı şekilde kullanarak daha kapsamlı ve derinlemesine sonuçlar elde etmeyi amaçladığı bir araştırma yaklaşımıdır (Creswell, 2017). Nitel ve nicel yöntemlerin birlikte kullanılması, problemi yalnızca bir bakış açısıyla değil, farklı veri türleriyle çok boyutlu bir şekilde incelemeye olanak tanımaktadır (Nayır ve ark., 2024). Bu çalışmada karma yöntem tasarımlarından **eş zamanlı iç içe geçmiş (gömülü) desen** kullanılmıştır. Bu desende nitel ve nicel veri toplama süreçleri araştırma tasarımının bir parçası olarak başlangıçta birlikte planlanmakta ve veri türlerinden biri diğerini destekleyici bir rol üstlenmektedir (Creswell ve Clark, 2015). Bu çalışmada nitel ve nicel veri toplama araçları uygulama süreci öncesinde hazırlanmış; nicel veriler ön test ve son test yoluyla, nitel veriler ise uygulama süreci tamamlandıktan sonra görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Elde edilen nitel veriler, nicel bulguları destekleyici ve derinleştirici biçimde analiz edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, eş zamanlı iç içe geçmiş karma desenin temel özelliklerini taşımaktadır.

2.1.1. Nicel Boyut

Bu çalışmanın nicel boyutunda kontrol gruplu yarı deneysel desen kullanılmıştır. Araştırma, ortaokul 7. Sınıf düzeyinde, biri deney diğeri kontrol grubu olarak kolay ulaşılabilir amaçlı örnekleme yöntemine göre seçilmiş olan iki grupla yürütülmüştür. Kontrol gruplu yarı deneysel desende uygulamadan önce gruplara bağımlı değişkenin ön testi uygulanır. Uygulama sadece deney grubuna yapılır. Kontrol grubu deneysel uygulamalara dahil edilmez. Deney grubu uygulamaları tamamlandıktan sonra her iki gruba da son testler uygulanır. Uygulama öncesi ve uygulama sonrası ölçülen test

sonuçlarının ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini belirtir (Büyüköztürk ve ark., 2018). STEM temelli nanoteknoloji etkinliklerinin 7.sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarına ve eleştirel düşünme becerilerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmanın bağımsız değişkenini STEM destekli nanoteknoloji etkinlikleri oluştururken; nanoteknoloji farkındalıklarına ve eleştirel düşünme becerilerine etkisi de çalışmanın bağımlı değişkenlerini oluşturmaktadır.

2.1.2. Nitel Boyut

Araştırmanın nitel boyutunda durum çalışması yaklaşımı kullanılmıştır. Durum çalışması, belirli bir olay ya da olgunun doğal ortamında zaman içinde sınırlandırılmış şekilde ve çoklu veri toplama yöntemleri (gözlem, görüşme, doküman analizi vb.) kullanılarak derinlemesine incelendiği nitel araştırma yaklaşımlarından biridir (Subaşı ve Okumuş, 2017). Araştırmanın nitel boyutunda geçerlik ve güvenirliğin sağlanmasında Lincoln ve Guba (1985) tarafından önerilen inandırıcılık, aktarılabilirlik, tutarlılık ve doğrulanabilirlik ölçütleri dikkate alınmıştır. Araştırmada kullanılan yarı yapılandırılmış görüşme formu hazırlanırken, soruların araştırmanın amacıyla uyumunu ve katılımcı düzeyine uygunluğunu sağlamak amacıyla eğitim alanında uzman iki akademisyenin görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanlardan alınan geri bildirimler doğrultusunda bazı sorular sadeleştirilmiş, benzer anlam taşıyan ifadeler çıkarılmış ve sorular daha anlaşılır hâle getirilerek görüşme formuna son şekli verilmiştir. Bu süreç, veri toplama aracının kapsam uygunluğunu ve inandırıcılığını artırmaya yönelik olarak yürütülmüştür.

Toplanan nitel veriler, içerik/tematik analiz yaklaşımı doğrultusunda çözümlenmiştir. Analiz sürecinde veriler tekrar tekrar okunarak anlamlı birimler belirlenmiş, bu birimler doğrultusunda kodlar oluşturulmuş ve benzer kodlar bir araya getirilerek kategoriler ile temalar belirlenmiştir.

2.2. Çalışma Grubu

Araştırma, 2024–2025 eğitim-öğretim yılında Muş ilinde bulunan bir ortaokulda gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın nicel çalışma grubunu, ortaokul 7/A ve 7/B sınıflarında öğrenim gören 27 kız ve 21 erkek olmak üzere toplam 48 öğrenci oluşturmaktadır. Bu sınıflardan biri deney grubu, diğeri kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Deney grubunu 15 kız 9 erkek öğrenci, kontrol grubunu 12 kız 12 erkek

öğrenci oluşturmaktadır. Çalışma grubu, araştırmacının erişiminin kolay olması ve uygulamanın gerçekleştirilebilirliği nedeniyle kolay ulaşılabilir amaçlı örnekleme yöntemiyle oluşturulmuştur (Karataş, 2015).

Araştırmanın nitel çalışma grubunu ise deney grubunda yer alan öğrenciler arasından seçilen öğrenciler oluşturmaktadır. Nitel veriler, STEM destekli nanoteknoloji etkinliklerine katılan 24 deney grubu öğrencisi ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla toplanmıştır. Görüşme yapılacak öğrencilerin belirlenmesinde gönüllü katılım göstermeleri ve uygulama sürecine aktif olarak katılmış olmaları dikkate alınmış, bu doğrultuda amaçlı örnekleme yönteminden yararlanılmıştır. Nitel çalışma grubu, nicel bulguları destekleyici ve derinleştirici veriler elde etmek amacıyla belirlenmiştir.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada nicel veri toplama araçları olan Nanoteknoloji Farkındalık Anketi ve Eleştirel Düşünme Ölçeği, deney ve kontrol gruplarındaki öğrencilere sınıf ortamında, araştırmacı tarafından yüz yüze olarak ön test ve son test şeklinde uygulanmıştır. Nitel veri toplama aracı olan Nanoteknoloji Uygulamaları Görüş Formu ise yalnızca deney grubu öğrencilerine, STEM destekli nanoteknoloji etkinliklerinin tamamlanmasının ardından uygulanmıştır.

2.3.1. Nanoteknoloji Farkındalık Anketi

Nanoteknoloji farkındalığını ölçmeye yönelik bu araştırmada kullanılan anket maddeleri, literatürde yer alan ölçme araçlarından yararlanılarak geliştirilmiştir. Öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin temel bilgi düzeylerini ve bu konudaki duyumlarını belirlemeye yönelik maddeler Ekli ve Şahin'in (2013) geliştirdiği maddeler temel alınarak yapılandırılmış; nanoteknoloji farkındalığını ölçmeye yönelik ifadeler ise Sagun Gököz'ün (2012) çalışmalarından esinlenilerek ortaokul düzeyine uygun biçimde düzenlenmiştir.

Sagun Gököz (2012) tarafından 11. sınıf öğrencileri üzerinde uygulanan ölçek yüksek düzeyde güvenirlik göstermiştir (Cronbach's alpha = 0,89). Aynı ölçek Aslan ve Şenel (2015) tarafından öğretmen adayları üzerinde uygulanmış ve benzer biçimde yüksek bir güvenirlik katsayısı elde edilmiştir (Cronbach's alpha = 0,93). Bu ölçek, ortaokul düzeyine uyarlanarak Tekelioğlu'nun (2019) çalışmasında Muğla il merkezi ve ilçelerinde rastgele seçilen 7. sınıf öğrencilerinden oluşan bir örneklem grubuna (N =

117) uygulanmış; Cronbach's alpha katsayısı 0,94 olarak hesaplanmıştır. Tekelioğlu (2019) çalışmasında anket, uzman görüşleri doğrultusunda kapsam geçerliği açısından değerlendirilmiş ve geri bildirimler doğrultusunda gerekli düzenlemeler yapılarak nihai hâline getirilmiştir.

Anketin ilk bölümünde öğrencilerin nanoteknolojiye dair duyumlarını, bu duyumların kaynaklarını ve temel bilgi düzeylerini ölçmeyi amaçlayan üç madde yer almaktadır. Üçüncü soruda bulunan iki madde doğru–yanlış formatındadır. Anketin son bölümünde ise öğrencilerin nanoteknoloji farkındalık düzeylerini belirlemeye yönelik üçlü Likert tipi altı madde bulunmaktadır. Bu çalışmada Nanoteknoloji Farkındalık Anketi gerekli izinler alınarak Muş ilinde bulunan bir ortaokulda 7. sınıf öğrencilerine uygulanmıştır.

2.3.2. Eleştirel Düşünme Ölçeği

Bu çalışmada ortaokul öğrencilerinin eleştirel düşünme becerilerini belirlemek amacıyla Yıldırım Döner ve Demir (2022) tarafından geliştirilen Eleştirel Düşünme Ölçeği kullanılmıştır. Ölçeğin geçerliğine ilişkin olarak yapılan açımlayıcı faktör analizi sonucunda, toplam varyansın %42,94'ünü açıklayan 21 maddelik üç faktörlü bir yapı elde edilmiş; bu yapı doğrulayıcı faktör analizi ile doğrulanmıştır. Ölçeğin yapı güvenirliği 0,93 olarak hesaplanmıştır. Ölçeğin güvenirliğine ilişkin analizlerde Cronbach's Alpha katsayısı 0,87, Spearman-Brown ve Guttman Split-Half katsayıları ise 0,81 olarak bulunmuştur. Ölçeğin iç tutarlılık katsayısı 0,75 olup, test–tekrar test uygulamaları sonucunda ölçeğin tutarlı ölçümler yaptığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, ölçeğin ortaokul düzeyindeki öğrenciler için yeterli düzeyde geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı olduğunu göstermektedir. Eleştirel Düşünme Ölçeği, Likert tipi, üç boyutlu ve toplam 21 maddeden oluşmaktadır.

2.3.3. Nanoteknoloji Uygulamaları Görüş Formu

Bu çalışmada, deney grubundaki öğrencilerin STEM destekli nanoteknoloji etkinliklerine ilişkin görüşlerini ve öğrenme süreçlerini daha derinlemesine incelemek amacıyla Nanoteknoloji Uygulamaları Görüş Formu kullanılmıştır. Görüşme formunun geliştirilme sürecinde öncelikle alan yazın taranmış ve araştırmanın amaçları doğrultusunda bir soru havuzu oluşturulmuştur. Bu aşamada hazırlanan taslak sorular, alanında uzman iki akademisyenin görüşüne sunulmuştur. Uzman görüşleri doğrultusunda bazı sorular sadeleştirilmiş, benzer anlam taşıyan ifadeler birleştirilmiş

ve öğrenci düzeyine uygun olmadığı değerlendirilen sorular çıkarılarak forma son hâli verilmiştir.

Yedi açık uçlu sorudan oluşan görüşme formu, uygulama süreci tamamlandıktan sonra yalnızca deney grubunda yer alan öğrencilere bireysel ve yüz yüze uygulanmıştır. Öğrencilerin yanıtları yazılı olarak alınmış ve analiz sürecinde bu yazılı veriler kullanılmıştır. Görüşme formunda yer alan sorular, öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin kavramsal bilgilerini, etkinlik sürecinde edindikleri deneyimleri, karşılaştıkları güçlükleri ve bu güçlüklerle baş etme yollarını, etkinlikler sonrasında görüşlerinde meydana gelen değişimleri ve iş birliğine dayalı öğrenme sürecine ilişkin düşüncelerini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Görüşme Formu Soruları

1. Nanoteknoloji nedir? Günlük hayatta nerelerde karşımıza çıkar?
2. Nanoteknoloji ile ilgili etkinlikler sırasında en çok hangi bilgiyi öğrendiğinizi düşünüyorsunuz? Bu bilgi günlük yaşamda nasıl işinize yarayabilir?
3. Bu etkinliklerde sizi en çok zorlayan kısım neydi? Bu zorlukları nasıl aşabileceğinizi düşündünüz?
4. Nanoteknoloji ile ilgili görüşleriniz etkinlikler sonrası değişti mi? Neden?
5. Bu etkinliklerde grup halinde çalışmak size nasıl bir katkı sağladı?
6. Nanoteknolojinin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere nasıl bir etkisi olduğunu düşünüyorsunuz? Örnek vererek açıklayınız.
7. Nanoteknoloji ile ilgili öğrendiğiniz üç önemli kavramı yazınız ve bunları kısaca açıklayınız.

Bu görüşme formu aracılığıyla elde edilen nitel veriler, içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiş; öğrenci ifadeleri kodlanarak temalar oluşturulmuş ve bulgular doğrudan alıntılarla desteklenmiştir.

2.4. Verilerin Analizi

Bu araştırmada elde edilen nicel ve nitel veriler, araştırmanın amaçları doğrultusunda uygun analiz yöntemleri kullanılarak çözümlenmiştir. Nicel verilerin analizinde istatistiksel yöntemlerden, nitel verilerin analizinde ise tematik içerik analizinden yararlanılmıştır. Nicel ve nitel veri analizlerine ilişkin ayrıntılar aşağıdaki alt başlıklarda sunulmuştur.

2.4.1. Nicel Veri Analizi

Araştırmada elde edilen nicel veriler, IBM SPSS Statistics 23.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin dağılım özellikleri Shapiro–Wilk normallik testi ile değerlendirilmiştir. Normallik varsayımının sağlandığı değişkenlerde gruplar arası karşılaştırmalar için bağımsız örneklem t-testi, grupların kendi içindeki ön test–son test karşılaştırmaları için ise eşleştirilmiş örneklem t-testi kullanılmıştır. Normallik varsayımının sağlanmadığı değişkenlerde ise gruplar arası karşılaştırmalar için Mann–Whitney U testi, ön test–son test karşılaştırmaları için Wilcoxon işaretli sıralar testi ve çoklu karşılaştırmalar için Kruskal–Wallis testi uygulanmıştır.

Ayrıca betimsel istatistikler kapsamında frekans, yüzde, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanarak raporlanmıştır. Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Anlamlı bulunan farkların yorumlanmasında ise etki büyüklükleri (Cohen’s d, eta kare, r) hesaplanarak bulguların daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi sağlanmıştır.

2.4.2. Nitel Veri Analizi

Araştırmada elde edilen **nitel veriler** Nanoteknoloji Uygulamaları Görüş Formu aracılığıyla toplanmış ve tematik **içerik analizi yöntemi** ile çözümlenmiştir. Öğrenci ifadeleri dikkatlice kodlanmış, bu kodlardan kategoriler ve temalar belirlenmiş ve bulgular doğrudan alıntılarla desteklenmiştir. Kodlama ve tema oluşturma sürecinin güvenilirliğini arttırmak amacıyla elde edilen kodlar ve temalar uzman görüşleriyle karşılaştırılmış, görüş birliği sağlanamayan noktalar yeniden değerlendirilerek analiz süreci sonlandırılmıştır. Ayrıca araştırma bağlamı ve süreç ayrıntılı biçimde açıklanarak bulguların aktarılabilirliği desteklenmiştir.

2.5. Uygulama Süreci

Araştırmanın yürütülebilmesi için öncelikle ilgili üniversitenin etik kuruluna ve deneysel çalışmanın gerçekleştirileceği okulun bağlı bulunduğu kuruma başvuruda bulunulmuş ve gerekli izinler alınmıştır. Araştırma kapsamında, ortaokul 7. sınıf düzeyinde yer alan ve birbirine denk özellikler gösteren iki sınıftan biri deney grubu, diğeri ise kontrol grubu olarak belirlenmiştir.

Deneysel uygulama sürecinden önce her iki gruba da ön testler uygulanmıştır. Ön test uygulamalarının ardından deney grubuna, 4 hafta boyunca haftada iki ders saati olacak şekilde STEM temelli nanoteknoloji etkinlikleri uygulanmış; kontrol grubunda

ise mevcut öğretim programı doğrultusunda dersler yürütülmüştür. Deneysel uygulama süreci tamamlandıktan sonra her iki gruba da son testler uygulanarak veri toplama süreci sonlandırılmıştır.

Dört hafta süresince deney grubunda uygulanan STEM temelli nanoteknoloji etkinliklerinin haftalara göre dağılımı aşağıda sunulmuştur:

1. hafta: Nilüfer bitkisinin kendi kendini temizleme özelliği ve nanoteknoloji
2. hafta: Geko kertenkelesinin ayak yapısı ve nanoteknolojideki kullanım alanları
3. hafta: Nano altın ve nano gümüş
4. hafta: Karbon nanotüplerin yapısı ve kullanım alanları

Deneysel uygulamanın gerçekleştirildiği sınıfta, öğrenci mevcudu dikkate alınarak her biri 6 öğrenciden oluşan dört çalışma grubu oluşturulmuş ve etkinlikler gruplar hâlinde yürütülmüştür.

1. Hafta: Nilüfer Bitkisinin Kendi Kendini Temizleme Özelliği ve Nanoteknoloji

Ders: Fen Bilimleri

Ünite: Saf Madde ve Karışımlar

Konu: Maddenin Tanecikli Yapısı, Nilüfer Bitkisinin Kendi Kendini Temizleme Özelliği ve Nanoteknoloji

Süre :40 +40 dk

Kazanım: Kendini temizleyen yüzeylerin doğada nasıl oluştuğunu anlama

Kullanılan Malzemeler:

Nilüfer yaprağı yerine mor lahana yaprağı,

Su spreyi

Mikroskop ve büyüteç

Çizim kağıtları ve kalemler

Balmumu veya su itici sprey

Su itici yüzey oluşturmaları için farklı yapıda yüzey malzemeleri

Derse STEM uygulama basamaklarına uygun olacak biçimde problem durumu basamağı ile başlanmıştır.

Problem Durumu:

Öğrencilere “Ayakkabılarımız çamurlandığında temizlenmesi zor oluyor. Su ve kir tutmayan bir yüzey tasarlanabilir mi? Sorusu sorularak öğrencilerin günlük hayatta kendi kendini temizleyen yüzeylerin bulunup bulunmadığı üzerine düşünmeleri ve tartışmaları sağlanmıştır. Daha sonra nilüfer bitkisinin yüzey özelliklerinden bahsedilerek neden yaprak yüzeyinin su tutmadığı sorusu sorulmuştur. Sonrasında nanoteknoloji kavramı ve doğada kendi kendini temizleyen yüzeylerin bilimsel mantığı açıklanmıştır.

Problem Durumu Araştırması:

STEM uygulamasının ikinci basamağı olan problem durumu araştırması için önceden oluşturulmuş olan gruplara; nilüfer yaprağı bulunamadığından, benzer özellik gösteren mor lahana yaprağı, su spreyi, büyüteç, çizim kağıtları ve kalemler, balmumu ve su itici sprey verilerek yüzey yapısını analiz etmeleri sağlanmıştır. Yapılan analizler ile günlük hayatta kendi kendini temizleyen yüzeylerin nasıl oluşturulabileceğini düşünmeleri istenmiştir.

Olası Çözümler:

Gruplar, kendini temizleyen yüzeylerin hangi malzemelerle yapılabileceğini tartışarak kendi tasarlayacakları su itici yüzey fikrini belirlemiştir.

İdeal Çözüm Seçimi:

Her grup tartışmalar sonucunda en uygun ve uygulanabilir çözüm fikrini seçerek uygun malzemeler ile uygulama aşamasına geçmiştir.

Prototip Oluşturma:

Gruplar kendini temizleyen yüzey tasarımını çizdikten sonra seçtikleri malzemeleri (su itici sprey, balmumu) kullanarak su itici yüzey prototiplerini oluşturmuşlardır.

