

# **ÇİMENTOLU KOMPOZİTLERDE NANO KATKILARIN KULLANILABİLİRLİĞİ**

**Muhammet Enes IRMAK**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman: Doç. Dr. Aylin AKYILDIZ**

**2022**

T.C.  
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇİMENTOLU KOMPOZİTLERDE NANO KATKILARIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Muhammet Enes IRMAK

ORCID: 0000-0001-7088-3898

İnşaat Mühendisliği ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Doç. Dr. Aylin AKYILDIZ

EKİM-2022

Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

### ÇİMENTOLU KOMPOZİTLERDE NANO KATKILARIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Muhammet Enes IRMAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Aylin AKYILDIZ

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler, malzemeleri en küçük boyutlarda inceleme imkânı tanımış ve yapı malzemesi alanında önemli etkiler yaratmıştır. Nano teknoloji sayesinde nano özellikli bağlayıcı malzemeler, çimento esaslı malzemelerin işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık gibi birçok özelliğini geliştirerek farklı amaçlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen harç numunelerine tungsten karbür eklenerek harçların başta dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi ve yapı malzemesi alanının gelişimine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Çalışmada harçlara çimento ağırlığınca yüzde olarak 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 oranlarında tungsten karbür eklenerek numuneler üretilmiştir. Üretilen harç numunelerine ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme, elektromanyetik kalkanlama deneyleri ve SEM analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda tungsten karbür oranı arttıkça eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Tungsten karbür ilavesi aynı zamanda ultrases geçiş hızını arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Çimento, Nanomalzeme, Nano Katkı, Tungsten Karbür

## **ABSTRACT**

### **AVAILABILITY OF NANO ADDITIVES IN CEMENTITIOUS COMPOSITES**

Muhammet Enes IRMAK

Department of Civil Engineering  
MSc. Thesis

Supervisor: Assoc Prof. Aylin AKYILDIZ

Technological developments in recent years have given the opportunity to examine materials in the smallest dimensions and have created significant effects in the field of building materials. Thanks to nano technology, nano-featured binder materials have improved many properties of cement-based materials such as workability, strength and durability, allowing them to be used for different purposes. By adding tungsten carbide to the mortar samples produced within the scope of this study, it is aimed to obtain the necessary scientific data for the application, especially to improve the strength and durability properties of the mortars, and to contribute to the development of many areas such as construction materials. In the study, samples were produced by adding 0.25, 0.5, 0.75 and 1 percent tungsten carbide to the mortars by weight of cement. Ultrasound transmission velocity, flexural strength, compressive strength, water absorption, electromagnetic shielding tests and SEM analysis were carried out on the produced mortar samples. As a result of this study, flexural strength values increased with increasing tungsten carbide ratio. The addition of tungsten carbide also increased the ultrasound transmission rate.

**Keywords:** Concrete, Cement, Nanomaterial, Nano Additive, Tungsten Carbide,

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	8
<b>2. NANOTEKNOLOJİ VE NANOMALZEME</b> .....	<b>9</b>
2.1 Nanoteknoloji.....	9
2.2 Çimentolu Kompozitlerde Nanoteknoloji Kullanımı.....	10
2.3 Nanomalzemeler .....	12
2.4 Nanomalzemelerin Başlıca Özellikleri .....	13
2.5 Nanomalzemelerin Sentezlenmesi ve İşlenmesi .....	14
2.6 Nanomalzemelerin Yapısal Olarak Sınıflandırması .....	15
2.7 Nanomalzemeler ve Kullanım Alanları .....	16
2.7.1 Titanyum Dioksit (TiO <sub>2</sub> ) Nanopartiküller .....	17
2.7.2 Silisyum Dioksit (SiO <sub>2</sub> ) Nanopartiküller .....	17
2.7.3 Çinko Oksit (ZnO) Nanopartikülleri.....	18
2.7.4 Demir Oksit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) Nanopartikülleri .....	18
2.7.5 Alüminyum Oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Nanopartikülleri .....	19
2.7.6 Zirkonyum Oksit (ZrO <sub>2</sub> ) Nanopartikülleri.....	19
2.7.7 Karbon Nanotüpleri (CNT).....	20
2.7.8 Tungsten Karbür (TK) Nanopartikülleri .....	20
2.8 Elektromanyetik Kalkanlama.....	21
2.8.1 Elektromanyetik Kalkanlama Mekanizması .....	22
<b>3. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>24</b>
3.1 Materyal .....	24
3.1.1 Nanomalzeme .....	24
3.1.2 Çimento.....	25
3.1.3 İnce Agrega.....	26
3.2 Metod .....	27