Test Etme ve Sonuçları Gözlemleme:

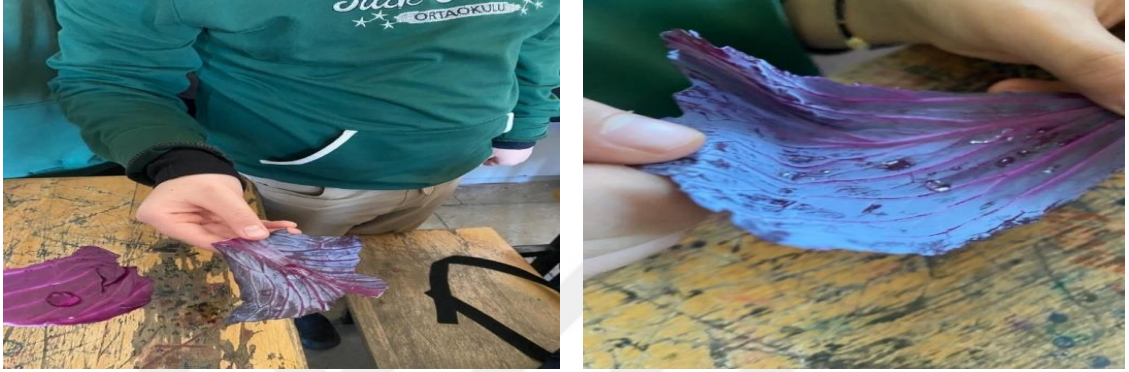
Gruplar, tasarladıkları yüzeylere su damlatarak etkisini test ederek farklı gruplar birbirlerinin tasarımlarını değerlendirmiştir. Deney sonucunda hangi tasarımın daha etkili olduğu tartışılmıştır.

Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme:

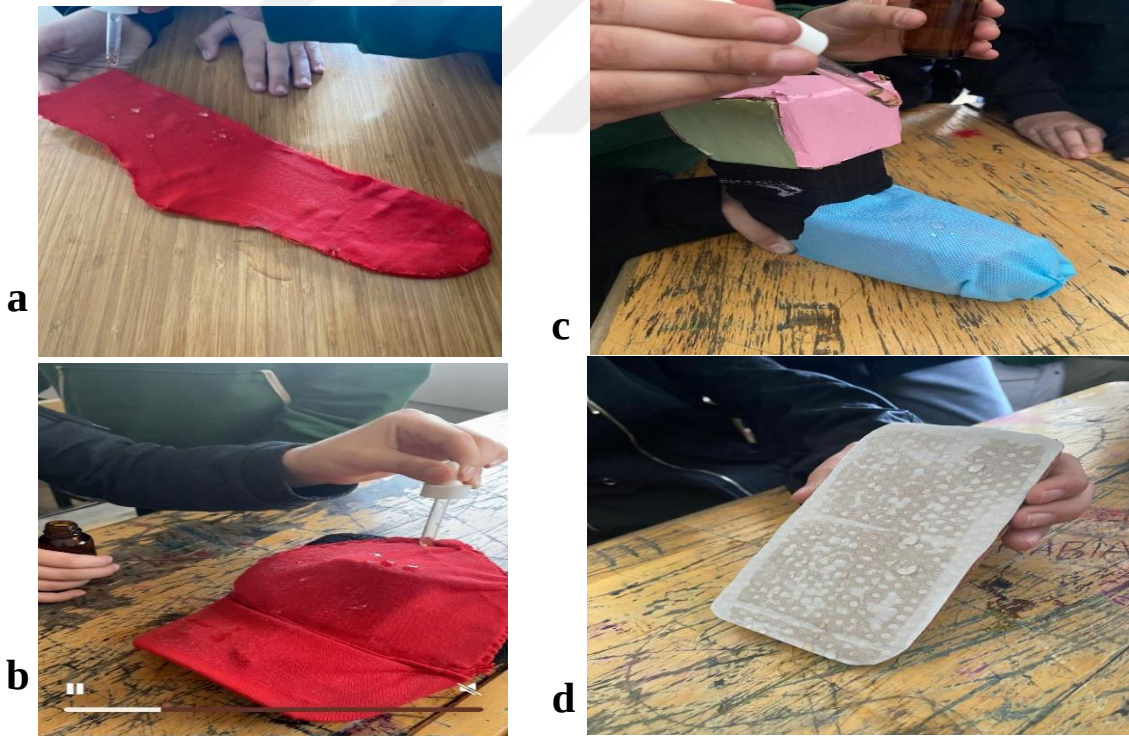
Gruplar, test sonucunda eksiklikleri belirleyerek tasarımlarını iyileştirmiş, yapılan düzenlemeler not alınarak tasarımın son hali oluşturulmuştur.

Sunum:

Gruplar, tasarladıkları yüzeyleri sınıfa sunarak ve geribildirim almıştır.



Şekil 2. 1. Lahana Yapağı Etkinlik Resimleri



Şekil 2. 2. Grup Tasarımları

- 1.Grup tasarımı kirlenmeyen ve su tutmayan çorap
- 2.Grup tasarımı kirlenmeyen ve su tutmayan şapka
- 3.Grup tasarımı kirlenmeyen ve su tutmayan ayakkabı
- 4.Grup tasarımı kirlenmeyen ve su tutmayan cep telefonu ekranı

2. Hafta Geko Kertenkelesinin Ayak Yapısı ve Nanoteknolojideki Kullanım Alanları Etkinliği

Ders: Fen Bilimleri

Ünite: Saf Madde ve Karışımlar

Konu: Maddenin Tanecikli Yapısı, Geko Kertenkelesinin Ayak Yapısı ve Nanoteknolojideki Kullanım Alanları

Süre :40 +40 dk

Kazanım: Nanoteknoloji ve biyomimetik kavramlarını açıklayabilme, Geko ayaklarından ilham alınarak geliştirilen nanoteknolojik ürünlere örnekler verebilme

Kullanılan Malzemeler: Çift taraflı yapışkan bant, karton veya mukavva parçaları, farklı yüzey malzemeleri (cam, plastik, metal), cırt bant, poster kâğıdı, tahta kalemleri ve renkli kalem.

Derse STEM uygulama basamaklarına uygun olacak biçimde problem durumu basamağı ile başlanmıştır.

Problem Durumu:

Derse problem cümlesi ile başlanmıştır. Öğrencilere “Bir dağcı, dik yüzeylerde daha rahat tırmanabilmek için geliştirilen özel eldiven ve ayakkabılardan faydalanmak istiyor. Bu ürünlerin yapışma özelliği hangi canlının ayak yapısından esinlenerek geliştirilmiştir? Bu teknolojiye hangi alanda kullanılabilir? sorusu sorularak öğrencilerin bu konu üzerine düşünceleri ve tartışmaları sağlanmıştır. Daha sonra Geko kertenkelesinin ayak yapısının biyomimetik ve nanoteknolojiye ilham verdiği anlatılmıştır. Sonrasında Geko ayaklarının moleküller arası Van der Waals kuvvetleri sayesinde yapıştığı açıklanarak kavram tanıtımı yapılmıştır.

Problem Durumu Araştırması

STEM uygulamasının ikinci basamağı olan problem durumu araştırması için önceden oluşturulmuş olan gruplara; karton, çift taraflı cırt bant ve farklı yüzey malzemeleri verilerek farklı geko kertenkelesi ayak modelleri oluşturmaları istenmiştir.

Olası Çözümler:

Gruplar, geko ayak yapısından esinlenerek ellerindeki malzemeler ile ne tür yüzeyler yapılabileceğini tartışarak kendi tasarlayacakları tasarım fikrini belirlemiştir.

İdeal Çözüm Seçimi:

Her grup tartışmalar sonucunda en uygun ve uygulanabilir çözüm fikrini seçerek uygun malzemeler ile uygulama aşamasına geçmiştir.

Prototip Oluşturma:

Gruplar yüzey prototiplerini oluşturmuşlardır.

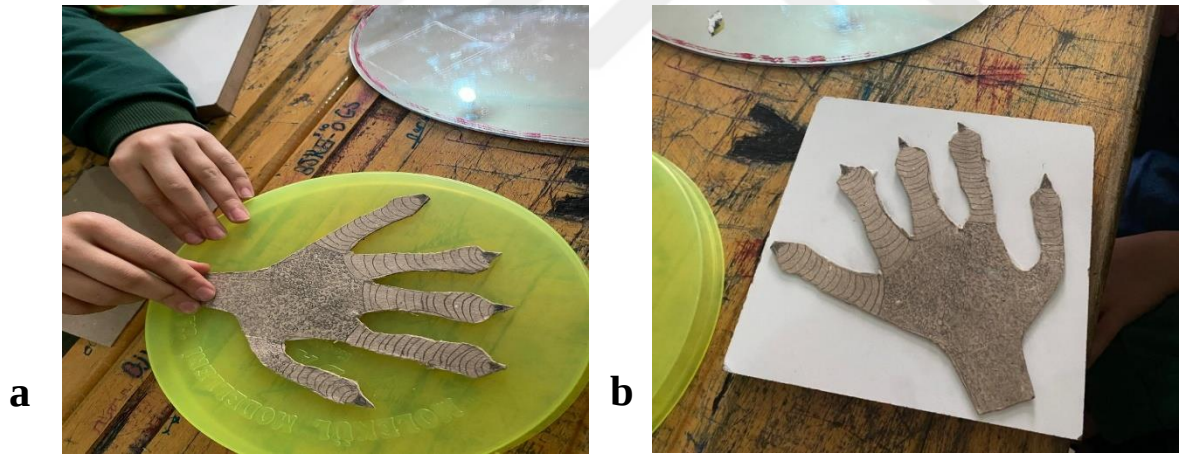
Test Etme ve Sonuçları Gözlemleme:

Gruplar, tasarladıkları modelleri test ederek farklı gruplar birbirlerinin tasarımlarını değerlendirmiştir. Deney sonucunda hangi tasarımın daha etkili olduğu tartışılmıştır.

Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme:

Gruplar, tasarladıkları modeli geliştirerek daha etkili hale getirmeye çalışmışlar test sonucunda eksiklikleri belirleyerek tasarımlarını iyileştirmiş, yapılan düzenlemeleri not alarak tasarımlarının son hali oluşturulmuştur.

Sunum:



Gruplar, tasarladıkları modelleri sınıfa sunarak ve geribildirim almıştır.

Şekil 2. 3. Geko Kertenkelesinin Ayak Yapısı Etkinliği



Şekil 2. 4. Geko Kertenkelesi Ayak Yapısı ve Nanoteknoloji Uygulamaları Grup Tasarımları

- a. 1. Grup tasarımı, zemine kuvvetli tutunan suluk
- b. 2. Grup tasarımı, gökdelen vb. düz ve yüksek yüzeylere tırmanma eldiveni
- c. 3. Grup tasarımı, zemine kuvvetli bir şekilde tutunabilen telefon tutacağı
- d. 4. Grup tasarımı, duvara tutunarak kalabilen oyuncak

3. Hafta Nano Altın ve Nano Gümüş Etkinliği

Ders: Fen Bilimleri

Ünite: Saf Madde ve Karışımlar

Konu: Maddenin Tanecikli Yapısı, Nano altın ve nano gümüş

Süre: 40 +40 dk

Kazanım: Nano altın ve nano gümüşün özelliklerini keşfetme. STEM yaklaşımıyla problem çözme ve bilimsel süreç becerilerini geliştirme.

Kullanılan Malzemeler:

Altın ve gümüş rengi toz sim (nano altın ve nano gümüşü temsilen), büyüteç, renkli kâğıt kalemler, karton, alüminyum folyo, deney tüpleri, farklı renkte gıda boyaları, renkli farklı yüzey boyaları

Derse STEM uygulama basamaklarına uygun olacak biçimde problem durumu basamağı ile başlanmıştır.

Problem Durumu:

Derse problem cümlesi ile başlanmıştır. Öğrencilere “Yaraların mikrop kapma riski iyileşme sürecini uzatıyor. Nano altın ve nano gümüşün nanoteknolojideki kullanım alanlarından yola çıkarak günlük hayatta kullanılabilecek ne tür tasarımlar yapardınız? sorusu sorularak öğrencilerin bu konu üzerine düşünmeleri ve tartışmaları sağlanmıştır.

Problem Durumu Araştırması

Nano altın ve nano gümüşün antibakteriyel ve antiviral özellikleri ile nanoteknolojideki kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Daha sonra, su dolu iki cam tüpe "nano altın" ve “nano gümüşü “temsilen bir miktar altın ve gümüş rengi toz sim eklenerek öğrencilerin gözlemlemesi sağlanmıştır. Nano boyutta çalışma için gerekli malzemeler bulunmadığından sim, nano altının ve nano gümüşün atomik düzeyde ne kadar küçük olduğunu anlamalarına yardımcı olmuştur. Sonrasında öğretmen gıda boyası kullanarak nano altının farklı nano boyutlarda farklı renkler gösterebileceğini ve bu özelliklerin nano boyuttaki değişiklikler sayesinde oluştuğunu açıklamıştır.

Olası Çözümler:

Gruplar, nano gümüş ve nano altının nanoteknolojideki kullanım alanlarından yola çıkarak tasarım fikirlerini belirlemiştir.

İdeal Çözüm Seçimi:

Her grup tartışmalar sonucunda en uygun ve uygulanabilir çözüm fikrini seçerek uygun malzemeler ile uygulama aşamasına geçmiştir.

Prototip Oluşturma:

Gruplar tasarım prototiplerini ve çizimlerini oluşturmuşlardır.

Test Etme ve Sonuçları Gözlemeleme:

Gruplar, tasarladıkları modelleri test ederek farklı gruplar birbirlerinin tasarımlarını değerlendirmiştir. Deney sonucunda hangi tasarımın daha etkili olduğu tartışılmıştır.

Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme:

Gruplar, tasarladıkları modeli geliştirerek daha etkili hale getirmeye çalışmışlar test sonucunda eksiklikleri belirleyerek tasarımlarını iyileştirmiş, yapılan düzenlemeleri not alarak tasarımlarının son hali oluşturulmuştur.

Sunum:

Gruplar, tasarladıkları modelleri sınıfa sunarak ve geribildirim almıştır.



1



2

Şekil 2. 5. Nano Altın ve Nano Gümüş Etkinliği

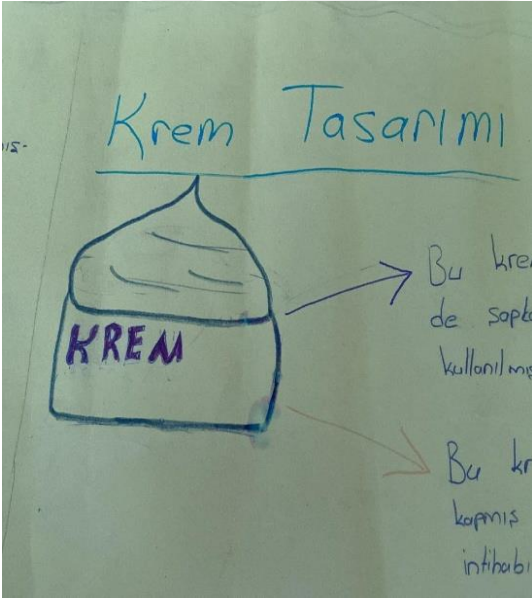
Öğrencilerin ellerindeki imkanlarla nano boyutu incelemeleri zor olduğundan altının nano boyutlarda boyut değiştirdikçe renginin değişimi farklı miktarlarda gıda boyası eklenerek 1. Resimdeki gibi simüle edilmiştir. 2. Resimde de altının nano boyutu altın rengi toz sim tüpte suya eklenerek nano boyut simüle edilmiştir.



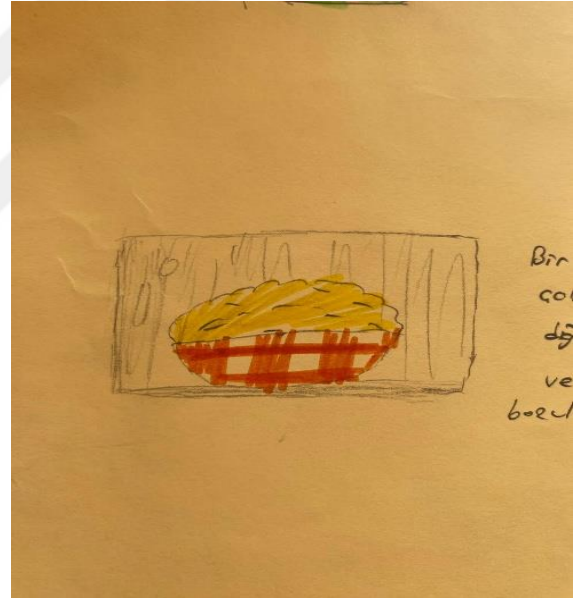
a



b



c



d

Şekil 2. 6. Nano altın ve Nano gümüş Etkinliği Grup Tasarımları

- a. 1. Grup tasarımı, nano gümüş ihtiva eden antibakteriyel ve antiviral doktor eldiveni (Ameliyat eldiveni)
- b. 2. Grup tasarımı, nano gümüş ihtiva eden antibakteriyel ve antiviral saklama kabı veya kutusu (İlaç veya yiyecek saklamak için)
- c. 3. Grup tasarımı, yaralanmalar esnasında kullanılabilecek nano gümüş ihtiva eden antibakteriyel ve antiviral krem

d. 4. Grup tasarımı, sıcaklık değişimine göre renk değiştiren nano altın ihtiva eden mikrodalga fırın kabı (Yemeğin ısınma derecesini tahmin etmek için)

4. Hafta Karbon Nanotüp Etkinliği

Ders: Fen Bilimleri

Ünite: Saf Madde ve Karışımlar

Konu: Maddenin Tanecikli Yapısı, Karbon Nanotüplerin Yapısı ve Nanoteknolojideki Kullanım Alanları

Süre :40 +40 dk

Kazanım: Karbon nanotüplerin güçlü, hafif ve esnek yapısının neden önemli olduğunu, STEM etkinliğiyle karbon nanotüp özelliklerini modelleme yoluyla deneyimleyerek öğrenir.

Kullanılan Malzemeler:

Siyah oyun hamuru veya silikon hamur (her grup için bir miktar), ince çubuk veya ince tel (gruplar için), yapıştırıcı, makas, karton veya sert zemin, akıllı tahta (görsel ve video sunumu)

Problem Durumu

Derse problem cümlesi ile başlanmıştır. Günlük yaşamda kullanılan ürünlerin ve yapısal sistemlerin yeterince dayanıklı olmaması; can güvenliği, ekonomik kayıplar ve sürdürülebilirlik açısından risk oluşturuyor. Karbon nanotüplerin özelliklerinden yararlanarak bu problemin çözümü için ne tür tasarımlar yaptınız? sorusu sorularak öğrencilerin bu konu üzerine düşünmeleri ve tartışmaları sağlanmıştır.

Problem Durumu Araştırması

Karbon atomunun farklı allotroplar oluşturabildiği bilgisi temel alınarak öğrenciler, karbon nanotüplerin yapısal özelliklerini incelemeye yönlendirilmiştir. Bu süreçte öğrenciler, çeşitli görsel materyaller ve bilimsel içerikli videolar aracılığıyla karbon nanotüplerin tek ve çok duvarlı yapıları hakkında araştırma yapmış ve bu yapıların modellemelerini oluşturmuştur. Yürütülen etkinlikler sonucunda öğrenciler, karbon nanotüplerin nanoskopik ölçekte, silindirik geometriye sahip ve yüksek mekanik dayanım gösteren yapılar olduğunu belirlemiştir. Ayrıca karbon nanotüplerin farklı

mühendislik ve teknoloji alanlarındaki kullanım örnekleri incelenerek, elde edilen bilgiler tasarım aşamasında geliştirilecek çözümler için bilimsel temel oluşturmuştur.

Olası Çözümler:

Öğrenciler 6'er kişilik gruplara ayrılmıştır. Her grup, karbon nanotüplerin kullanım alanlarına yönelik çözüm önerileri geliştirmiş ve önerdikleri çözümler için bir plan oluşturmuşlardır. Gruplar, geliştirdikleri çözüm fikirlerini sınıfa sunulmuştur. Hangi fikirlerin uygulanabilir olduğu tartışılmıştır.

İdeal Çözüm Seçimi:

Her grup tartışmalar sonucunda en uygun ve uygulanabilir çözüm fikrini seçerek uygun malzemeler ile uygulama aşamasına geçmiştir.

Prototip Oluşturma:

Gruplar tasarımların prototiplerini oluşturmuşlardır.

Test Etme ve Sonuçları Gözlemleme:

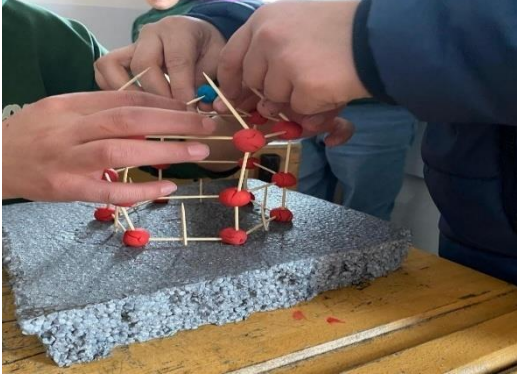
Gruplar, modelleri test ederek farklı gruplar birbirlerinin tasarımlarını değerlendirmiştir. Deney sonucunda hangi tasarımın daha etkili olduğu tartışılmıştır.

Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme:

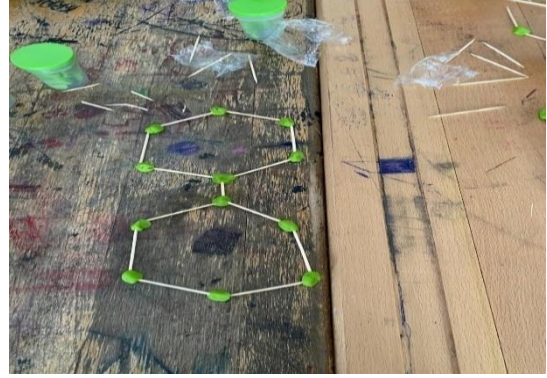
Gruplar, tasarladıkları modeli geliştirerek daha etkili hale getirmeye çalışmışlar test sonucunda eksiklikleri belirleyerek tasarımlarını iyileştirmiş, yapılan düzenlemeleri not alarak tasarımlarının son hali oluşturulmuştur.

Sunum:

Gruplar, tasarladıkları modelleri sınıfa sunarak ve geribildirim almıştır.



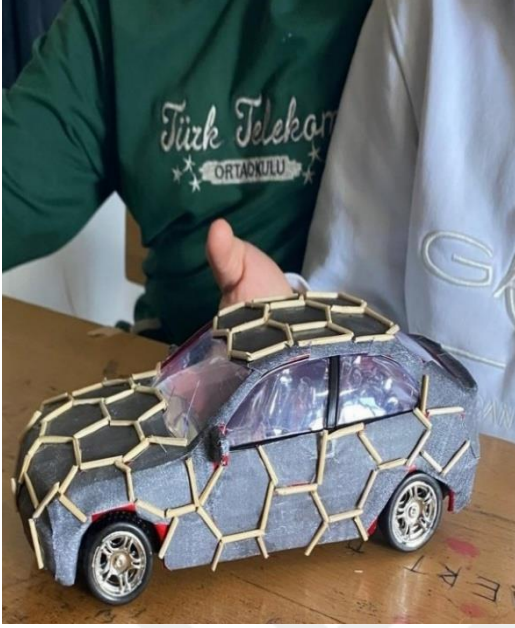
1



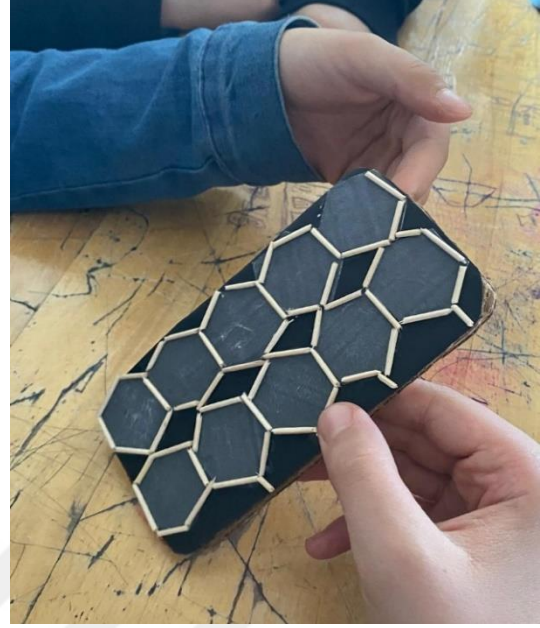
2

Şekil 2. 7. Karbon Nanotüp Etkinliği

1. ve 2. Resimler karbon nanotüplerin farklı formlardaki atomik yapılarının modelleme etkinliğinden alınmıştır.



a



b



c



d

- a. 1. Grup tasarımı karbon nanomalzemedan yapılmış darbelere karşı dayanıklı araba kaportası
- b. 2.Grup Tasarımı karbon nanomalzemedan yapılmış düşme ve kırılmaya karşı dayanıklı telefon kılıfı
- c. 3.Grup tasarımı karbon nano malzemedan yapılmış dayanıklı köprü

d. 4.Grup tasarımı karbon nanomalzemeden yapılmış depreme dayanıklı sağlam bina kolonu



3. BULGULAR

3.1. Birinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

Çizelge 3. 1. Katılımcıların demografik özellikleri ve nano teknolojiye yönelik bilgi düzeyleri

	Gruplar				Test İstatistikleri	
	Deney		Kontrol		Test değeri	<i>p</i> değeri
	Grubu		Grubu			
	n=24	n=24	n=24	n=24		
	N	%	N	%		
Bugüne kadar nanoteknoloji hakkında ne kadar şey duydunuz						
Hiçbir şey	13	54,2	13	54,2	0,019	0,892 ^b
Çok Az	5	20,8	5	20,8		
Biraz	5	20,8	3	12,5		
Çok Fazla	1	4,2	3	12,5		
Nanoteknoloji konusundaki duyumlarınızı ve ilk bilgilerinizi hangi kaynaklardan aldınız?						
Reklamlar	3	12,5	1	4,2	1,244	0,265 ^b
Haberler	2	8,3	9	37,5		
İnternet	4	16,7	3	12,5		
Okuldaki dersler	6	25,0	5	20,8		
Diğer	9	37,5	6	25,0		

Katılımcıların bugüne kadar nanoteknoloji hakkında ne kadar şey duyduklarına ilişkin değerlendirmede gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,892$). Her iki grupta da en yüksek oran “hiçbir şey duymadım” yanıtında toplanmıştır (%54,2).

Katılımcıların nanoteknolojiye dair ilk bilgi kaynakları açısından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p=0,265$). En sık belirtilen bilgi kaynakları deney grubunda “diğer” (%37,5) ve “okuldaki dersler” (%25,0) olurken; kontrol grubunda “haberler” (%37,5) ve “diğer” (%25,0) olmuştur.

Çizelge 3. 2. Katılımcıların Ön Test ve Son Test Nano Teknolojik Farkındalık Puanlarının Karşılaştırılması

	Gruplar				Test İstatistikleri	
	Deney Grubu		Kontrol Grubu		test değeri	<i>p</i> değeri
	<i>X</i>	<i>SS</i>	<i>X</i>	<i>SS</i>		
Nano Teknolojik Farkındalık Puanı						
Ön test	1,62	1,40	1,29	1,33	-0,825 ^a	0,409
Son test	5,58	2,12	1,54	1,31	-5,126 ^a	0,000*
Test İstatistikleri (<i>c</i> ; <i>p</i>)	-3,941; 0.000*		-0,741; 0,459			

a: Mann-Whitney U Test, c: Wilcoxon Test, *: $p<0.05$

Çizelge 3.2. incelendiğinde, katılımcıların nano teknolojik farkındalık puanlarının ön test ve son test ölçümleri açısından gruplar arasında anlamlı farklılıklar

gösterdiği görülmektedir. Deney grubunun ön test ortalama puanı 1,62 (SS=1,40), son test ortalaması ise 5,58 (SS=2,12) olarak hesaplanmıştır. Kontrol grubunun ön test ortalaması 1,29 (SS=1,33), son test ortalaması ise 1,54 (SS=1,31) olarak belirlenmiştir.

Gruplar arası karşılaştırmalar Mann-Whitney U testi ile yapılmış olup, ön test puanları açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,409$). Ancak son test puanlarında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu saptanmıştır ($p=0,000$).

Ayrıca, gruplar içinde yapılan karşılaştırmalarda Wilcoxon testi sonuçlarına göre deney grubunun son test puanları ön test puanlarına kıyasla anlamlı düzeyde artış göstermiştir ($p=0,000$). Buna karşılık, kontrol grubunun ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p=0,459$).

Çizelge 3. 3. Nanoteknoloji Farkındalık Ölçeği Etki Büyüklüğü

Karşılaştırma	Test İstatistiği	p Değeri	Etki Büyüklüğü (r)	Etki Düzeyi	Yorum
Deney–Kontrol (Ön test)	U=247.000	0.409	r=0.12	Küçük	Gruplar arası ön test farkı anlamsız
Deney–Kontrol (Son test)	U=0.000	0.000	r=0.74	Çok Büyük	Deney grubu lehine çok büyük etki
Deney Grubu (Ön test–Son test)	Z=-3.920	0.000	r=0.80	Çok Büyük	Deney grubunda anlamlı ve güçlü artış
Kontrol Grubu (Ön test–Son test)	Z=-0.740	0.459	r=0.15	Küçük	Kontrol grubunda anlamlı değişim yok

Etki büyüklüğü, deney ve kontrol gruplarının ön test puanları arasında anlamlı bir fark bulunmadığını ($r=0.12$, küçük etki) göstermektedir. Ancak son test sonuçları incelendiğinde, deney grubu lehine çok büyük düzeyde bir etki ortaya çıkmıştır ($U=0.000$; $p<0.001$; $r=0.74$). Grup içi karşılaştırmalarda da deney grubunun ön test–son test puanları arasında çok büyük bir artış gözlenmiştir ($Z=-3.920$; $p<0.001$; $r=0.80$). Buna karşılık, kontrol grubunda ön test–son test arasında anlamlı bir değişim bulunmamış ($p>0.05$; $r=0.15$).

3.2. İkinci alt probleme ilişkin bulgular

Çizelge 3. 4. Katılımcıların Ön Test ve Son Test Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği Puanlarının Karşılaştırılması

	Gruplar				Test İstatistikleri	
	Deney Grubu		Kontrol Grubu		Test değeri	p değeri
	X	SS	X	SS		
Diyalektik Düşünme						
Ön test	48,88	5,89	49,25	7,39	-,094 ^d	0,847
Son test	47,50	7,41	50,46	6,26	-1,494 ^d	0,142
Test İstatistikleri (e; p)	1,363; 0,186		-1,081; 0,291			
Eğilim						
Ön test	13,50	3,86	13,75	4,32	-,212 ^d	0,833
Son test	14,04	3,94	14,42	4,46	-,309 ^d	0,759
Test İstatistikleri (e; p)	-,636; 0,531		-,534; 0,599			
Analiz						
Ön test	18,92	2,59	18,00	3,99	0,945 ^d	0,350
Son test	18,29	3,76	20,17	3,52	-1,783 ^d	0,081
Test İstatistikleri (e; p)	,774; 0,447		-2,315; 0,030*			
Eleştirel Düşünme Toplam Puan						
Ön test	81,29	9,35	81,00	13,21	0,088 ^d	0,930
Son test	79,83	12,44	85,04	10,98	-1,538 ^d	0,131
Test İstatistikleri (e; p)	,755; 0,458		-1,516; 0,143			

d: Bağımsız grup t testi, e: Bağımlı Örneklem t testi, *: **p<0.05**

Çizelge 3.4. incelendiğinde, katılımcıların eleştirel düşünme eğilimi ölçeği alt boyutları ile toplam puanlarına ait ön test ve son test ölçümlerinin gruplar arasında anlamlı bir fark göstermediği görülmektedir. Diyalektik düşünme alt boyutunda deney grubunun ön test ortalaması 48,88 (SS=5,89), son test ortalaması ise 47,50 (SS=7,41); kontrol grubunun ön test ortalaması 49,25 (SS=7,39), son test ortalaması ise 50,46 (SS=6,26) olarak hesaplanmıştır. Gruplar arası farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Gruplar içi karşılaştırmalarda da anlamlı bir fark bulunmamıştır (müdahale grubu: $p=0,186$; kontrol grubu: $p=0,291$).

Eğilim alt boyutunda da benzer şekilde, ön test ve son test puanları açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Gruplar içi değişimlerde de anlamlılık gözlenmemiştir (müdahale grubu: $p=0,531$; kontrol grubu: $p=0,599$).

Analiz alt boyutunda kontrol grubunun son test puanlarında, ön test puanlarına göre anlamlı bir artış görülmüştür ($p=0,030$). Deney grubunda ise anlamlı bir değişim

saptanmamıştır ($p=0,447$). Gruplar arası farklar da istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p=0,081$).

Eleştirel düşünme toplam puanları değerlendirildiğinde, deney grubunun ön test ortalaması 81,29 ($SS=9,35$), son test ortalaması 79,83 ($SS=12,44$); kontrol grubunun ön test ortalaması 81,00 ($SS=13,21$), son test ortalaması ise 85,04 ($SS=10,98$) olarak belirlenmiştir. Gruplar arası ve gruplar içi karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 3. 5. Eleştirel Düşünme Ölçeği Grup İçi ve Gruplar Arası Etki Büyüklükleri

Karşılaştırma	Test İstatistiği	p Değeri	Etki Büyüklüğü
Deney Grubu (Diyalektik, Ön test–Son test)	$Z = -1.320$	0.187	$r = 0.28$ (küçük)
Kontrol Grubu (Diyalektik, Ön test–Son test)	$Z = -1.050$	0.294	$r = -0.22$ (küçük)
Deney Grubu (Eğilim, Ön test–Son test)	$Z = -0.650$	0.515	$r = -0.13$ (anlamsız)
Kontrol Grubu (Eğilim, Ön test–Son test)	$Z = -0.540$	0.589	$r = -0.11$ (anlamsız)
Deney Grubu (Analiz, Ön test–Son test)	$Z = -0.780$	0.435	$r = 0.16$ (anla)
Kontrol Grubu (Analiz, Ön test–Son test)	$Z = -2.154$	0.030*	$r = 0.44$ (orta)
Deney Grubu (Toplam, Ön test–Son test)	$Z = -0.720$	0.472	$r = 0.15$ (anlamsız)
Kontrol Grubu (Toplam, Ön test–Son test)	$Z = -1.490$	0.136	$r = -0.31$ (küçük)
Gruplar Arası Diyalektik (Son test)	$t = -0.983$	0.330	$d = -0.43$ (küçük)
Gruplar Arası Eğilim (Son test)	$t = -0.212$	0.833	$d = -0.09$ (anlamsız)
Gruplar Arası Analiz (Son test)	$t = -1.163$	0.252	$d = -0.52$ (orta)
Gruplar Arası Toplam (Son test)	$t = -1.052$	0.299	$d = -0.44$ (küçük)

Çizelge 3.5. incelendiğinde, etki büyüklüğü eleştirel düşünme ölçeğinin alt boyutlarında ve toplam puanında deney ve kontrol grupları arasında anlamlı bir farkın bulunmadığını göstermektedir. Diyalektik ve eğilim alt boyutlarında hem grup içi hem de gruplar arası karşılaştırmalarda etkiler istatistiksel olarak anlamsız veya küçük düzeydedir ($r<0,20$; $d<0,20$). Analiz alt boyutunda ise yalnızca kontrol grubunda ön test–son test puanları arasında orta düzeyde anlamlı bir artış tespit edilmiştir ($Z=-2.154$; $p=0.030$; $r=0.44$). Deney grubunda anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Eleştirel düşünme toplam puanları açısından da hem deney hem de kontrol gruplarında anlamlı bir farklılık ortaya çıkmamıştır.

3.3. Üçüncü alt probleme ilişkin bulgular

Çizelge 3. 6. Nanoteknoloji nedir? Sorusuna verilen cevapların tema kod ve frekans tabloları

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans
1. Küçüklük ve Boyut	Görünmezlik	Gözle görülemeyecek kadar küçük	Ö1, Ö3, Ö5, Ö7, Ö9, Ö11, Ö14, Ö18, Ö22	9
	Görünmezlik	Mikroskopla bile görülemeyen	Ö2, Ö6, Ö10, Ö16	4
	Ölçek	Nanometre = metrenin milyarda biri	Ö4, Ö13, Ö21	3
	Düzy	Atomik/moleküler düzeyde yapı	Ö8, Ö12, Ö15, Ö19, Ö24	5
	Dayanıklılık	Küçük ama güçlü/esnek/sağlam yapı	Ö6, Ö9, Ö14, Ö17, Ö20, Ö23	6
2.Yapısal ve İşlevsel Tanım	Değişim	Maddenin tanecik yapısında değişim	Ö1, Ö4, Ö7, Ö11, Ö18, Ö22	6
	Özellik	Yeni özellik kazandırma	Ö3, Ö8, Ö12, Ö15, Ö19, Ö24	6
	Kontrol	Atomlarla oynanarak yapı kontrolü	Ö2, Ö5, Ö10, Ö16	4
	Üretim	Yeni malzeme tasarımı ve üretimi	Ö6, Ö13, Ö20	3
3.Teknolojik Uygulama	Katkı	Bilimsel ilerleme /enerji verimliliği	Ö9, Ö17, Ö21	3

Çizelge 3.6. incelendiğinde nanoteknoloji kavramının ağırlıklı olarak “küçüklük ve boyut” teması kapsamında ele alındığı görülmektedir. **Ö1**, nanoteknolojiyi “gözle görülemeyecek kadar küçük” olarak tanımlarken, **Ö7** bu yapının “çok küçük olduğu için fark edilemez” ifadesini kullanmıştır. **Ö9**, nanoteknolojinin küçüklüğüne rağmen maddeleri daha sağlam hâle getirdiğini belirtmiş, **Ö14** ise küçük yapıların güçlü olabildiğine dikkat çekmiştir. Yapısal değişim boyutunda **Ö4**, nanoteknolojinin maddelerin tanecik yapısını değiştirdiğini ifade ederken, **Ö12** bu teknoloji sayesinde maddelerin yeni özellikler kazandığını dile getirmiştir. Teknolojik uygulamalara yönelik

olarak **Ö6**, nanoteknoloji ile yeni malzemelerin üretilebildiğini, **Ö21** ise bu teknolojinin bilimsel gelişmeye ve enerji verimliliğine katkı sağladığını belirtmiştir.

Çizelge 3. 7. Günlük hayatta nerelerde karşımıza çıkar? Sorusuna verilen cevapların tema kod ve frekans tabloları

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans
1.Sağlık ve Tıp	Tedavi	İlaç ve tedavi	Ö1, Ö5, Ö9, Ö14	4
	Günlük Ürünler	Ürün	Ö2, Ö6, Ö10, Ö15, Ö18, Ö22	6
	Genel Sağlık	Sağlık	Ö3, Ö7, Ö11, Ö16, Ö20	5
2.Giyim ve Ev Eşyaları	Tekstil	Tekstil	Ö4, Ö8, Ö12, Ö17, Ö23	5
	Temizlik	Deterjan/Temizlik Ürünleri	Ö6, Ö19	2
3.Teknoloji ve Elektronik	Elektronik	Elektronik Ürün	Ö1, Ö9, Ö13, Ö18, Ö24	5
	Enerji	Enerji verimli cihazlar	Ö5, Ö14, Ö21	3
4.Ulaşım	Yapı	Dayanım	Ö2, Ö7, Ö11, Ö16, Ö22	5
5.Eğitim ve Bilimsel Alanlar	Bilimsel Ortam	Eğitim araçları	Ö3, Ö10, Ö17	3
6.Doğadan İlham	Biyomimetik	Doğa	Ö4, Ö12	2
7.Her Alanda Yaygın Kullanım	Genelleme	Yaygınlık	Ö8, Ö15, Ö20	3

Çizelge 3.7. incelendiğinde öğrencilerin nanoteknolojinin günlük hayatta nerelerde karşısına çıkabileceğine dair farklı temalar altında çeşitli örnekler verdikleri görülmektedir. **Ö1**, nanoteknolojinin sağlık alanında kullanımına değinerek “Nanoteknoloji ilaç yapımında ve hastalıkların tedavisinde kullanılıyor.” ifadesini kullanmıştır. **Ö2**, günlük yaşamla ilişkilendirerek “Nanoteknoloji günlük kullandığımız bazı ürünlerin içinde yer alıyor.” şeklinde görüş bildirmiştir. **Ö3**, genel sağlık alanına vurgu yaparak “Nanoteknoloji insanların daha sağlıklı olmasına yardımcı oluyor.” demiştir. Giyim ve ev eşyaları temasında **Ö4**, “Nanoteknoloji kıyafetlerin daha

dayanıklı olmasını sağlıyor.” ifadesini kullanırken, **Ö6** temizlik alanına yönelik olarak “Nanoteknoloji temizlik ürünlerinde daha iyi sonuç alınmasını sağlıyor.” şeklinde görüş belirtmiştir. Teknoloji ve elektronik alanında **Ö9**, “Nanoteknoloji elektronik aletlerin daha küçük ve kullanışlı olmasını sağlıyor.” derken, enerji verimliliğine dikkat çeken **Ö14**, “Nanoteknoloji sayesinde cihazlar daha az enerji harcıyor.” ifadesini kullanmıştır. Ulaşım alanında **Ö7**, “Nanoteknoloji araçların daha sağlam yapılmasına yardımcı oluyor.” şeklinde görüş bildirirken, eğitim ve bilimsel alanlara değinen **Ö10**, “Nanoteknoloji eğitimde kullanılan araçların gelişmesini sağlıyor.” demiştir. Doğadan ilham temasında **Ö12**, “Nanoteknoloji doğadaki canlılardan örnek alınarak geliştiriliyor.” ifadesini kullanmış, son olarak **Ö15** ise yaygın kullanıma vurgu yaparak “Nanoteknoloji hayatın her alanında kullanılmaya başlandı.” şeklinde görüş bildirmiştir.