3.2.1 Karışımların Hazırlanması .....	27
3.2.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri .....	27
3.2.2.1 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi .....	27
3.2.2.2 Eğilme Dayanımı Deneyi .....	28
3.2.2.3 Basınç Dayanımı Deneyi .....	28
3.2.2.4 Su Emme Deneyi .....	28
3.2.2.5 Elektromanyetik Kalkanlama Deneyi .....	29
3.2.2.6 SEM Analizi .....	30
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>31</b>
4.1 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi .....	31
4.2 Eğilme Dayanımı Deneyi .....	32
4.3 Basınç Dayanımı Deneyi .....	33
4.4 Su Emme Deneyi .....	34
4.5 Elektromanyetik Kalkanlama Deneyi .....	35
4.6 SEM Analizi .....	39
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>41</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>43</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Nano malzemenin teknik özellikleri.....	24
Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel deney sonuçları .....	25
Çizelge 3.3. Rilem kumunun granülometrisi.....	26
Çizelge 3.4. Harç karışım oranları.....	27
Çizelge 4.1. Ultrases geçiş hızı ile beton kalitesi arasındaki bağıntı ( Neville,1996) .....	32



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nanoteknolojinin çalışma alanları (Güler, 2020).....	9
Şekil 2.2 Karbon fulleri, portakal ve Dünya (Balav, 2016).....	10
Şekil 2.3. Büyük ölçekli nesnelere nano malzeme boyut karşılaştırmasının gösterimi (Raufi, 2018).....	12
Şekil 2.4. Nano boyutlu malzemelerde artan yüzey alanı etkisinin gösterimi (Raufi, 2018)...	14
Şekil 2.5. Nanoteknolojinin üretim yaklaşımları (Balav, 2016).....	14
Şekil 2.6. Nano ölçekli malzemelerin sentezinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımların gösterimi (Raufi, 2018).....	15
Şekil 2.7. Nanomalzemelerin farklı yapısal biçimleri (Raufi, 2018).....	16
Şekil 2.8. Titanyumdioksit tozu.....	17
Şekil 2.9. Silisyum oksit tozu.....	18
Şekil 2.10. Çinko oksit tozu.....	18
Şekil 2.11. Alüminyum oksit tozu.....	19
Şekil 2.12. Zirkonyum oksit tozu.....	19
Şekil 2.13. Tungsten karbür tozu.....	20
Şekil 2.14. EMI kalkanlama mekanizmasının şematik gösterimi (Akçay, 2017).....	23
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan nano malzeme.....	25
Şekil 3.2. Portland Çimentosu.....	26
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan rilem kumu.....	26
Şekil 3.4. Elektromanyetik Kalkanlama.....	29
Şekil 3.5. Network Analyzer (ROHDE&SCHWARZ) cihazı.....	29
Şekil 4.1. Ultrases hızı sonuçları.....	31
Şekil 4.2. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları.....	32
Şekil 4.3. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	33
Şekil 4.4. Beton numunelerinin su emme oranları.....	34
Şekil 4.5. TK0 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları.....	35
Şekil 4.6. TK1 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları.....	36
Şekil 4.7. TK2 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları.....	36
Şekil 4.8. TK3 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları.....	37
Şekil 4.9. TK4 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları.....	37
Şekil 4.10. Elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları.....	38



Şekil 4.11. Numunelerin SEM görüntüsü (a) referans numunesi, (b) %0.25 TK katkı numune, (c) % 0.50 TK katkı numune, (d) %0.75 TK katkı numune, (e) %1 TK katkı numune .....40



## SİMGELER DİZİNİ

Al	Alüminyum
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
dB	Desibel
Fe	Demir
g	Gram
H	Hidrojen
K	Potasyum
m	Metre
mm	Milimetre
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
N	Newton
Na	Sodyum
nm	Nanometre
O	Oksijen
S	Kükürt
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
Zr	Zirkonyum
W	Wolfram
µs	Mikrosaniye
°C	Santigrat

## KISALTMALAR DİZİNİ

ASR	Alkali Silika Reaksiyonu
CaWO <sub>4</sub>	Şelit
CH	Kalsiyum Hidroksit
CNF	Karbon Nano Fiber
CNT	Karbon Nano Tüp
CSH	Kalsiyum Silika Hidrat
FeMnWO <sub>4</sub>	Wolframit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demiroksit
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MPa	Megapascal
MS	Mikro Silika
MWCNT	Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp
RPB	Reaktif Pudra Betonu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SF	Silis Dumanı
SiO <sub>2</sub>	Silisyumoksit
TiO <sub>2</sub>	Titanyumoksit
WC	Tungsten Karbür
WMP	Atık Mermer Tozu
XRD	X- ışını kırınımı

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımın başladığı günden bu yana değerli fikirlerini ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Aylin AKYILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen ve her koşulda bana güvenen, destek olan, başta annem ve babam olmak üzere tüm aile bireylerime teşekkür ederim.

Muhammet Enes IRMAK

İnşaat Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler, malzemeleri nano boyutlarda inceleme fırsatı tanımıştır. Nanoteknoloji, bu teknolojik gelişmelerin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Nanoteknoloji, nano boyuttaki maddeyi oluşturan atomları kontrol ederek bu maddelerin özelliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesini amaçlayan bilim olarak ifade edilmektedir. Özellikle tekstil, tıp, kimya, ilaç, uzay araştırmaları, havacılık, elektrik-elektromekanik ve inşaat gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Erol, 2017). Nano bilimdeki bu gelişmelerin inşaat alanındaki etkisi önemlidir. Bu gelişmelerin başında yapı malzemeleri alanı üzerindeki etkileri gelmektedir. Çimento esaslı malzemelerin inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemeler olarak kabul edilmesinde, hızlı gelişen beton teknolojisi ve buna bağlı olarak beton kalitesinin yüksek derecelere ulaşması en önemli etkenlerdir. Kimyasal katkıların kullanılmasıyla, su/çimento oranı düşük betonlar üretilmiş, buna bağlı olarak istenilen özelliklerde ve yüksek performanslı betonların üretilmesi mümkün olmuştur. Günümüzde basınç dayanım değeri 100 MPa'a kadar sahip betonlar üretilmekte ve yapılarda kullanılabilir (Pekmezci, 2014). Ülkemizde inşaat alanında en önemli malzeme olan betonun endüstriyel üretimi son yıllarda hızla yaygınlaşmıştır. Beton çimento, su ve agrega, isteğe göre katkıların eklenmesiyle üretilen bir yapı malzemesidir (Ulaş, 2009). Kimyasal katkı maddeleri günümüzde beton karışımlarında kullanılan olmazsa olmaz malzemelerdendir ve betonun performansına önemli oranda etki ederler (Güler, 2020). Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin ve servis ömrü boyunca tüm etkilere karşı gösterdiği performansın iyileştirilmesi kimyasal katkı malzemeleri ile mümkün olabilmektedir (Pekmezci, 2014). Farklı özelliklere sahip kimyasal katkı betonunda basınç ve eğilme dayanımlarında artış sağlar, geçirimsizlik ve durabilite özelliklerini iyileştirir, korozyonu önler, rötreyi azaltır, işlenebilirlik özelliklerinde de iyileştirmeler sağlayabilir. Bunların dışında, priz süresinin iyileşmesi, yüksek pompalanabilirlik, çimento etkinliğinin iyileştirilmesi ve alkali silika reaksiyon riskinin azaltılması gibi betonun performansına olumlu yönde olabilecek etkiler de gösterebilmektedir (Toklu vd., 2017). Farklı amaçlarla kullanılan kimyasal katkı malzemelerinin betonun performansına etkilerinin ortaya çıkması, son zamanlardaki teknolojik gelişmelerle makro ve mikro derecede inceleme teknikleri ile mümkün olmuştur. Öte yandan bu gelişmeler sayesinde, bilim insanları malzemeleri nano boyutlarda inceleme ve üretim yapma imkânı bulmuştur (Raki, 2010). Bu sayede, nano bilimdeki ilerlemeler yapı malzemesi alanını da etkileyerek önemli gelişmeler sağlamıştır. Nano teknolojideki