Çizelge 3. 8. Nanoteknoloji ile ilgili etkinlikler sırasında en çok hangi bilgiyi öğrendiğinizi düşünüyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans(f)
Nanomalzemelerin Özellikleri	Dayanıklılık	Nanomalzemelerin dayanıklılığı	Ö1, Ö4, Ö7, Ö10, Ö15, Ö18	6
	Esneklik	Karbon Nanotüplerin Esnekliği	Ö3, Ö12	2
	Boyut	Nanoyapıların küçük boyutu	Ö6, Ö20	2
Doğadan Alınan Yapılar	İlham Canlı Yapılar	Geko kertenkelesi yapısı	Ö2, Ö9, Ö14	3
	Bitkisel Yapılar	Lotus çiçeğinin su itici özelliği	Ö5, Ö17	2
Genel Nanoteknoloji Bilgisi	Fiziksel Özellik	Sağlamlık ve dayanıklılık kavramı	Ö8, Ö11, Ö16, Ö22	4
	Kullanım Alanı	Nerelerde kullanıldığını öğrenmek	Ö13, Ö19	2
	Yapısal Güç	Sert ve güçlü yapıların varlığı	Ö21, Ö24	2
Nano robotlar ve tıbbi kullanım	Tedavi	Nano robotların hastalıkları iyileştirmesi	Ö23	1
Teknolojik Uygulamaları	Ürün Kaplama	Nano kaplama	Ö6, Ö18	2

Çizelge 3.8. incelendiğinde, öğrencilerin nanomalzemelerin özellikleri ve kullanım alanlarına yönelik çeşitli ifadeler kullandıkları görülmektedir. Ö4, nanomalzemelerin dayanıklılığına vurgu yaparak “Nanomalzemeler çok küçük olsa da sağlam oluyor.” demiştir. Benzer şekilde Ö7, “Nanoyapılar kolay kolay bozulmuyor.” ifadesini kullanmıştır. Esneklik özelliğine değinen Ö3, “Karbon nanotüpler eğilse bile kırılmıyor.” şeklinde görüş bildirirken, Ö6 nanoyapıların boyutuna dikkat çekerek “Nanoyapılar çok küçük olduğu için gözle zor görülüyor.” demiştir. Doğadan ilham alınan yapılar temasında Ö2, “Geko kertenkelesi duvara kolayca tutunabiliyor, buna

benzer şeyler yapılıyor.” ifadesini kullanmış, Ö5 ise “Lotus çiçeği gibi suyu tutmayan yüzeyler yapılıyor.” şeklinde görüş belirtmiştir. Genel nanoteknoloji bilgisi kapsamında Ö8, “Nanoteknolojide sağlamlık ve dayanıklılık çok önemli.” derken, kullanım alanlarına değinen Ö13, “Nanoteknolojinin nerelerde kullanıldığını öğreniyoruz.” ifadesini kullanmıştır. Yapısal güce vurgu yapan Ö21, “Nanoyapılar sert ve güçlü olabiliyor.” demiştir. Tıbbi uygulamalara değinen Ö23, “Nano robotlar hastalıkların iyileşmesine yardımcı oluyor.” şeklinde görüş bildirirken, teknolojik ürün uygulamalarına örnek veren Ö18 ise “Nano kaplama sayesinde eşyalar daha dayanıklı oluyor.” ifadesini kullanmıştır.

Çizelge 3. 9. Bu bilgi günlük yaşamda nasıl işinize yarayabilir? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans(f)
Günlük Yaşamda	Giyim	Koruma	Ö1, Ö5, Ö9, Ö14	4
	Teknoloji	Ekran	Ö2, Ö6, Ö11	3
	Temizlik	Hijyen	Ö18	1
Sağlık ve Tıp Alanında	Tedavi	Hastalıkları teşhis	Ö3, Ö7	2
	Meslek	Mesleki Katkı	Ö20	1
Mühendislik Alanında	Yapı	Dayanıklılık	Ö4, Ö8, Ö12, Ö16	4
	Ulaşım	Araç Güvenliği	Ö10, Ö13, Ö17, Ö22	4
	Özel Donanım	Koruyucu	Ö24	1
Mesleki Yansımalar	Gelecek	Uygulama	Ö15	1
Olumsuz Görüş	Algı	Yararsızlık	Ö19	1

Çizelge 3.9. incelendiğinde, öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin görüşlerinin ağırlıklı olarak günlük yaşam ve mühendislik alanlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Öğrencilerin nanoteknolojinin günlük yaşam, sağlık, mühendislik ve mesleki alanlardaki etkilerine ilişkin görüşleri incelendiğinde, farklı temalar altında çeşitli ifadeler kullandıkları görülmektedir. Günlük yaşam temasında Ö1, giyim alanına yönelik olarak “Nanoteknoloji sayesinde kıyafetler bizi daha iyi koruyor.” demiştir. Teknoloji kategorisinde Ö2, “Telefon ve tablet ekranları nanoteknolojiyle daha sağlam oluyor.” ifadesini kullanmıştır. Temizlik ve hijyen boyutuna değinen Ö18 ise “Nanoteknoloji temizlikte daha hijyenli olmasını sağlıyor.” şeklinde görüş bildirmiştir. Sağlık ve tıp alanında Ö3, “Nanoteknoloji hastalıkların daha erken fark edilmesini sağlıyor.” derken, mesleki katkıya vurgu yapan Ö20, “Doktorlar nanoteknolojiden faydalıyor.” ifadesini kullanmıştır. Mühendislik alanında yapı ve dayanıklılığa dikkat çeken Ö4, “Nanoteknolojiyle yapılan yapılar daha dayanıklı oluyor.” demiştir. Ulaşım kategorisinde Ö10, “Nanoteknoloji araçların daha güvenli olmasına yardımcı oluyor.” şeklinde görüş bildirirken, özel donanımlara değinen Ö24, “Nanoteknoloji koruyucu

kıyafetlerde kullanılıyor.” ifadesini kullanmıştır. Mesleki yansımalar temasında Ö15, “İleride nanoteknoloji birçok alanda kullanılacak.” demiştir. Olumsuz görüş bildiren Ö19 ise “Nanoteknolojinin çok işe yaradığını düşünmüyorum.” şeklinde görüşünü ifade etmiştir.

Çizelge 3. 10. Bu etkinliklerde sizi en çok zorlayan kısım neydi? Bu zorlukları nasıl aşabileceğinizi düşündünüz? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans(f)
Etkinlikteki Uygulama Zorlukları	Modelleme	Karbon nanotüp maketi/modeli yapma zorluğu	Ö1, Ö3, Ö5, Ö7, Ö9, Ö12, Ö15, Ö18	8
	Uygulama	Lotus çiçeği uygulamasında teknik zorluk	Ö2, Ö10	2
	Tasarım	Geko kertenkelesi modeli oluşturma zorluğu	Ö4, Ö8, Ö14, Ö20	4
	Malzeme	Malzeme kesme, yapıştırma, şekillendirme zorluğu	Ö6, Ö11	2
	Denge	Modeli ayakta tutma, teknik çözüm arama	Ö16	1
İş birliği ve Takım Çalışması	Moleküler	Molekül modeli mıknatıs önerisi	Ö21	1
	Katılım	Takımda dengesiz iş yükü (bazıların çalışmaması)	Ö13, Ö22	2
	Destek	Takımda yardımlaşma ve destekle aşma	Ö17, Ö19, Ö23, Ö24, Ö5	5
Yaratıcı Süreçteki Zorluklar	Fikir	Fikir üretme aşamasında zorlanma	Ö3	1
	Üretim	Prototip üretme aşamasında zorlanma	Ö7	1
Çözüm Stratejileri ve Yaklaşım	Rehberlik	Öğretmenden yardım alma	Ö1, Ö6, Ö10, Ö14	4
	Farkındalık	Daha dikkatli veya planlı çalışma gerektiğini fark etme	Ö8, Ö12, Ö18	3
	Alternatif	Alternatif araç/malzeme önerme	Ö9, Ö15, Ö21	3
Zorlanmama Durumu	Deneyim	Hiçbir etkinlikte zorlanmadım	Ö2, Ö11	2

Çizelge 3.10. incelendiğinde öğrencilerin etkinlik sürecinde yaşadıkları zorluklara ilişkin görüşleri incelendiğinde, uygulama, iş birliği ve çözüm süreçlerine yönelik farklı deneyimler yaşadıkları görülmektedir. Öğrencilerin büyük bir bölümünün en fazla karbon nanotüp etkinliğinde zorlandığını ifade etmiştir. Etkinlikteki uygulama zorlukları temasında Ö5, “Karbon nanotüp modelini yapmak zor oldu.” ifadesini kullanırken, Ö3 “Modeli yaparken nasıl şekil vereceğimizi bilemedik.” şeklinde görüş bildirmiştir. Lotus çiçeği uygulamasına değinen Ö2, “Lotus çiçeği etkinliğinde bazı yerleri yapmakta zorlandık.” demiştir. Tasarım sürecinde zorlanan Ö4, “Geko kertenkelesi modelini yapmak kolay değildi.” ifadesini kullanmış, malzeme kullanımına dikkat çeken Ö6 ise “Kesme ve yapıştırma sırasında zorlandım.” şeklinde görüş

belirtmiştir. Modeli ayakta tutma sorununa değinen Ö16, “Model devrildiği için çözüm bulmaya çalıştık.” demiştir. Moleküler yapılarla ilgili olarak Ö21, “Molekül modeli için mıknatıs kullanabiliriz diye düşündüm.” ifadesini kullanmıştır. İş birliği ve takım çalışması temasında Ö13, “Grupta herkes aynı şekilde çalışmadı.” derken, destek ve yardımlaşmaya vurgu yapan Ö17, “Arkadaşlarımızla yardımlaşınca işi daha kolay yaptık.” şeklinde görüş bildirmiştir. Yaratıcı süreçte fikir üretme aşamasında zorlanan Ö3, “Ne yapacağımıza karar vermek zordu.” demiş, prototip üretme sürecine değinen Ö7 ise “Yaptığımız modeli ortaya çıkarmak zaman aldı.” ifadesini kullanmıştır. Çözüm stratejileri kapsamında Ö1, “Öğretmenden yardım alınca daha iyi anladım.” derken, farkındalık geliştiren Ö8, “Daha planlı çalışmamız gerektiğini fark ettim.” demiştir. Alternatif çözümlere değinen Ö9, “Başka malzeme kullansak daha kolay olurdu.” ifadesini kullanmıştır. Bazı öğrenciler ise herhangi bir zorluk yaşamadıklarını belirtmiş; Ö2, “Etkinliklerde zorlanmadım.” şeklinde görüş bildirirken, Ö11 de “Her şeyi rahatça yapabildim.” demiştir.

Çizelge 3. 11. Nanoteknoloji ile ilgili görüşleriniz etkinlikler sonrası değişti mi? Neden? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans(f)
Görüş Değişimi (Olumlu)	Günlük Yaşam	Günlük yaşamda kullanım alanlarının fark edilmesi	Ö1, Ö5, Ö9, Ö14, Ö18	5
	Sağlık	Sağlık alanındaki katkılarının fark edilmesi	Ö3, Ö7, Ö20	3
	Öğrenme	Etkinliklerle bilginin kalıcı hale gelmesi	Ö2, Ö6, Ö11	3
	Özellik	Dayanıklılık/esneklik gibi teknik özellikleri fark etme	Ö8, Ö12	2
	Farkındalık	Daha önce yanlış/hatalı düşündüğünü fark etme	Ö4, Ö10, Ö15, Ö22	4
	Bilgi	Daha fazla bilgi edinme, farkındalığın artması	Ö13, Ö16, Ö19, Ö21, Ö24	5
Görüş Değişimi (Olumsuz/Yok)	Tutum	Etkinliklere rağmen görüşün değişmemesi	Ö1, Ö9, Ö17	3
	Ön Bilgi	Zaten konuya önceden ilgi duyulması / bilgi sahibi olunması	Ö5, Ö14	2
	Duyuşsal	Eğlenceli bulma ama görüşün değişmemesi	Ö23	1

Çizelge 3.11. incelendiğinde, yapılan etkinlikler sonucunda öğrencilerin nanoteknolojiye yönelik görüş değişimleri incelendiğinde, çoğunlukla olumlu yönde bir farkındalık geliştiği görülmektedir. Günlük yaşam temasında Ö1, “Nanoteknolojinin günlük hayatta kullandığımız şeylerde olduğunu fark ettim.” ifadesini kullanırken, Ö9 da “Evde ve okulda kullandığımız eşyalarla ilgili olduğunu anladım.” demiştir. Sağlık

alanındaki katkılara değinen Ö3, “Nanoteknolojinin sağlıkta çok işe yaradığını öğrendim.” şeklinde görüş bildirmiştir. Öğrenme boyutunda Ö2, “Etkinlik yapınca konu aklımda daha iyi kaldı.” derken, teknik özellikleri fark eden Ö8, “Nanoteknolojide dayanıklılık ve esneklik önemliymiş.” ifadesini kullanmıştır. Farkındalık kategorisinde Ö4, “Nanoteknoloji hakkında daha önce yanlış düşündüğümü fark ettim.” demiştir. Bilgi düzeyindeki artışa vurgu yapan Ö13 ise “Nanoteknolojiyle ilgili daha fazla şey öğrendim.” şeklinde görüş bildirmiştir. Buna karşın bazı öğrencilerin görüşlerinde değişim olmadığı görülmüştür. Bu öğrencilerden Ö1, “Etkinlikten sonra da düşüncem çok değişmedi.” ifadesini kullanırken, ön bilgiye sahip olduğunu belirten Ö5, “Nanoteknolojiyi zaten biliyordum.” demiştir. Duyuşsal boyutta Ö23 ise “Etkinlikler eğlenceliydi ama fikrim değişmedi.” şeklinde görüş bildirmiştir.

Çizelge 3. 12. Bu etkinliklerde grup halinde çalışmak size nasıl bir katkı sağladı? Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans
İş Birliği ve Dayanışma	Dayanışma	Zorluklarla birlikte başa çıkma	Ö1, Ö6, Ö14	3
	Yardımlaşma	Yardımlaşma ve dayanışmanın artması	Ö3, Ö9, Ö17, Ö22	4
	Organizasyon	Görev paylaşımıyla kolaylık sağlama	Ö2, Ö8, Ö11, Ö16, Ö20	5
	Duygusal	Birlik ve beraberlik duygusunun gelişmesi	Ö5, Ö13	2
Kişisel Gelişim ve Farkındalık	Deneyim	Takım çalışmasının nasıl olduğunu öğrenme	Ö4, Ö10	2
	Bilişsel	Farklı bakış açılarıyla düşünme ve fikir geliştirme	Ö7, Ö15	2
	Kişisel	Sorumluluk alma, özgüven kazanma	Ö12, Ö18	2
	Duygusal	Cesaretlenme, destek alma	Ö24	1
Verimlilik ve Sonuç Odaklılık	Süreç	Etkinliğin daha hızlı/etkili tamamlanması	Ö1, Ö9, Ö19	3
	Ürün	Daha kaliteli ve yaratıcı ürün ortaya çıkarma	Ö6, Ö14	2
Olumsuz Deneyim	Katılım	Grup içinde dengesiz katkı	Ö21	1
	Katkı	Katkı sağlamadığını düşünme	Ö3, Ö16, Ö23	3

Çizelge 3.12. incelendiğinde öğrencilerin iş birliği, kişisel gelişim ve verimlilik açısından farklı deneyimler yaşadıkları görülmektedir. İş birliği ve dayanışma temasında Ö6, “Zorlandığımız yerlerde birlikte çözüm bulduk.” derken, Ö3 “Arkadaşlarımızla yardımlaşınca işler daha kolay oldu.” ifadesini kullanmıştır. Görev paylaşımına değinen Ö2, “Herkes bir görev alınca daha rahat yaptık.” demiştir. Duygusal boyutta Ö5, “Birlikte çalışınca kendimi daha iyi hissettim.” şeklinde görüş

bildirmiştir. Kişisel gelişim ve farkındalık temasında Ö4, “Takım çalışmasının nasıl olduğunu bu etkinlikte öğrendim.” derken, bilişsel boyuta vurgu yapan Ö7, “Arkadaşlarımla fikirleriyle farklı düşünmeyi öğrendim.” ifadesini kullanmıştır. Kişisel kazanımlara değinen Ö12, “Grup içinde sorumluluk aldım ve kendime güvendim.” demiştir. Verimlilik ve sonuç odaklılık temasında Ö1, “Birlikte çalışınca etkinliği daha hızlı bitirdik.” şeklinde görüş bildirirken, ürün kalitesine değinen Ö14, “Ortaya daha güzel ve yaratıcı bir ürün çıktı.” ifadesini kullanmıştır. Buna karşın olumsuz deneyim yaşayan bazı öğrenciler de olmuştur. Ö21, “Grupta herkes aynı şekilde çalışmadı.” derken, Ö23 ise “Gruba çok katkı sağlayamadığımı düşündüm.” şeklinde görüş bildirmiştir.

Grup çalışmasının katkı sağladığını belirtenler: 20 öğrenci

Katkı sağlamadığını/olumsuz yönler belirtenler: 4 öğrenci

Çizelge 3. 13. Nanoteknolojinin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere nasıl bir etkisi olduğunu düşünüyorsunuz? Örnek vererek açıklayınız. Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans(f)
Günlük Yaşamda Teknolojik Kullanım	Teknolojik Ürünler	Teknoloji	Ö1, Ö5, Ö9, Ö14, Ö18	5
Tıp ve Sağlık Alanında Kullanım	Tedavi	Tedavi	Ö3, Ö7, Ö20	3
Yapısal Dayanıklılık ve Performans	Malzeme	Dayanıklılık	Ö2, Ö6, Ö10, Ö15, Ö21, Ö24	6
Uzay ve Havacılık Teknolojisi	Havacılık	Hafiflik	Ö4, Ö8, Ö12, Ö17, Ö23	5
Askeri ve Savunma Teknolojileri	Askeri	Koruma	Ö16	1
Bilimsel ve Teknolojik İlerlemenin Hızı	Bilimsel Gelişim	Gelişim	Ö11, Ö19, Ö22	3
Olumlu Genel Değerlendirme	Tutum	Olumlu İfadeler	Ö6, Ö13, Ö18	3

Çizelge 3.13. incelendiğinde, öğrencilerin nanoteknolojinin farklı alanlardaki kullanımına yönelik görüşleri incelendiğinde, çoğunlukla olumlu ve farkındalık içeren ifadeler kullandıkları görülmektedir. Günlük yaşamda teknolojik kullanım temasında Ö1, “Nanoteknoloji telefon ve bilgisayar gibi teknolojik ürünlerde kullanılıyor.” derken, Ö9 “Kullandığımız teknolojilerin içinde nanoteknoloji var.” ifadesini kullanmıştır. Tıp ve sağlık alanına değinen Ö3, “Nanoteknoloji hastalıkların tedavisinde kullanılıyor.” şeklinde görüş bildirmiştir. Yapısal dayanıklılık ve performans temasında Ö2, “Nanoteknolojiyle yapılan malzemeler daha sağlam oluyor.” derken, Ö15 “Bu malzemeler daha uzun süre dayanıyor.” demiştir. Uzay ve havacılık teknolojisi alanında Ö4, “Nanoteknoloji uçakların ve uzay araçlarının daha hafif olmasını sağlıyor.” ifadesini kullanırken, askeri ve savunma teknolojilerine değinen Ö16, “Nanoteknoloji

askerlerin kullandığı koruyucu malzemelerde kullanılıyor.” şeklinde görüş bildirmiştir. Bilimsel ve teknolojik gelişim temasında Ö11, “Nanoteknoloji bilimin daha hızlı gelişmesine yardım ediyor.” derken, genel değerlendirme yapan Ö13 ise “Nanoteknoloji bence çok faydalı bir teknoloji.” ifadesini kullanmıştır.