gelişmeler sayesinde üretilen bazı nano malzemeler beton teknolojisinin gelişmesinde etkin rol oynamışlardır (Roy, 2014).

Günümüzde yapı malzemesi alanında, çimento esaslı kompozitlerde nano malzemelerin farklı uygulamalarıyla ilgili çok sayıda araştırma yapılmaktadır (Kawashima vd., 2012). Çimento esaslı kompozitler (beton, çimento harcı ve çimento hamuru dâhil), geniş kaynaklı hammaddeleri, olgun üretim süreci, düşük maliyeti, kolay uygulanabilirliği nedeniyle en yaygın kullanılan yapı malzemeleridir (Ruan vd., 2018). Nano teknolojinin gelişimi ile nano bağlayıcı malzemeler beton ve çimento harçlarının özelliklerini geliştirmek amacıyla farklı şekillerde kullanılmaya başlanmıştır. Çimento esaslı malzemelerin işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık gibi birçok özelliği nanomalzemeler eklenerek iyileştirilebilmektedir (Zhang vd., 2020). Buna ek olarak fotokatalitik olarak modifiye edilmiş ürünler, kendi kendini temizleme ve hava temizleme özelliklerine sahip olmakla beraber binaların estetik görünümünün korunması ve kirleticilerin azaltılması için beton, cam, harç vb. yapı malzemelerinde hâlihazırda kullanılmaktadır (Kamaruddin ve Stephan, 2013). Çimento esaslı kompozitler doğada karmaşık kompozitlerdir. Yapısal malzeme olarak hizmet eden geleneksel çimentolu malzemeler, ileri mühendislik altyapılarının güvenlik, uzun ömür ve işlev gereksinimlerini karşılayamadığından, çok işlevli ve akıllı çimento esaslı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Han vd., 2017). Beton ve çimento harçlarının özelliklerini iyileştirmek için kullanılan nano malzemeler arasında nano silika ( $\text{SiO}_2$ ), nano alüminat ( $\text{AlO}_2$ ), nano titanyum oksit ( $\text{TiO}$ ), nano demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), karbon nano tüpler, nano lifler sayılabilir. Nano teknolojideki son gelişmeler bu tür malzemelerin beton özelliklerini iyileştirmede kullanımını mümkün kılmıştır (Zhang ve Islam, 2012). Günümüzde yapılan çalışmaların çoğunluğunu nano silikaoksit (nano- $\text{SiO}_2$ ) ve nano titanyum dioksit (nano- $\text{TiO}_2$ ) oluşturmaktadır. Hidratasyon reaksiyonunda nano- $\text{SiO}_2$  (NS) 'nin serbest kireç ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli yani NS'nin puzolanik aktivitesi oluşturduğu bildirilmektedir (Li vd., 2004). Nano  $\text{TiO}_2$ , hava temizleme cihazlarında ve seramik, çimento, ulaşım altyapısı ve camda yüzey işleme ve katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu ürünler kirlilikten arındırma, kendi kendini temizleme, mantar önleyici ve çevresel iyileştirme özellikleri için değerlendirilmektedir (Bianchi vd., 2013). Başka bir çalışmada çimento esaslı malzemelere nanosilika ilavesinin, her yaşta dayanımı arttırdığı aynı zamanda kalsiyum hidroksiti C-S-H jeline dönüştürerek mekanik performansı iyileştirdiğini ve kimyasal etkilere karşı direnci arttırdığını görülmektedir (Gaitero vd., 2010). Nano silika, nano alüminat ve nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ilavesi ile puzolanik aktiviteyi artırarak mekanik ve fiziksel