Çizelge 3. 14. Nanoteknoloji ile ilgili öğrendiğiniz üç önemli kavramı yazınız ve bunları kısaca açıklayınız. Sorusuna verilen cevaplara ait tema, kod, frekans tabloları.

Tema	Kategori	Kod	Öğrenci Kodları	Frekans(f)
Malzeme	Nanomalzeme	Karbon nanotüp	Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö8, Ö9, Ö10, Ö11, Ö12, Ö13, Ö14, Ö15, Ö16, Ö17, Ö18, Ö19, Ö20	20
	Nanomalzeme	Nano altın	Ö1, Ö3, Ö5, Ö7, Ö9, Ö11, Ö13, Ö15, Ö17, Ö19, Ö21, Ö22, Ö23, Ö24, Ö4	15
	Nanomalzeme	Nano gümüş	Ö6	1
Ölçü Birimleri ve Boyut	Boyut	Nanometre/Nano boyut	Ö2, Ö4, Ö6, Ö8, Ö10, Ö12, Ö14, Ö16, Ö18, Ö20, Ö22, Ö24	12
	Ölçeklendirme	Nano skala	Ö7, Ö15	2
	Birim	Nano birim	Ö9, Ö21	2
Fiziksel Özellikler	Mekanik	Dayanıklılık	Ö1, Ö5, Ö9, Ö13, Ö17, Ö21	6
	Mekanik	Esneklik	Ö2, Ö6, Ö10, Ö14	4
	Yapısal	Kırılmaz Yapı	Ö8, Ö16	2
Biyomimetik Yaklaşımlar	Bitkisel	Lotus çiçeği	Ö3, Ö11, Ö18, Ö23	4
	Hayvansal	Geko Kertenkelesi	Ö4, Ö12, Ö19, Ö22, Ö24	5
Bilimsel Kavramlar	Temel Bilgi	Nanoteknoloji	Ö1, Ö7, Ö10, Ö14, Ö18, Ö21	6
	Fizik	Kuantum Etkisi	Ö5, Ö15	2
Uygulama Alanları	Sağlık	Sağlıkta kullanım	Ö2, Ö8, Ö13, Ö17, Ö22	5
	Yüzey	Yüzey Kaplama Teknolojisi	Ö6, Ö19	2
	Tedavi	İlaç Taşıma /Tedavi	Ö9, Ö16	2

Çizelge 3.14. incelendiğinde öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin algılarının ağırlıklı olarak somut örnekler ve günlük yaşamda karşılaştıkları kavramlar üzerinden şekillendiğini göstermektedir. En yüksek frekansa sahip kavramların karbon nanotüp (f=20) ve nano altın (f=15) kavramlarıdır. Nitekim Ö1 kodlu öğrenci nanoteknolojiyi “karbon nanotüplerle yapılan çok sağlam maddeler” şeklinde ifade ederken, Ö5 kodlu öğrenci “nano altının daha etkili ve farklı özelliklere sahip olduğunu” belirtmiştir. Benzer şekilde Ö14 kodlu öğrenci, nanoteknolojinin “maddeleri daha güçlü hâle getiren bir teknoloji” olduğunu vurgulamıştır. Ölçü ve boyut bilgisine ilişkin ifadelerin yaygın olması (f=16) ve “nanometre” kavramının öne çıkması, öğrencilerin nanoteknolojiyi büyük ölçüde çok küçük ölçekler üzerinden anlamlandırdıklarını göstermektedir. Nitekim Ö2 kodlu öğrenci nanoteknolojiyi “çok ama çok küçük boyutlarda yapılan çalışmalar” olarak tanımlarken, Ö10 kodlu öğrenci “gözle zor görülen kadar küçük

maddelerle ilgilenildiğini” ifade etmiştir. Ö18 kodlu öğrenci ise nanoteknolojinin “nano boyutta olduğu için normal maddelerden farklı davrandığını” dile getirmiştir. Fiziksel özelliklere ilişkin bulgular incelendiğinde, dayanıklılık ve esneklik gibi kavramların orta düzeyde ifade edildiği görülmektedir (f=12). Bu durumu destekler nitelikte, Ö1 kodlu öğrenci nanoteknolojik malzemelerin “çok zor kırıldığını”, Ö9 kodlu öğrenci ise “hem hafif hem de sağlam olabildiğini” belirtmiştir. Benzer şekilde Ö17 kodlu öğrenci, nanoteknolojinin “uçak ve benzeri araçlarda daha güçlü malzemeler yapılmasını sağladığını” ifade etmiştir. Biyomimetik yaklaşımlara ilişkin ifadeler sınırlı olmakla birlikte (f=9), öğrencilerin doğadan esinlenme fikrine kısmen değindikleri görülmektedir. Nitekim Ö4 kodlu öğrenci geko kertenkelesi örneğini “duvara yapışabilen bir hayvandan örnek alınıp yapışkan yüzeyler yapılması” şeklinde basit bir dille açıklamıştır. Benzer şekilde Ö12 kodlu öğrenci, bu örneği “hayvanların özelliklerinden faydalanılarak yeni malzemeler yapılması” olarak ifade etmiştir. Lotus çiçeğine ilişkin olarak ise Ö3 kodlu öğrenci “üzerine su gelince kir tutmayan bir bitkiden esinlenildiğini” belirtmiştir. Bilimsel kavramlara yönelik ifadelerin sınırlı olması (f=8), öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin kavramsal derinliklerinin düşük olabileceğine işaret etmektedir. Nitekim Ö7 kodlu öğrenci nanoteknolojiyi yalnızca “çok küçük teknolojiler” olarak tanımlarken, kuantum etkisine doğrudan değinen öğrenci sayısının oldukça az olduğu görülmüştür. Uygulama alanlarına ilişkin bulgular da benzer şekilde sınırlıdır (f=9). Ö9 kodlu öğrenci nanoteknolojinin “ilaçların vücutta doğru yere gitmesini sağladığını” ifade ederken, Ö16 kodlu öğrenci “hastalıklarda tedavi için kullanıldığını” belirtmiştir. Ancak bu tür ifadelerin genel öğrenci kitlesine yayılmadığı dikkat çekmektedir.

4. ARAŞTIRMANIN SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu kısımda “STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleriyle desteklenen öğretim sürecinin ortaokul 7. Sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarına ve öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerine etkisi” konulu tez çalışmasında elde edilen bulgular alan yazının önceki ve güncel çalışmalar ışığında tartışılmış; elde edilen sonuçlar bütüncül biçimde sunulmuştur.

Birinci Alt Problem: STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin ortaokul 7. Sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarına etkisi nasıldır?

Bu çalışmada gerçekleştirilen STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleri sonucunda, deney grubundaki öğrencilerin nanoteknoloji farkındalıklarında anlamlı bir artış gözlenmiştir. Etki büyüklüğü de bu artışın güçlü ve anlamlı düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, STEM temelli nanoteknoloji etkinliklerinin öğrencilerin farkındalık düzeylerini geliştirmede etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Nitekim Tekelioğlu’nun (2019) benzer düzeydeki araştırmasında da etkinliklerle desteklenen nanoteknoloji eğitiminin öğrencilerin nanoteknoloji farkındalıkları ve kavramsal anlamalarına olumlu etkileri olduğu saptanmıştır.

Alpat ve diğerlerinin (2016) iş birlikli öğrenme yöntemini kullandığı çalışmada da 10. sınıf öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıklarında anlamlı artışlar gözlemlenmiş olup, STEM yaklaşımının 21. yüzyıl becerilerinin gelişimindeki rolü dikkate alındığında, iş birliği temelli uygulamaların nanoteknoloji farkındalığını artırmada etkili olduğu söylenebilir. Benzer biçimde, Bostancı ve diğerleri (2023) tarafından zenginleştirilmiş öğrenme ortamlarında gerçekleştirilen nanobilim ve nanoteknoloji eğitimlerinin öğrencilerin farkındalık puanlarını artırdığı ortaya konmuştur.

Ayrıca, Gököz’ün (2006) geliştirdiği atölye programı aracılığıyla yapılan araştırmada, nanobilim ve nanoteknolojiye yönelik eğitimlerin kavramsal yanılgıları azaltarak öğrencilerin farkındalık ve kavramsal anlama düzeylerini anlamlı şekilde yükselttiği ve öğrenmenin kalıcılığını desteklediği görülmüştür. Literatür genelinde değerlendirildiğinde, ortaokul düzeyinde nanoteknoloji farkındalığını artırmaya yönelik etkinliklerin etkilerini inceleyen araştırma sayısının sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, Şahin ve Ekli’nin (2013) Türkiye’de binin üzerinde ortaokul öğrencisi üzerinde yaptığı çalışma, öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin belirli bir farkındalığa ve olumlu tutuma sahip olduklarını ortaya koymakta; ayrıca fen bilimleri müfredatının

nanoteknoloji alanında zenginleştirilmesinin öğrencilerin bu teknolojiye olan ilgi ve güvenini artıracakı vurgulanmaktadır. Bu sonuçlar, nanoteknolojinin fen eğitimine entegrasyonunun öğrencilerin farkındalık ve kavramsal anlamalarını desteklemede önemli bir araç olduğunu göstermekte; müfredatın bu doğrultuda güçlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ortaokul seviyesinde konuya ilişkin daha fazla kapsamlı ve uygulamalı araştırmanın yapılması, alanın gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır.

İkinci Alt Problem: STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleriyle desteklenmiş öğretim sürecinin öğrencilerin eleştirel düşünme becerileri üzerine etkisi var mıdır?

21.yüzyılda öğrencilerin geleceğe hazırlanması için eleştirel düşünme, yaratıcılık, iletişim ve iş birliği gibi becerilere önem verilmektedir (Gelen, 2017). Bu çalışmada öğrencilerin uyguladığı nanoteknoloji etkinliklerinin eleştirel düşünme becerilerine etkisi araştırılmış; eleştirel düşünme toplam puanları değerlendirildiğinde gruplar arası ve gruplar içi karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Etki büyüklükleri de bu sonucu desteklemektedir. Diyalektik ve eğilim alt boyutlarında hem deney hem de kontrol grubunda etki büyüklükleri önemsiz veya küçük düzeyde kalmıştır ($r<0,20$; $d<0,20$). Analiz alt boyutunda ise yalnızca kontrol grubunda ön test–son test puanları arasında orta düzeyde anlamlı bir artış bulunmuştur ($Z=-2.154$; $p=0.030$; $r=0.44$). Bu durum, ölçme aracının tekrar uygulanmasının test-tekrar etkisinden kaynaklanmış olabileceği ya da kontrol grubunun ders sürecinde kullanılan öğretim yöntemlerinin analiz becerilerini desteklemiş olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Deney grubunda ise tüm alt boyutlarda etki düzeyleri küçük kalmış ve anlamlı bir gelişim ortaya çıkmamıştır. Bu bulgular, STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin kısa vadede öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerinde belirgin bir artış sağlamadığını göstermektedir. Nitekim Yıldırım, Kaya, Çavdar ve Akkuş'un (2024) çalışmasında da benzer şekilde, TRIZ-STEM entegrasyonu ile hazırlanan nanoteknoloji etkinliklerinin ortaokul öğrencilerinin eleştirel düşünme becerilerinde anlamlı bir farklılık yaratmadığı rapor edilmiştir. Literatür incelendiğinde nanoteknoloji etkinliklerinin ortaokul öğrencilerinin eleştirel düşünme becerilerine etkisinin araştırıldığı farklı bir çalışmaya rastlanmamış olup, daha çok üniversite düzeyinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Üçüncü Alt Problem: STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinlikleriyle desteklenmiş öğretim sürecine ilişkin öğrenci görüşleri nelerdir?

Bu çalışmada yapılan etkinlikler sonucunda öğrencilerin büyük çoğunluğunun nanoteknolojiye yönelik görüşlerinde olumlu yönde değişim olduğu belirlenmiştir. Laszcz ve Dalvi (2021) tarafından yürütülen çalışmada, ortaokul düzeyinde teknoloji tabanlı bir nanobilim modülünün öğrenci katılımını teşvik etme potansiyeli incelenmiş; öğrencilerin modül sürecinde nanoteknoloji kavramlarına ilgilerinin arttığı, özellikle “Boyut ve Ölçek” kavramını daha iyi anladıkları tespit edilmiştir. Ayrıca model ve araç kullanımının kavramların somutlaştırılmasına olumlu katkı sağladığı, fizik, kimya ve mühendislik gibi alanlara yönelik ilgilerde artış olduğu; ancak genel STEM tutumlarında belirgin bir değişim gözlenmediği rapor edilmiştir. Bostancı vd. (2023) tarafından yapılan araştırmada ise, zenginleştirilmiş öğrenme ortamındaki nanobilim ve nanoteknoloji eğitiminin öğrencilerin temel kavramlara, uygulama alanlarına ve nano ölçekte görüntüleme tekniklerine yönelik ilgi, algı ve anlayışlarını olumlu yönde geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yıldırım, Kaya, Çavdar ve Akkuş (2024) tarafından yürütülen “Nano dünyayı Keşfetmek” adlı çalışmada ise, STEM ve TRİZ yöntemleri ile yürütülen etkinlikler sonucunda öğrencilerin eğitim sürecinden memnuniyetlerinin arttığı ve kazanımlarının geliştiği görülmüştür. Tematik analiz sonuçları, öğrencilerin nanoteknolojiye ilişkin bilgileri çoğunlukla somut ve günlük yaşam örnekleri üzerinden kavradığını göstermektedir. “Gözle görülemeyecek kadar küçük” ve “sağlam/esnek yapı” gibi kavramların ön plana çıkmasına karşın, kuantum etkisi ve üretim teknikleri gibi soyut bilimsel kavramların sınırlı düzeyde ifade edilmesi, Piaget’in bilişsel gelişim kuramındaki somut işlemler dönemi ile açıklanabilir (Özcan ve ark., 2007). Ayrıca, etkinliklerde karşılaşılan zorlukların çoğunlukla teknik uygulama ve modelleme süreçlerinden kaynaklandığı; bu süreçlerde öğretmen desteği ve grup içi iş birliğinin önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Grup çalışmalarının görev paylaşımı, yardımlaşma ve sorumluluk alma gibi becerilerin gelişmesine katkı sağladığı da gözlemlenmiştir. Bu bulgu, deneysel STEM uygulamalarının yalnızca bilgi kazandırmakla kalmayıp aynı zamanda sosyal ve iş birliği becerilerini de desteklediğini ortaya koymaktadır (Yıldırım ve Selvi, 2018). Bu araştırmada, Fen Bilimleri dersi 7. sınıf “Saf Madde ve Karışımlar” ünitesi kapsamında uygulanan STEM temelli nanoteknoloji etkinliklerinin, ortaokul öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalıkları ve eleştirel düşünme becerileri üzerindeki etkileri incelenmiş; ayrıca öğrencilerin bu etkinliklere ilişkin görüşleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, STEM uygulamalı

nanoteknoloji etkinliklerinin öğrencilerin nanoteknoloji farkındalıklarını anlamlı ve güçlü biçimde artırdığını göstermektedir. Deney grubunda ön test–son test farkı yüksek düzeyde anlamlı bulunmuş ($p<0.001$) ve etki büyüklüğü çok büyük düzeyde ($r=0.80$) olarak hesaplanmıştır. Öğrenciler, etkinlikler sayesinde nanoteknoloji kavramlarını daha somut ve günlük yaşamla ilişkilendirilebilir biçimde öğrenmiş, nanoteknolojinin kullanım alanları ve potansiyel etkileri konusunda daha bilinçli hâle gelmiştir. Eleştirel düşünme ölçeği toplam puanları ve alt boyutları incelendiğinde, deney grubunda anlamlı bir gelişim gözlenmemiştir ($p>0.05$). Etki büyüklüğü analizleri de bu bulguyu desteklemekte; deney grubunda tüm alt boyutlarda önemsiz veya küçük düzeyde etkiler ($r<0.20$, $d<0.20$) ortaya çıkmıştır. Ancak kontrol grubunda yalnızca analiz alt boyutunda orta düzeyde anlamlı bir artış bulunmuştur ($Z=-2.154$; $p=0.030$; $r=0.44$). Bu durumun, ölçme aracının tekrar uygulanmasının test-tekrar etkisinden kaynaklanmış olabileceği ya da kontrol grubundaki öğretim sürecinde kullanılan yöntemlerin analiz boyutunu dolaylı olarak desteklemiş olabileceği düşünülmektedir. Öğrenci görüşleri incelendiğinde, STEM uygulamalı nanoteknoloji etkinliklerinin derse olan ilgiyi artırdığı, öğrenmeyi daha eğlenceli ve kalıcı hâle getirdiği, günlük yaşamla bağ kurmayı kolaylaştırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bazı öğrenciler etkinliklerdeki teknik uygulamaların başlangıçta zorlayıcı olabildiğini, ancak süreç içinde bu güçlüklerin aşıldığını ifade etmiştir.

Bu araştırma, STEM tabanlı, disiplinler arası ve uygulamalı etkinliklerin, öğrencilerin nanoteknoloji farkındalıklarını geliştirmede etkili bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, nanoteknoloji gibi güncel ve çok yönlü bir alanın fen bilimleri öğretim programına entegrasyonu, bilimsel okuryazarlık ve 21. yüzyıl becerilerinin kazandırılması açısından önemli bir katkı sağlayacaktır. Ancak eleştirel düşünme becerileri açısından anlamlı bir gelişim sağlanmamış; bu durumun sınırlı uygulama süresi, örneklem büyüklüğünün düşüklüğü ($n=48$) ve çalışmanın yalnızca tek bir okulda yürütülmüş olması gibi faktörlerden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

ÖNERİLER

Araştırma bulguları doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

A. Öğretmenlere Yönelik Öneriler

Fen Bilimleri derslerinde nanoteknoloji gibi güncel ve disiplinler arası konulara daha fazla yer verilmelidir. STEM tabanlı etkinlikler, dersin her aşamasında uygulanarak öğrencilerin hem teorik hem de uygulamalı becerileri geliştirilmelidir. Öğrencilerin problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerini desteklemek için proje ve deney temelli öğrenme ortamları oluşturulmalıdır. Grup çalışmaları planlanırken her öğrencinin aktif rol alması sağlanmalı, iş birliği ve iletişim becerilerinin gelişmesine yönelik görev dağılımları yapılmalıdır.

B. Müfredat ve Eğitim Politikalarına Yönelik Öneriler

Ortaokul fen öğretim programına, nanoteknoloji gibi çağdaş bilim alanlarının uygulamalı etkinliklerle entegre edilmesi önerilmektedir. STEM eğitiminin yaygınlaştırılması için öğretmenlere yönelik hizmet içi eğitim programları düzenlenmelidir. Güncel teknolojilere yönelik etkinliklerin ders kitaplarında yer alması sağlanmalıdır.

C. Araştırmacılara Yönelik Öneriler

Benzer çalışmalar farklı sınıf seviyelerinde, farklı ünite ve konularla tekrarlanarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Farklı sosyo-ekonomik düzeydeki okullarda yapılacak çalışmalarla STEM tabanlı etkinliklerin etkileri geniş bir örneklemde incelenebilir. Uzun süreli araştırmalar yapılarak STEM etkinliklerinin kalıcı öğrenme üzerindeki etkileri değerlendirilmeli, elde edilen veriler eğitim politikalarına katkı sağlayacak şekilde raporlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda nitel veri toplama yöntemleri (görüşme, gözlem, içerik analizi) ile nicel yöntemler birleştirilerek daha derinlemesine sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca etki büyüklüğü analizlerinin kullanımı, sonuçların gücünü artıracaktır. Bununla birlikte, ortaokul düzeyinde nanoteknolojiye ilişkin farkındalık, akademik başarı, tutum ve kavramsal anlama gibi değişkenleri ölçmeye yönelik ölçeklerin sayısının ve kapsamının artırılması, alandaki araştırmaların geçerlik ve karşılaştırılabilirliğini güçlendirecektir.

KAYNAKLAR

- Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, 2025 <https://nano.aku.edu.tr:https://nano.aku.edu.tr/2016/05/12/nano-4/> [Erişim Tarihi: 17 Nisan 2025]
- Ak, N. (2009). "Nanoteknoloji Eğitiminin Lise Düzeyine Uyarlanması", Yüksek Lisans Tezi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-167.
- Akarsu, M., Akçay, N. O., Elmas, R., 2020, STEM Eğitimi Yaklaşımının Özellikleri ve Değerlendirmesi, Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Dergisi, 37,155-175.
- Akgündüz, D., ve Ertepinar, H., 2015 , STEM Eğitimi Türkiye Raporu, İAÜ, İstanbul , 1-38.
- Allhoff, F., Lin, P., ve Moore, D., 2017, Nanoteknoloji Nedir ve Neden Önemlidir? , Çev. Özge Özgür, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara.
- Alpat, S. K., Uyulgan, M. A., Şeker, S., Altaş, H. Ş., ve Gezer, E., 2017, Nanoteknoloji Konusunda İşbirlikli Öğrenme Yönteminin Ortaöğretim 10.Sınıf Öğrencilerinin Akademik Başarı ve Görüşlerine Etkisi, İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 18(1), 27-57.
- Anakpua, B. C., Inweregbuh, O. C., Odimkpa, C. O., Enemuo, C. J., Ofozoba, C. A., Isidi, P. A., Muogbo, U. F., Nnalue, O. H., Obiadazie, R. E. ve Okudo, O. C. (2025). Enhancing STEM education through AI-driven service learning: Fostering student understanding of nanotechnology-based green materials for sustainability, International Journal of Environmental Sciences, 11(20), 1323–1331.
- Arıkan, G. (2022). STEM Eğitim Yaklaşımında Teknolojik Derinlik. D. Yıldırım (Ed, STEM Eğitimi Teoriden Pratiğe El Kitabı (s. 190). Ankara: Nobel Yayın.
- Aslan, O., ve Şenel, T., 2015, Fen Alanları Öğretmen Adaylarının Nanobilim ve Nanoteknoloji Farkındalık Düzeylerinin Çeşitli Değişkenlere Göre İncelenmesi, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 24, 363-389.
- Ateş, İ., ve Üce, M., 2017, Lise Öğrencilerinin Nanobilim ve Nanoteknoloji Farkındalığı, GEFAD / GUJGEF , 37(2), 685-710.
- AZIZOV, P. D., 2021, Türkiye Üniversitelerinde Nanoteknoloji Eğitiminin İncelenmesi, 5. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, Samsun, 138-152.
- Bahadır, E. B., ve Köse, E. Ö., 2021 , STEM Eğitimlerinin Ortaokul Öğrencilerinin Bilimsel Yaratıcılıklarına ve STEM Mesleklerine Olan İlgilerine Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Eğitim Dergisi, 6 (1), 12-30.
- Batı, K., Çalışkan, İ., ve Yetişir, M., 2017, Fen Eğitiminde Bilgi İşlemsel Düşünme ve Bütünleştirilmiş Alanlar Yaklaşımı (STEAM), Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 41(41), 91-103.
- Bedeloğlu, A., ve Taş, M., 2016, Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 544-554.
- Benli, B., 2008, Nanoteknoloji ve Antik Çağlara Uzanan Killi Nanoyapılar Nanotechnology with Clay Based Nanostructures since Ancient Ages), Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 1(3), 143-162.
- Beşergil, B., 2025, Nanobilim ve Nanoteknoloji [online], Web adresi: <https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/nanobilimve-nanoteknoloji-nanoteknoloji.html> [Erişim Tarihi: 13 Mart 2025].
- Bilici, D. E., Yazıcıgil, P. D., ve Akaygün, D. D., 2023, Bir Bilim Merkezindeki Sergi ile Nanoteknoloji Eğitimine İlk Adım, Kalem Eğitim ve İnsan Bilimleri Dergisi, 13(2), 447-472.

- Bilici, E. (2019), "Bir Bilim Merkezinde Gerçekleştirilen Nanoteknoloji Atölye Çalışmasının Ortaokul Öğrencilerinin Nanobilim Kavramlarını Öğrenmeye Etkisi" Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1-141.
- Bingöl, S., Önal, Y., ve Gökbulut, İ., 2023, Geleceğin Malzemesi Olarak Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 50, 23-29.
- Blotnick, K. A., Franz-Odenaal, T., French, F. ve Joy, P., 2018, A Study of the Correlation between STEM Career Knowledge, Mathematics Selfefficacy, Career Interests, and Career ,Activities on the Likelihood of Pursuing a STEM Career among Middle School Students. International Journal of STEM Education, 5(1), 1-15.
- Bostancı, Ş. Ç., Boyraz, A., Zor, T. Ş., Zor, E., ve Aslan, O., 2021, Nanobilim ve Nanoteknolojinin TÜBİTAK Popüler Bilim Dergilerine Yansımaları, Uluslararası Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 2021 (17), 90-113.
- Bostancı, Ş. Ç., (2022), "Fen Bilimleri Öğretmen Adaylarının Nanoteknolojiye Yönelik Tutumlarının Çeşitli Değişkenlere Göre İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 26-27.
- Bostancı, Ş. Ç., Boyraz, A., Zor, T. Ş., Zor, E., Aslan, O., Bingöl, H., 2023, Zenginleştirilmiş Öğrenme Ortamındaki Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitiminin Öğrencilerin Görüş ve Farkındalıklarına Etkisi . Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi (AKEF) Dergisi, 5(3), s. 1058-1086.
- Brushan, B., 2017, Springer Handbook of Nanotechnology, Springer, Heidelberg, 1-19.
- BSTB, 2017, Bilim,Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı [online], Web adresi: <https://btgm.sanayi.gov.tr>, [Erişim Tarihi: 2025]
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., ve Demirel, F., 2018, Eğitimde Bilimsel Araştırma Yöntemleri, Pegem Akademi Yayıncılık, Ankara.
- Cady, S. I., Blok, M., Grosse, K., ve Wells, J., 2014, Project NANO (Nanoscience and Nanotechnology Outreach): A STEM Training Program That Brings SEM's and Stereoscopes into High School and Middle-School Classrooms, Scanning Microscopies, SPIE, 148-153.
- Creswell, J. W. (2017). Karma yöntem araştırmalarına giriş (1. bs.; M. Sözbilir, S. Çelik, İ. H. Acar ve Y. Göktaş, Çev.). Ankara.
- Creswell, J. W. ve Plano Clark, V. L. (2015). Karma yöntem araştırmaları: Tasarımı ve yürütülmesi (Y. Dede ve S. B. Demir, Çev. Ed.). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Çakır, A. A., ve Türkes, S., 2021, Bilimsel Çalışmalarda Karma Yöntem Nasıl Kullanılır, Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute, (42), 1-15.
- Çavdar, O., Yıldırım, B., Kaya, E., ve Akkuş, A., 2024, Nanodünyayı Keşfetmek :Ortaokul Öğrencileri Trizi Kullanıyor-Nanoteknoloji Eğitiminde STEM, Journal Of Chemical Education, 101(9),1049-1061.
- Çelik, İ., 2013, "Böcek Gözü" Kameralarla Geniş Görüş Açısı, Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, 24-25.
- Çengel, Y., 2012a, Bilim ve Fen, Bilim ve Teknik Dergisi, 56-59.
- Çengel, Y., 2012b, Bilim ve Teknoloji, Bilim ve Teknik Dergisi, 50-53.
- Delgado, C., Stevens, S. Y., ve Krajcik, N. S., 2015, A middle school instructional unit for size and scale contextualized in nanotechnology, Müfredat ve Öğretim Bölümü, STEM Eğitim Programı, Texas Üniversitesi, 51-69.
- Demir, M., 2024, Atomik Boyuttaki Mühendisliğin Adı "Nanoteknoloji", Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences International Indexed and Refereed, 34-42.

- Demirkıran, A., 2019, Doğada Nanoteknoloji: Geko Etkisi, *Social Sciences Studies Journal*, (42), 4470-4476.
- Dikme, R., ve Patak, M., 2022, Nanoteknoloji ve Sağlık. D. Ö. Demirhan (Ed) içinde, *Sağlık & Bilim-2022: Nanotıp Efe Akademi Yayınları*, İstanbul, 21-32.
- Dinç, S., Kara, M. (2018). Synthesis and applications of carbon dots from food and natural products: Review. *Journal of Apitherapy and Nature*, 1(1), 33–37.
- Doğan, A., ve Kahraman, E., 2021, The effect of STEM activities on the scientific creativity of middle school students, *International Journal of Curriculum and Instruction*, 1241-1266.
- Döner, S. Y., ve Demir, S., 2022, Ortaokul Öğrencileri İçin Eleştirel Düşünme Eğilimi Ölçeği'nin Geliştirilmesi: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması, *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, (54), 99-129.
- Ekici, D. K., 2015, Robot Arılar [online], *Bilim Genç TÜBİTAK*, Web adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/robot-arilar>, [Erişim Tarihi 05 Kasım 2025].
- Elo, S., Kääriäinen, M., Kanste, O., Pölkki, T., Utriainen, K. ve Kyngäs, H., 2014, Qualitative Content Analysis: A Focus on Trustworthiness. *SAGE Open*, 4(1), 1–10.
- Ergün, D. S., Ocak, D. D., ve Ergün, Y. D., 2017, Fen Bilimleri Öğretmenlerinin Nanoteknoloji Hakkındaki Görüşler, *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi (Journal Of Teaching)*, 6(4), 272-282
- Erkoç, Ş., 2020, *Nanobilim ve Nanoteknoloji*, Odtü Yayıncılık, Ankara.
- Ersöz, P. D., Işıtan, D. A., ve Balaban, M., 2018, *Nanoteknoloji 1*, Evrensel Nanoteknoloji Becerileri Geliştirme ve Motivasyon Kazandırma Projesi, Denizli.
- Eyüpoğlu, H., 2017, Dijital Çağda İletişim Teknolojilerinin İnsan Karakterinin Değişimine Etkisi, *Akademik Bakış Dergisi*, (63), 103-110.
- Gelen, D., 2017, P21-Program ve Öğretimde 21. Yüzyıl Beceri Çerçevesi (ABD Uygulamaları), *Disiplinlerarası Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 15-29.
- Ghattas, N. I., ve Carver, J. S., 2012, Integrating Nanotechnology Into School Education: A Review Of The Literature, *Research In Science & Technological Education*, 30(3), 271-284.
- Gököz, B. S., 2006, Design and implementation of a nanoscience and nanotechnology workshop: investigating 11th grade students' awareness and conceptual understanding of nanoscience & nanotechnology, *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 1-248.
- Güloğlu, P., 2016 , Nima çölyak cihazı [online], *İndigo Dergisi*, Web adresi: <https://indigodergisi.com/2016/12/nima-colyak-cihazı/> [Erişim Tarihi: 10 Mart 2025].
- Güney, B., ve Küçüksarıyıldız, H., 2019, Nano Altın Partikülleri ve Bazı Kullanım Alanlarına Genel Bir Bakış, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1824-1833.
- Ha, V. L., ve Lajium, D. A., 2022, Scoping Review: Appropriate Big Ideas of Nano Science and Nanotechnology to Teach in Chemistry for Secondary School, *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 7(12), 1-21.
- Hakan, H. A., Önder, Ş., ve İbrahim, Y. H., 2003, İlköğretimde Çağdaş Fen Bilgisi Öğretiminin Önemi ve Nasıl Olması Gerektiği Üzerine Bir Değerlendirme, *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(13), 80-88.
- Han, Z., Wang, Z., Feng, X., Li, B., Mu, Z., Zhang, J., ve Ren, L., 2016, Antireflective surface inspired from biology: A review, *ScienceDirect Biosurface and Biotribology*, 2(4), 137-150.

- Harman, G., Şeker, R., ve 2018, Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Nanoteknoloji Kavramı Hakkında Farkındalıkları, Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8(15), 429-450.
- Harris, P., 2013, Carbon nanotube composites, International Materials Reviews, 49(1), 31-43.
- Hingant, B., ve Albe, V. 2012, Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: A review of literature. HAL Open Science, 46(42), 121-152.
- Hood, E., 2004, Nanotechnology Looking As We Leap, Focus Environmental Health Perspectives, 112(13), 740-749.
- İTÜ Çekirdek 2025, Robot arı fikri gerçeğe dönüşüyor [online], İTÜ Çekirdek Blog, Web adresi: <https://blog.itucekirdek.com/robot-ari-fikri-gercege-donusuyor/>, [Erişim Tarihi: 17 Nisan 2025].
- Kara, E., 2023 , Karma Araştırma Yönteminin Teorik Olarak ve Örnek Araştırmalarla İncelenmesi. Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 7(13), 73-90.
- Karahan, E., ve Bozkurt, G., 2018, STEM Eğitiminde Matematik Odaklı Gerçek Dünya Problemleri ve Matematiksel Modelleme, Çepni, S. (Ed.), Kuramdan Uygulamaya STEM Eğitimi, Pegem Akademi, Ankara, 353.
- Karataş, F. Ö., ve Ülker, N., 2014, Kimya Öğrencilerinin Nanobilim ve Nanoteknoloji Konularındaki Bilgi Düzeyleri, Türk Fen Eğitimi Dergisi, 11(3), 103-118.
- Karataş, Z., 2015, Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri, Manevi Temelli Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi, 1(1), 1-19.
- Kardaş, N., 2013, Fen Eğitiminde Argümantasyon Odaklı Öğretimin Öğrencilerin Karar Verme ve Problem Çözme Becerilerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eğitim Bilimleri Üniversitesi, Eskişehir, 2-5.
- Kaya, M., Bacanak, A., 2013, Fen ve Teknoloji Öğretmen Adaylarının Düşünceleri: Fen Okuryazarı Birey Yetiştirmede Öğretmenin Yeri, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, (21), 209-228.
- Kaya, N., Karataş, H., 2016, Nanotechnology in The Curriculum: A Review of the Literature, Eurasian Journal of Physics & Chemistry Education, 8(2), 49-58.
- Keskin, Ö. H., Özden, T. P., ve Acat, P. D., 2016, Ortaokul Öğrencilerinin Fen ve Teknoloji Dersine İlişkin Bilimsel Okuryazarlık Seviyeleri, The Journal of Academic Social Science Studies, (47), 1-18.
- Kılıç, G. B., Haymana, F., ve Bozyılmaz, B., 2008, İlköğretim Fen ve Teknoloji Dersi Öğretim Programı'nın Bilim Okuryazarlığı ve Bilimsel Süreç Becerileri Açısından Analizi, Eğitim ve Bilim, 33(150), 52-63.
- Kima, J.J., Kweonc, H.-S., Leea, Y., Kimb, H. G., Parkı, S., and Jeonga, K.-H., 2012, Biologically inspired LED lens from cuticular nanostructures of firefly lantern, PNAS , 109 (46), 18674-18678.
- Hornyak, G.L., Tibbals, H.F., Dutta, J., ve Moore, J.J., 2008, Introduction to Nanoscience and Nanotechnology, 1. baskı, CRC Press, Boca Raton.
- Laherto, A., 2012, Nanoscience Education For Scientific Literacy Opportunies And Challenges In Secondary School And In Out-Of-School Settings, Doktora Tezi, Department of Physics, Faculty of Science, University of Helsinki, Helsinki, Finland, 10.
- Laszcz, M., Dalvi, T., 2021, Studying the affordances of a technology-based nanoscience module to promote student engagement in learning novel nanoscience and nanotechnology concepts at the middle school level, Research in Science and Technological Education, 41(2), 700-716.

- Lincoln, Y. S. ve Guba, E. G., 1985, *Naturalistic inquiry*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Elo, S., Kääriäinen, M., Kanste, O., Pölkki, T., Utriainen, K. ve Kyngäs, H., 2014, Qualitative content analysis: A focus on trustworthiness, *SAGE Open*, 1–10.
- Mandrikas, A., Michailidi, E., ve Stavrou, D., 2019, Teaching nanotechnology in primary education, *Research in Science & Technological Education*, 38(3), 1-19.
- Mathew, J., Joy, J., ve George, S. C., 2019, Potential applications of nanotechnology in transportation: A review, *Journal of King Saud University – Science*, 31(4), 586-594.
- MEB., 2019, T. C. Milli Eğitim Bakanlığı Öğretim Programlarını İzleme ve Değerlendirme Sistemi [online], Ankara, Web adresi: <https://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=350> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2025].
- MEB., 2024, Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları (3-8. Sınıflar) [online], T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Web adresi: <https://cdn.eba.gov.tr>
- Mousavi, S. R., ve Rezaei, M., 2011, Nanotechnology in Agriculture and Food Production, *Journal of Applied*, (1), 414-419.
- Nagarale, D., 2022, Synthetic Methods of Nanomaterials, *Innovative Nanocomposites for the Remediation and Decontamination Of Wastewater*, 279-294.
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S., Sajjadi, M., ve Issaabadi, Z., 2019, An introduction to nanotechnology, *Interface Science and Technology*, Elsevier, 1-27.
- Nayır, F., Sarı, T., ve Sarıdaş, G., 2024, Karma Yöntem Araştırma Sorularının Doğasını Keşfetmek, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitü Dergisi*, (60), 361-372.
- Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., ve Tola, Y. B., 2021, Aralık, Nanoteknolojinin tarımda uygulanması, hasat sonrası kayıpların azaltılması ve gıda işleme: gıda güvenliği üzerindeki etkileri ve zorlukları, *Heliyon (Cell Press)*, 7(12).
- Nishiyama, Y., 2015, A Sepak Takraw - Based Molecular Model For C60 - A Mathematical Study Of A 60-Atom Molecule, *Osaka Keidai Ronshu*, 66(1), 57-67.
- ODTÜ Merkezi Laboratuvar, 2025, ODTÜ Merkezi Laboratuvar [online], Ankara, Web adresi: <https://merlab.metu.edu.tr/tr> [Erişim Tarihi: 25 Mart 2025].
- Özcan, S., ve Oluk, S., 2007, İlköğretim Fen Bilgisi Derslerinde Kullanılan Soruların Piaget ve Bloom Taksonomisine Göre Analizi, *D.Ü.Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, (8), 61-68.
- Özer, Y., 2019, Nanoteknolojinin Askeri Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 33-52.
- Özsobacı, N. P., ve Ergün, D. D., 2023, Grafen Oksitin Sentezlenmesi ve Sitotoksik Etkisinin invitro Olarak Değerlendirilmesi, *Journal of Academic Research in Medicine*, 13(2), 58-62.
- Pul, M., 2019, Karbon Nanotüp (CNT) Ve Nano Grafen (G) Takviyeli Al 2024 Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretilerek Aşınma Ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi, *Uluslararası Mühendislik*, 11(1), 370-382.
- Ramsden, J. J., 2005, What is Nanoteknoloji? Advanced Materials Department, Cranfield University, Bedfordshire, Birleşik Krallık.
- Roco, M. C., Mirkin, C. A., ve Hersam, M. C., 2011, Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study, *Journal of Nanoparticle Research*, 13(3), 897-919.