özelliklerde iyileşmeler sağlanmıştır (Oltulu ve Şahin, 2011). Beton harçlarına nano malzemelerin ilavesiyle elde edilen olumlu sonuçları diğer çalışmalarda yapılan X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile görülebilmektedir (Sharkawi vd., 2018). Bu çalışmalar sonucunda her alanda kullanıldığı gibi yapı malzemesi alanında da nano malzemelerin kullanımı ile beton yapısında iyileşme, servis ömrünün uzatılması ve durabiliteye karşı dayanıklılığı arttırarak inşaat mühendisliği alanında fayda sağlayabilmektedir.

## 1.1 Literatür Özeti

İnşaat Sektöründe kullanılan nanomalzemeler ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Li ve arkadaşları (2004) yaptıkları çalışmalarda, çimento harcına nano  $\text{SiO}_2$  ve nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ilavesinin mekanik ve mikro yapı özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada çimento ağırlığına göre %3, %5 ve %10 oranlarında nanomalzeme (nano  $\text{SiO}_2$  ve nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ilave ederek numuneler hazırlamışlardır. Deney sonuçlarına göre nanomalzeme ilaveli harçların basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri referans numunelere göre daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. SEM analizi sonuçlarına göre ise nanomalzeme ilavesinin hidratlar arasında dolgu görevi gördüğünü ayrıca çimento harcının mikro yapısını iyileştirerek hidratasyona olumlu yönde etki ettiğini tespit etmişlerdir.

Lin ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmalarda arıtılmış kanalizasyon çamur külü ilaveli çimento harcı numunelerine farklı boyutlardaki nano  $\text{SiO}_2$  ilavesinin çamur külü çimento harcı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çamur külü ile değişen oranlarda (%0, %1 ve %2) nano  $\text{SiO}_2$  ilaveli numuneler hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre karışımlara nano  $\text{SiO}_2$  eklenmesi priz süresini kısalttığını ve nano  $\text{SiO}_2$  oranının artması hidratasyon hızını olumlu yönde etkilediğini görmüşlerdir. Dayanım deneyleri sonuçlarına göre numunelerdeki nano  $\text{SiO}_2$  oranının artması dayanım değerlerinde sırasıyla %16 ve %39 artış sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca nano  $\text{SiO}_2$  boyutlarının azalması puzolanik reaksiyonları olumlu etkilediğini belirlemişlerdir.

Choi ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada maden atıklarından elde edilen tungsten ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ikameli harçların özelliklerinin araştırmışlardır. Çimento ağırlığınca %0, %10, %20 ve %30 oranlarında tungsten ve %0, %15, %30 ve %40 oranlarında yüksek fırın cürufu ayrı ayrı ve birlikte olmak üzere beton

numuneleri üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre tungstenin karışımların akışkanlığını azalttığını tungstenin aksine yüksek fırın cürufunun ise tungsten oranına bakılmaksızın akışkanlığı arttırdığını tespit etmişlerdir. Basınç dayanımı sonuçlarına göre ise tungstenin karışımlardaki oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığını görmüşlerdir. Sonuçlara göre tungsteni harçlarda kullanırken çimento yerine içeriğin %10 unu aşmayacak şekilde kullanılmasını önermişlerdir.

Sanchez ve Ince (2009) yaptıkları çalışmada çimento kompozitlerine hibrit karbon nano fiber (CNF) ve silis dumanı (SF) ilavesinin mikro yapısal, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ağırlıkça %10 SF ve çimento ağırlığınca değişen oranlarda (%0.005, %0.05, %0.5, %0 ve %2) CNF ilaveli numuneler üretmişlerdir. SEM analizlerine göre küçük mikro yapısı sayesinde SF, CNF dağılımını kolaylaştırdığını ve CNF'ler ile çimento fazları arasındaki ara yüzey etkileşimini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Basınç ve eğilme deneyi sonuçlarına