- Saallah, S., ve Lenggoro, W., 2018, Nanoparticles Carrying Biological Molecules: Recent Advances and Applications, KONA Powder and Particle Journal, 35, 89-111.
- Sadiku, M. N., Ashaolu, T. J., Ajayi, A., ve Musa, S. M., 2021, Future Of Nanotechnology. International Journal of Scientific Advances, 2(2), 131-134. DOI: 10.51542/ijscia.v2i2.9.
- Sagun Gököz, B., ve Akaygün, S., 2014, Üniversiteden Liseye Uzanan Köprü: Bir Nanobilim Atölye Çalışması, Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Dergisi, 31(2), 49-72.
- Saul, L., 2018, Altın ve Gümüş Nanopartiküller [online], Azonano, Web adresi: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=4971> [Erişim Tarihi: 24 Aralık 2025].
- Sebastian, V., ve M. G., 2016, Teaching Nanoscience and thinking nano at the macroscale: Nanocapsules of wisdom, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 228, 489-495.
- Seçgin, S., 2010, " Karbon Nanotüplerin Çökme Davranışının Sürekli Ortam Kiriş Modelleri Kullanılarak İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, 1-60.
- Semerci, İ. Ö., 2014, Karbon Nanotüpler [online], Bilim Genç TÜBİTAK, bilimgenc.tubitak.gov.tr, Web adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/karbon-nanotupler> [Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2025]
- Silik, Y., ve Aydın, F., 2021, Dijital Okuryazarlık ve Teknoloji Okuryazarlığı: Karşılaştırmalı Bir İnceleme, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19(4), 17-34.
- Starr, M., 2025, Ateş böcekleri eşgüdümlü şekilde yanıp sönmeyi seviyor- sebebiyse nihayet bulunmuş olabilir, Poplar Science türkiye B-Mag, Web adresi: <https://bmag.com.tr/haber/ates-bocekleri-esgudumlu-sekilde-yanip-sonmeyi-seviyor-sebebiyse-nihayet-bulunmus-olabilir> [Erişim Tarihi: 10 Ekim 2025].
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., ve Krajcik, J. S., 2009, The big ideas of nanoscale science and engineering, NSTA Press, Arlington, VA.
- Subaşı, M., ve Okumuş, K., 2017, Bir Araştırma Yöntemi Olarak Durum Çalışması, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 21(2), 419-426.
- Suzon, M. A., 2015, Scaling Down: Reasons for Microprocessing [online], ResearchGate, Web adresi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4843.5689> [Erişim Tarihi: 23 Haziran 2025]
- Şahin, A. C., ve Say, Y. Ö., 2010, İlköğretö Öğrencilerinin Bilimsel Okuryazarlık Durumlarının İncelenmesi. ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, 6(11), 223-240.
- Şahin, N., ve Ekli, E., 2013, Ortaokul öğrencilerinin nanoteknoloji farkındalığı, görüşleri ve risk algıları, International Journal of Technology and Design Education, 23(4), 867-881.
- Taran, M., Safaei, M., Karimi, N., ve Almasi, A., 2021, Benefits and Application of Nanotechnology in Environmental Science: An Overview, Biointerface Research in Applied Chemistry, 11(1), 7860-7870.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı. (2017). Türkiye nanoteknoloji stratejisi ve eylem planı (2017–2018). Yüksek Planlama Kurulu Kararı (Karar Sayısı: 2017/23). Resmî Gazete.
- Tekelioğlu, M., 2019, "Etkinliklerle Desteklenen Öğretim Sürecinin 7. sınıf Öğrencilerinin Nanoteknoloji Hakkındaki Farkındalıklarına ve Kavramsal Etkisi", Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, 1-105.

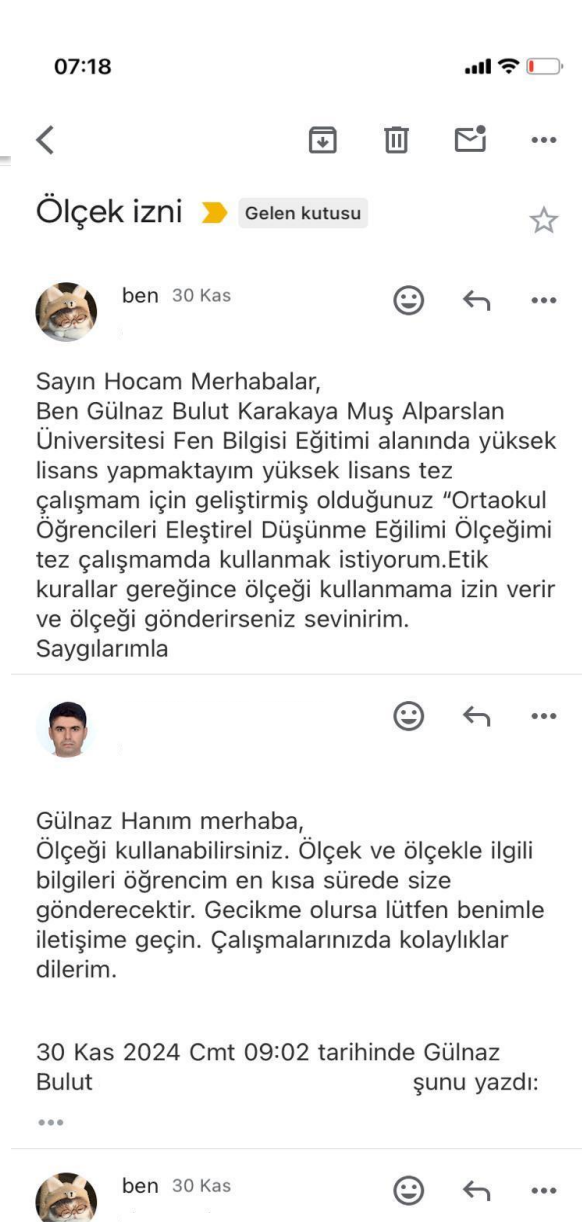
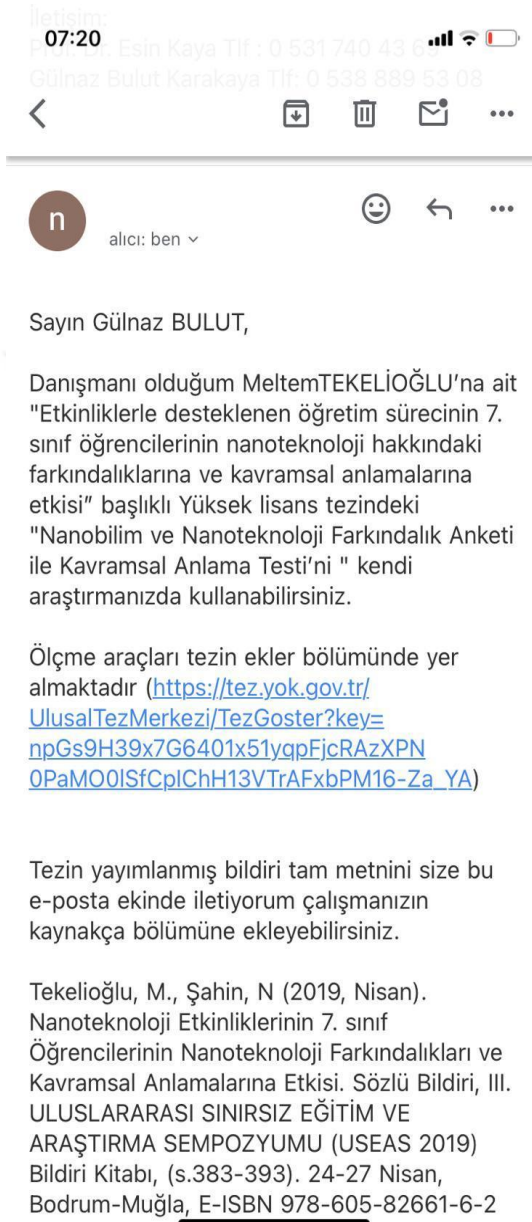
- Tunç, E., 2019, Biyolüminesans Işıma ve Biyolüminesans Görüntüleme Tekniklerinin Moleküler Biyoloji Araştırmaları Bakımından Önemi, Cukurova Medical Journal , 44(4), 1473-1483.
- TÜBİTAK. (2004). Nanobilim ve nanoteknoloji stratejileri. Vizyon 2023 Projesi Nanoteknoloji Strateji Grubu Raporu. Ankara. 1–14.
- Tüylek, Z., 2016, Küçük Şeylerin Hikayesi: Nanomalzeme, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2), 130-141.
- Tüylek, Z., 2018, Nanoteknolojinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Riskleri, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(2), 1-12.
- Tüylek, Z., 2019, Nanotıp Alanında Kullanılan Sistemler , Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 28(2), 119-129.
- Tüylek, Z. (2021). Reflections to our Lives in Nanotechnology Applications. Eurasian J Bio Chem Science, 4(2), s. 69-79.
- Uyanık, G., 2017, Fen Bilimleri Öğretiminde Tahmin-Gözlem-Açıklama Yönteminin Akademik Başarı ve Kalıcılığa Etkisi, Uluslararası Sosyal Bilimler Eğitimi Dergisi Journal of International Social Sciences Education, 3(1), 1-13.
- Ünallı, İ., 2025, Nanoteknolojide İnovasyon: Nilüfer (lotus) çiçeği[online], Roboturka, Web adresi: <https://roboturka.com/bilim/nanoteknoloji-de-inovasyon-nilufer-lotus-cicegi/> [Erişim Tarihi: 17 Nisan 2025].
- Vizyon 2023 Grubu, 2004, Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri, TÜBİTAK, Ankara.
- White, D., 2014, What is STEM education and why is it important?, Florida Association of Teacher Educators Journal , 1(14), 1-9.
- Yakar, Z., 2018, Nanoteknolojinin Tarihi. P. D. Ersöz, D. A. Işıtan, M. Balaban (Ed), Nanoteknoloji 1, Bilal ofset matbaacılık, Denizli.
- Yalçın, F. A., ve Akpınar, İ. A., 2010, Asit- Baz Konusunun Öğretiminde 5E Öğrenme Modelinin Farklı Öğrenme Stillerine Sahip Öğrencilerin Akademik Başarılarına Etkisi, EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(3), 1-17.
- Yalgın, Ş., 2023, 60 Karbonlu Fullerenlerin Astrokimyasal İncelemesi, Turkish Journal of Aatronomy and Astrophysics, 4 (Özel Sayı 3), 423-430.
- Yardımcı, D. A., 2012, Nanoteknoloji Hızlı Gelişiyor, Ekonomik Forum, Temmuz 2012.
- Yetiş, H., 2023, Karbon Harikası Yapılar, Bilim Genç TÜBİTAK.
- Yıldırım, B., 2021, Teoriden Pratiğe STEM Eğitimi Uygulama Kitabı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Yıldırım, B., ve Altun, Y., 2015, STEM Eğitim ve Mühendislik Uygulamalarının Fen Bilgisi Laboratuar Dersindeki Etkilerinin Araştırılması, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(2), 28-40.
- Yıldırım, B., ve Selvi, M., 2017, STEM uygulamaları ve Tam Öğrenmenin Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Eğitimde Kuram ve Uygulama (Journal of Theory and Practice in Education) , 13(2), 183-210.
- Yıldırım, B., ve Selvi, M., 2018, Ortaokul Öğrencilerinin STEM Uygulamalarına Yönelik Görüşlerinin İncelenmesi, Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6 (STEMES'18), 47-54.
- Yıldırım, M., 2012, Nanoteknolojiyle Ateş Böceklerinin Işığı Evimize Geliyor, Tübitak Bilim Teknik Dergisi, 4-5.
- Yıldırım, T., 2021, Nanoteknoloji Öğretimi Üzerine Yapılan Çalışmaların Uluslararası Literatür Kapsamında Tematik İncelenmesi, Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, (52), 77-96.
- Yılmaz, D., 2022a, STEM Eğitiminde Matematiksel Modelleme, Yıldırım, B. (Ed.), STEM Eğitimi: Teoriden Pratiğe El Kitabı, Nobel Yayıncılık, Ankara, 214-215.

- Yılmaz, H., 2022b, Mühendislik: STEM Eğitiminde E'yi Anlamak, Yıldırım, B. (Ed.), STEM Eğitimi: Teriden Pratiğe El Kitabı, Nobel Yayıncılık, Ankara, 173-175.
- Yu, H.-P., Jen, E., 2020, Integrating nanotechnology in the science curriculum for elementary high-ability students in Taiwan: Evidence-based lessons, *Roeper Review*, 42(1), 38–48.
- Zhu, S., Meng, H., Zhao, Y., 2021, Research, Trends of Nanoscience and Nanotechnology: A Bibliometric Analysis of Nano Today, *Nano Today*, 39.
- Zor, T. Ş., 2017, "Etkinlik Temelli Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitiminin Fen Bilimleri Öğretmen Adaylarının Nanobilim ve Nanoteknoloji Farkındalıklarına ve Kavramsal Anlayışlarına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-163.



EKLER

EK-1 Ölçek İzinleri



EK-2 Etik Kurul İzni

Evrak Tarih ve Sayısı: 27.12.2024-175348		
 MÜŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİK KURULU		
Toplantı Tarihi: 27.12.2024	Toplantı Sayısı: 16	Karar Sayısı: 82
Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu, Kurul Başkanı Prof. Dr. Ömer Faruk ALTUNÇ başkanlığında toplanarak aşağıdaki kararlar almıştır. KARAR-85: Yüksek Lisans Öğrencisi Gülizar BULUT KARAKAYA'ın 16.12.2024 tarihli başvuru dosyası eksikliği ve ekleri incelendi. Yapılan incelemeler sonucunda, Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi Gülizar BULUT KARAKAYA'ın "7. Sınıf Fen Bilimleri Derisinde Nöroendokrin Etkileşimleri Üzerindeki Etkileri" isimli çalışması Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından uygun görülmez olup, deranın Yüksek Lisans Öğrencisi Gülizar BULUT KARAKAYA'ya bildirilmiştir. Oy birliği ile karar verildi.		
BASKAN (e-imza) Prof. Dr. Ömer Faruk ALTUNÇ Kurul Başkanı		
ÜYE (e-imza) Prof. Dr. Ahmet KARAKA Beslenme Fakültesi Öğr. Üyesi ÜYE	ÜYE (e-imza) Prof. Dr. Muhammed ÇINAR Fen Bilimleri Fakültesi Öğr. Üyesi ÜYE	ÜYE (İmza) Prof. Dr. Erkan BURSAL Sağlık Bilimleri Fakültesi Öğr. Üyesi ÜYE
ÜYE (e-imza) Prof. Dr. Seda BOZKURT Fen Bilimleri Fakültesi Öğr. Üyesi	ÜYE (e-imza) Prof. Dr. Yener ÇELİKBAŞ Eğitim Fakültesi Öğr. Üyesi	ÜYE (e-imza) Prof. Dr. Zeynep YILMAZ KURT Fen Bilimleri Fakültesi Öğr. Üyesi
1/1		
Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır. Evrak sorgulaması: https://ebys.alparslan.edu.tr/en/VizyonDogrulama/BSSBMDURRC adresinden yapılabilir.		

Evrak Tarih ve Sayısı: 27.12.2024-175348	
MÜŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİK KURULU DEĞERLENDİRME FORMU	
Araştırmanın Bölge:	"7. Sınıf Fen Bilimleri Derisinde Nöroendokrin Etkileşimleri Öğrenci Fakültesi Üzerindeki Etkileri" adlı çalışma.
Başvuru Formunun Etik Kurulu Gözden Geçirildiği Tarihi:	16.12.2024
Başvuru Formunun Etik Kurulu İncelediği Tarihi:	27.12.2024
Karar Tarihi:	27.12.2024
SONUÇ 1. ☒ Kabul 2. ☐ Düşünme gerektirir Etik sorunu olmadığı belirtilmektedir, süreçler ya da emirler bulunmaktadır. Açıklama: 3. ☐ Red Gerekçe, Gönüllü, Tercih ve Açıklamalar:	
Başvuru dosyasının incelenmesinde hazır bulunan ve araştırmayla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili bulunmayan Etik Kurul başkanı ve üyelerinin ad soyad ve imzaları.	
Başkan (e-imza) Prof. Dr. Ömer Faruk ALTUNÇ	
Üye (e-imza) Prof. Dr. Ahmet KARAKA	Üye (e-imza) Prof. Dr. Muhammed ÇINAR
Üye (e-imza) Prof. Dr. Seda BOZKURT	Üye (e-imza) Prof. Dr. Yener ÇELİKBAŞ
Üye (İmza) Prof. Dr. Erkan BURSAL	Üye (e-imza) Prof. Dr. Zeynep YILMAZ KURT
Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır. Evrak sorgulaması: https://ebys.alparslan.edu.tr/en/VizyonDogrulama/BSSBMDURRC adresinden yapılabilir.	

EK-3 Nanoteknoloji Farkındalık Anketi Ön Test

Bu anket, katılımcıların nanoteknolojiye yönelik farkındalık düzeylerini ölçmek amacıyla hazırlanmıştır. Ankete katılım tamamen gönüllülük esasına dayalıdır. Anket maddelerine yönelik değerlendirmelerinizin, sizin için en uygun ve samimi şekilde yanıtlanması beklenmektedir. Elde edilen veriler yalnızca bilimsel araştırma amacıyla kullanılacaktır.

Gülnaz BULUT KARAKAYA
Muş Alparslan Üniversitesi
Eğitim Bilimleri Enstitüsü

Okul No:

Cinsiyet:

1. Bugüne kadar nanoteknoloji hakkında ne kadar şey duydunuz?

() Hiçbir şey () Çok Az () Biraz () Çok Fazla

2. Nanoteknoloji konusundaki duyumlarınızı ve ilk bilgilerinizi hangi kaynaklardan aldınız?

() Reklamlar

() Haberler

() Dergiler

() Bilim kurgu kitapları veya filmler

() TV ve radyo programları

() İnternet

() Okuldaki dersler

() Diğer (belirtiniz)

3. Aşağıdaki cümleleri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak işaretleyiniz

() Nanoteknoloji çıplak gözle zor da olsa görülebilecek materyalleri içerir.

() Bugün satılan bazı ürünlerin kullanımında halen nanoteknoloji kullanılmaktadır.

4. Aşağıdaki ifadeleri kendinize uygun olan durum ile ilişkilendirerek işaretleyiniz.

	Hayır- Bilmiyorum	Duydum ama açıklayamam	Evet, Biliyorum
1.Nanoteknoloji terimini açıklayabilirim			
2. Nanoteknolojinin faydalarına örnek verebilirim			
3.Nanoteknolojinin mühendislik, sağlık vb. alanlardaki uygulamalarına örnek verebilirim.			
4.Nanoteknolojinin gelecekte hayatımızı nasıl değiştirdiğini açıklayabilirim.			
5.Nanoteknoloji ile geliştirilen ürünlere örnek verebilirim.			
6.İleride geliştirilmesi öngörülen nanoteknolojik ürünlere örnekler verebilirim			

EK-4 Nanoteknoloji Farkındalık Anketi Son Test

Bu anket, katılımcıların nanoteknolojiye yönelik farkındalık düzeylerini ölçmek amacıyla hazırlanmıştır. Ankete katılım tamamen gönüllülük esasına dayalıdır. Anket maddelerine yönelik değerlendirmelerinizin, sizin için en uygun ve samimi şekilde yanıtlanması beklenmektedir. Elde edilen veriler yalnızca bilimsel araştırma amacıyla kullanılacaktır.

Gölnaz BULUT KARAKAYA
Muş Alparslan Üniversitesi
Eğitim Bilimleri Enstitüsü

Okul No:

Cinsiyet:

1. Bugüne kadar nanoteknoloji hakkında ne kadar şey duydunuz?

() Hiçbir şey () Çok Az () Biraz () Çok Fazla

2. Nanoteknoloji konusundaki duyularınızı ve ilk bilgilerinizi hangi kaynaklardan aldınız?

() Reklamlar

() Haberler

() Dergiler

() Bilim kurgu kitapları veya filmler

() TV ve radyo programları

() İnternet

() Okuldaki dersler

() Diğer (belirtiniz)

3. Aşağıdaki cümleleri doğru (D) ya da yanlış (Y) olarak işaretleyiniz

() Nanoteknoloji çıplak gözle zor da olsa görülebilecek materyalleri içerir.

() Bugün satılan bazı ürünlerin kullanımında halen nanoteknoloji kullanılmaktadır.

4. Aşağıdaki ifadeleri kendinize uygun olan durum ile ilişkilendirerek işaretleyiniz.

	Hayır- Bilmiyorum	Duydum ama açıklayamam	Evet, Biliyorum
1.Nanoteknoloji terimini açıklayabilirim			
2. Nanoteknolojinin faydalarına örnek verebilirim			
3.Nanoteknolojinin mühendislik, sağlık vb. alanlardaki uygulamalarına örnek verebilirim.			
4.Nanoteknolojinin gelecekte hayatımızı nasıl değiştirdiğini açıklayabilirim.			
5.Nanoteknoloji ile geliştirilen ürünlere örnek verebilirim.			
6.İleride geliştirilmesi öngörülen nanoteknolojik ürünlere örnekler verebilirim			

EK-5 Ortaokul Öğrencileri İçin Eleştirel Düşünme Eğilim Ölçeği

Aşağıdaki maddeleri doldururken lütfen <u>eleştirel düşünme eğiliminizi</u> göz önünde bulundurunuz. Lütfen boşluk bırakmayınız.	HER ZAMAN	SIK SIK	BAZEN	NADİREN	HIÇ
1. Çevremdeki insanların fikirlerini dikkatlice dinlerim.	5	4	3	2	1
2. İnsanların fikirlerini oluşturan nedenleri önemserim.	5	4	3	2	1
3. Problemlere ürettiğim çözümleri paylaşırken kendime güvenirim.	5	4	3	2	1
4. Karşıt fikirleri değerlendirirken tarafsız davranırım.	5	4	3	2	1
5. Bir durumu tüm yönleri ile tanımlayabilirim.	5	4	3	2	1
6. Fikirlerimin arkasında durabilirim.	5	4	3	2	1
7. Bir probleme getirdiğim çözümün neden doğru olduğunu açıklayabilirim.	5	4	3	2	1
8. Bilgiyi edinmeye meraklıyım.	5	4	3	2	1
9. Kendi düşüncelerimin farkındayım.	5	4	3	2	1
10. İnsanlarla herhangi bir konu üzerinde tartışmalarda bulunmayı severim.	5	4	3	2	1
11. Bir cümledeki ön yargıyı sezebilirim.	5	4	3	2	1
12. Bir olayın temelindeki nedenleri keşfetmek benim için önemlidir.	5	4	3	2	1
13. Çevremdeki insanların fikirlerini tarafsız bir şekilde dinlerim.	5	4	3	2	1
14. Problem çözme konusunda kendime güvenirim.	5	4	3	2	1
15. Mantık hatalarını tanımlayabilirim.	5	4	3	2	1
16. Düşünce sürecimde temel amacım doğrulara ulaşmaktır.	5	4	3	2	1
17. Olayların detaylarına odaklanabilirim.	5	4	3	2	1
18. Eleştirel düşünmeyi severim.	5	4	3	2	1
19. Günlük hayatta eleştirel düşünmeye başvururum.	5	4	3	2	1
20. Eleştirel düşünme benim için önemlidir.	5	4	3	2	1
21. Eleştirel düşünmenin bana katkı sağladığını düşünüyorum.	5	4	3	2	1

EK-6 Öğrenci Görüş Formu

1. Nanoteknoloji nedir ve günlük hayatta nerelerde karşımıza çıkabilir?
2. Nanoteknoloji ile ilgili etkinlikler sırasında en çok hangi bilgiyi öğrendiğinizi düşünüyorsunuz? Bu bilgi günlük yaşamda nasıl işinize yarayabilir?
3. Bu etkinliklerde sizi en çok zorlayan kısım neydi? Bu zorlukları nasıl aşabileceğinizi düşündünüz?
4. Nanoteknolojiyle ilgili görüşleriniz etkinlikler sonrasında değişti mi? Neden?
5. Bu etkinliklerde grup halinde çalışmak size nasıl bir katkı sağladı?
6. Nanoteknolojinin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere nasıl bir etkisi olduğunu düşünüyorsunuz? Örnek vererek açıklayınız.
7. Nanoteknoloji ile ilgili öğrendiğiniz üç önemli kavramı yazınız ve bunları kısaca açıklayınız.

EK-7 Etkinlik Planları

Dersin adı	Fen Bilimleri 1.HAFTA
Sınıf	7
Ünitenin Adı/No	Saf Madde ve Karışımlar (Maddenin Doğasına Yolculuk)
Konu	Maddenin Tanecikli Yapısı Nilüfer bitkisinin kendini temizleme özelliği ve nanoteknoloji
Önerilen Süre	40+ 40

BÖLÜM II

Öğrenci Kazanımları /Hedef ve Davranışlar	• Nilüfer bitkisinin yüzey özelliklerini gözlemleme • Kendini temizleyen yüzeylerin doğada nasıl oluştuğunu anlama • Nanoteknolojiyi günlük hayata uygulamalı bir örnek üzerinden tanıma
Güvenlik Önlemleri (Varsa):	
Öğretme-Öğrenme-Yöntem ve Teknikleri	• Anlatım • Gözlem ve İnceleme • Grup Çalışması
Kullanılan Eğitim Teknolojileri-Araç, Gereçler ve Kaynakça	• Nilüfer yaprağı veya benzer su itici yapraklar (ör: Lahanagillerden yapraklı bitki) • Su spreyi • Mikroskop veya büyüteç • Çizim kağıtları ve kalemler • Balmumu veya su itici sprey
Açıklamalar	1. Ders (40 dk) Nilüfer Bitkisinin Kendini Temizleme Özelliği ve Nanoteknoloji 1. Problem Durumu (5 dk) Problem Cümlesi: Ayakkabılarımız çamurlandığında temizlemesi zor oluyor. Su ve kir tutmayan bir yüzey tasarlanabilir mi? Günlük hayatta kendini temizleyen yüzeyler olup olmadığını sorarak tartışmayı başlatılır. Nilüfer bitkisinin yüzey özelliklerinin neden su tutmadığı üzerine düşüncelerini sağlar.

	Nanoteknolojinin doğadan ilham alarak geliştirilen teknolojilerde kullanımına dikkat çekilir. 2. Problem Durumu Araştırması (15 dk) Öğretmen, nanoteknoloji ve doğadaki kendini temizleyen yüzeylerin bilimsel mantığını açıklar. Öğrenciler, gruplara ayrılarak nilüfer (muadili lahana yaprağı) yaprağını inceler ve üzerine su damlatarak gözlem yapar. Mikroskop veya büyüteç yardımıyla yüzey yapısını analiz eder. 3. Olası Çözümler (10 dk) Gruplar, kendini temizleyen yüzeylerin hangi malzemelerle yapılabileceğini tartışır. Doğadan ilham alan benzer tasarımları belirler (kuş tüyleri, kelebek kanatları vb.). Gruplar, kendi tasarlayacakları su itici yüzey fikrini belirler. 4. İdeal Çözüm Seçimi (10 dk) Her grup, tartışmalar sonucunda en uygulanabilir ve etkili çözüm fikrini seçer. Seçtikleri malzeme ve yöntemleri belirleyerek uygulamalarını tasarım fikri olarak ifade eder. 2. Ders (40 Dakika)- Nanoteknoloji ve Uygulamalar 5. Prototip Oluşturma (20 dk) Gruplar, kendini temizleyen bir yüzey tasarımlarını çizer. Seçtikleri malzemeleri kullanarak (balmumu, su itici sprej vb.) su itici yüzey oluşturur. Yapılan tasarımlar gözlem ve deney yoluyla test edilir. 6. Test Etme ve Sonuçları Gözlemlene (10 dk) Gruplar, tasarladıkları yüzeylere su damlatarak etkisini test eder. Farklı gruplar birbirlerinin tasarımlarını değerlendirir. Deney sonucunda hangi tasarımın daha etkili olduğu tartışılır. 7. Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme (5 dk) Gruplar, test sonucunda eksiklikleri belirleyerek tasarımlarını
--	--

	iyileştirir. Yapılan düzenlemeler not alınır ve son hali oluşturulur. 8. Sunum (5 dk) Gruplar, tasarladıkları yüzeyleri sınıfa sunar. Akran geribildirimini alırlar.
--	---



Dersin adı	Fen Bilimleri	2.HAFTA
Sınıf	7	
Ünitenin Adı/No	Saf Madde ve Karışımlar (Maddenin Doğasına Yolculuk)	
Konu	Maddenin Tanecikli Yapısı Geko Kertenkelesinin Ayak Yapısı ve Nanoteknolojideki Kullanım Alanları	
Önerilen Süre	40 +40 dk	

BÖLÜM II

Öğrenci Kazanımları /Hedef ve Davranışlar	- Geko kertenkelesinin ayak yapısını ve özelliklerini tanıyabilme - Nanoteknoloji ve biyomimetik kavramlarını açıklayabilme - Geko ayaklarından ilham alınarak geliştirilen nanoteknolojik ürünlere örnekler verebilme - STEM yaklaşımıyla deneyimleme, gözlem yapma ve problem çözme becerilerini geliştirme
Güvenlik Önlemleri (Varsa):	
Öğretme-Öğrenme-Yöntem ve Teknikleri	- Anlatım - Gözlem ve İnceleme - Grup Çalışması
Kullanılan Eğitim Teknolojileri-Araç, Gereçler ve Kaynakça	- Çift taraflı yapışkan bant - Karton veya mukavva parçaları - Farklı yüzey malzemeleri (cam, plastik, metal), cırt bant, çift taraflı bant - Poster kâğıdı, tahta kalemleri ve renkli kalemler - Büyüteç
Açıklamalar	1. Ders (40 dk) Geko Kertenkelesinin Ayak Yapısı ve Nanoteknolojide Kullanım Alanları 1. Problem Durumu (10 dk) Problem Cümlesi: Bir dağcı, dik yüzeylerde daha rahat tırmanabilmek için geliştirilen özel eldiven ve ayakkabılardan faydalanmak istiyor. Bu ürünlerin yapışma özelliği hangi canlının ayak yapısından esinlenerek geliştirilmiştir? Bu teknolojiye hangi alanda kullanılabilir? Öğrencilerin günlük hayatta tırmanma, yapışma ve tutunma problemleri üzerine düşünceleri sağlanır. Doğadaki canlıların bu sorunu nasıl çözdüğü tartışılır

	Geko kertenkelesinin dik yüzeylerde yürüyebilmesi dikkat çekici örnek olarak sunulur. 2.Problem Durumu Araştırması (15 dk) Öğretmen, geko ayaklarının milyonlarca mikroskobik yapı sayesinde yüzeye tutunduğunu açıklar. Van der Waals kuvvetleri basit ve öğrenci düzeyine uygun şekilde anlatılır. Biyomimetik ve nanoteknoloji kavramları tanıtılır. Öğrenciler bütçe yardımıyla görseller üzerinden geko ayak yapısını inceler. 3. Olası Çözümler (5 dk) Öğrenciler gruplara ayrılır. Geko ayak yapısından esinlenerek hangi malzemelerle yapışkan bir yüzey tasarlanabileceği tartışılır. Eldiven, ayakkabı, robot ayakları gibi kullanım alanları belirlenir. 4. İdeal Çözüm Seçimi (10 dk) Her grup, en uygulanabilir tasarım fikrini seçer. Kullanılacak malzemeler (karton, cırt bant, çift taraflı bant) belirlenir. Tasarım fikri çizimle ifade edilir. 2. Ders (40 dk) Nanoteknoloji ve Biyomimetik Uygulamaları 5. Prototip Oluşturma (20 dk) Gruplar, geko ayak yapısını modelleyen prototiplerini oluşturur. Karton ve yapışkan malzemelerle farklı yüzeylere tutunabilen modeller hazırlanır. Modeller cam, plastik vb. yüzeylerde denenir. 6. Test Etme ve Sonuçları Gözleme (10 dk) Her grup, modelinin hangi yüzeyde daha iyi tutunduğunu gözlemler. Sonuçlar not edilir ve diğer gruplarla karşılaştırılır.
--	--

	En etkili tasarım özellikleri tartışılır. 7. Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme (5 dk) Gruplar, test sonuçlarına göre modellerini geliştirir. Yapışma gücünü artıracak değişiklikler yapılır. Nihai tasarım belirlenir. 8. Sunum (5 dk) Gruplar tasarımlarını sınıfa sunar. Akran geri bildirimleri alınır.
--	---



Dersin adı	Fen Bilimleri 3.HAFTA
Sınıf	7
Ünitenin Adı/No	Saf Madde ve Karışımlar (Maddenin Doğasına Yolculuk)
Konu	Maddenin Tanecikli Yapısı Nano altın ve nano gümüş
Önerilen Süre	40+40 dk

BÖLÜM II

Öğrenci Kazanımları /Hedef ve Davranışlar	- Nanoteknoloji kavramını açıklayabilme - Nano altın ve nano gümüşün ne olduğunu tanımlayabilme - Nano altının ve nano gümüşün özelliklerini keşfetme ve kullanım alanlarına örnek verebilme - STEM yaklaşımıyla problem çözme ve bilimsel süreç becerilerini geliştirme
Güvenlik Önlemleri (Varsa):	
Öğretme-Öğrenme-Yöntem ve Teknikleri	- Anlatım - Gözlem ve İnceleme - Grup Çalışması
Kullanılan Eğitim Teknolojileri-Araç, Gereçler ve Kaynakça	- Altın rengi ve gümüş rengi toz sim (nano altın ve nano gümüşü temsilen) - Mikroskop veya büyüteçler (varsa kullanılabilir) - Renkli kâğıt ve kalem - Deney tüpleri, farklı renklerde gıda boyası - İki cam şişe veya kap (su dolu) - Poster kâğıdı ve tahta kalem - Karton, alüminyum folyo, renkli farklı yüzey boyaları
Açıklamalar	1. Ders (40 dk) 1.Problem Durumu (10 dk) Problem Cümlesi: “Yaraların mikrop kapma riski iyileşme sürecini uzatıyor. Nano altın ve nano gümüşün antibakteriyel ve antiviral özelliklerinden yola çıkarak günlük hayatta hangi alanlarda daha etkili ve güvenli ürünler geliştirilebilir”. Öğrencilerin yaralanma, mikrop bulaşması ve hijyen problemleri üzerine düşünmeleri sağlanır. “Altın neden değerlidir?”, “Altın sadece takılarda mı kullanılır?” soruları yönelttilerek dikkat çekilir. Nano altın ve nano gümüşün sağlık alanındaki kullanımına dair merak uyandırılır

	2. Problem Durumu Araştırması ve Olası Çözümler (15 dk) Öğretmen, nanoteknolojinin maddelerin nano boyutta farklı özellikler kazandığını kısaca açıklar. Nano altın ve nano gümüşün antibakteriyel ve antiviral etkileri öğrenci düzeyine uygun şekilde anlatılır. Demonstrasyon: Su dolu iki cam tüpe nano altın ve nano gümüşü temsilen altın ve gümüş renkli sim eklenir. Simin suda dağılımı gözlemlenerek nano boyutun önemi vurgulanır. Gıda boyası kullanılarak nano altının farklı boyutlarda farklı renkler gösterebileceği açıklanır. 3. Olası Çözümler Üretme (5 dk) Öğrenciler 6'şar kişilik gruplara ayrılır. Her grup, nano altın ve nano gümüşün kullanım alanlarına yönelik çözüm önerileri geliştirir. Yara bandı, maske, eldiven, kaplama yüzeyler gibi kullanım alanları belirlenir. 4. İdeal Çözüm Seçimi (10 dk) Her grup en uygulanabilir çözüm fikrini seçer. Kullanılacak malzemeler (karton, folyo, bant, renkli kâğıt, renkli boya vb.) belirlenir. Seçilen çözüm fikri basit bir çizimle ifade edilir. 2. Ders (40 dk) Nano Altın ve Nano Gümüş Uygulamaları Prototip Tasarlama 5. Prototip Oluşturma (20dk) Gruplar, nano altın veya nano gümüş içeren bir ürünü temsil eden prototiplerini oluşturur. Sınıf içi basit materyallerle model hazırlanır. Prototipin hangi amaçla kullanılacağı netleştirilir. 6. Test Etme ve Sonuçları Gözlemleme (10 dk) Test sonuçlarına göre eksik yönler belirlenir. Model geliştirilerek daha etkili hale getirilir.
--	--

	Gruplar arası karşılaştırmalar yapılır. 7. Yeniden Dizayn ve Son Halini Verme (5 dk) Test sonuçlarına göre modelde iyileştirmeler yapılır. Daha etkili olabilecek alternatif tasarımlar düşünülür. Nihai prototip belirlenir. 8. Sunum Gruplar, poster veya model üzerinden tasarımlarını sınıfa sunar. Akran geri bildirimleri alınır. Nano altın ve nano gümüşün gelecekte hangi alanlarda kullanılabileceği tartışılarak ders tamamlanır.
--	---

Dersin adı	Fen Bilimleri 4.HAFTA
Sınıf	7
Ünitenin Adı/No	Saf Madde ve Karışımlar (Maddenin Doğasına Yolculuk)
Konu	Maddenin Tanecikli Yapısı Karbon Nanotüplerin Yapısı ve Kullanım Alanları
Önerilen Süre	40 + 40 dk

BÖLÜM II

Öğrenci Kazanımları /Hedef ve Davranışlar	• Öğrenciler karbon nanotüplerin ne olduğunu ve nasıl yapıldığını öğrenir. • Karbon nanotüplerin güçlü, hafif ve esnek yapısının neden önemli olduğunu kavrar. • STEM etkinliğiyle karbon nanotüp özelliklerini modelleme yoluyla deneyimleyerek öğrenir.
Güvenlik Önlemleri (Varsa):	
Öğretme-Öğrenme-Yöntem ve Teknikleri	• Anlatım • Gözlem ve İnceleme • Grup Çalışması
Kullanılan Eğitim Teknolojileri-Araç, Gereçler ve Kaynakça	• Siyah oyun hamuru veya silikon hamur (her grup için bir miktar) • İnce çubuk veya ince tel (gruplar için) • Makas • Karton veya sert zemin • Akıllı tahta (görsel ve video sunumu için) • Yapıştırıcı
Açıklamalar	1. Ders (40 dk) Karbon Nanotüpler ve Dayanıklı Yapı Tasarımları 1.Problem Durumu (10 dk) Problem Cümlesi: Günlük yaşamda kullanılan ürünlerin ve yapı sistemlerinin yeterince dayanıklı olmaması; can güvenliği, ekonomik kayıplar ve sürdürülebilirlik açısından risk oluşturmaktadır. Karbon nanotüplerden yararlanılarak bu sorunlara nasıl daha dayanıklı çözümler geliştirilebilir? Öğretmen, “Karbonun doğada hangi formlarını biliyorsunuz?” ve “Karbon sadece kurşun kalem ucu ve elmas olarak mı kullanılır?” sorularıyla dikkat çeker. Öğrencilerin dayanıklılık, sağlamlık ve güvenlik kavramları üzerine

	düşüncmeleri sağlanır. Karbon nanotüplerin bu soruna çözüm olabilecek özel bir yapı olduğu vurgulanır. 2. Problem Durumu Araştırması (15 dk) Karbon atomlarının farklı formlarda (elmas, grafit, grafen) bulunabileceği açıklanır. Karbon nanotüplerin nano ölçekte, tüp şeklinde ve çok dayanıklı yapılar olduğu öğrenci düzeyinde anlatılır. Karbon nanotüplerin kullanım alanlarını gösteren görseller veya kısa videolar izletilir. Dayanıklılık ve esneklik özelliklerinin nano yapıdan kaynaklandığı vurgulanır. 3.Olası Çözümler Üretme (5 dk) Öğrenciler 6 kişilik gruplara ayrılır. Karbon nanotüpler kullanılarak hangi alanlarda daha sağlam ürünler geliştirilebileceği tartışılır. Bina malzemeleri, köprüler, spor ekipmanları, uzay araçları gibi alanlar belirlenir. 4. İdeal Çözüm Seçimi (10 dk) Her grup, en uygulanabilir çözüm fikrini seçer. Kullanılacak malzemeler (pipet, oyun hamuru, çubuk vb.) belirlenir. Seçilen çözüm fikri basit bir çizimle ifade edilir. 2. Ders (40 dk) Nanoteknoloji Uygulamaları: Karbon Nanotüp Modeli 5. Prototip Oluşturma (20 dk) Gruplar, karbon nanotüp yapısını temsil eden modellerini oluşturur. Çubuk ve hamur kullanılarak altıgen yapılar yapılır. Bu yapılar birleştirilerek karbon nanotüp modelleri hazırlanır. 6. Test Etme ve Sonuçları Gözlemeleme (10 dk) Modellerin dayanıklılığı ve esnekliği basit testlerle gözlemlenir Hangi yapının daha sağlam olduğu belirlenir. Gruplar sonuçlarını not alarak karşılaştırma yapar. 7. Yeniden Dizayn ve Son Halini (5 dk)
--	---

	Gruplar, geliştirdikleri modeli sunar ve hangi alanlarda işe yarayabileceğini açıklar. Karbon nanotüplerin gelecekte hangi alanlarda kullanılabileceği üzerine tartışılarak ders tamamlanır. 8. Sunum (5 Dk) Gruplar, geliştirdikleri karbon nanotüp modellerini sınıfa sunar. Modellerin hangi alanlarda kullanılabileceği açıklanır. Karbon nanotüplerin gelecekteki kullanım alanları üzerine tartışılarak ders tamamlanır.
--	---



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülnaz Bulut Karakaya

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Elazığ Gazi Lisesi	2003
Üniversite	: Fırat Üniversitesi, Merkez, Elazığ	2008
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2012	Yeşilce İlköğretim Okulu, Merkez, Muş	Fen Bilimleri Öğretmeni
2012-2016	Yeşilce Ortaokulu, Merkez, Muş	Fen Bilimleri Öğretmeni
2016-2017	İlyas Sami Ortaokulu, Merkez, Muş	Müdür Yardımcısı
2017-2020	Kovancılar Ortaokulu, Kovancılar, Elazığ	Fen Bilimleri Öğretmeni
2020-2025	Türk Telekom Ortaokulu, Merkez, Muş	Fen Bilimleri Öğretmeni

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR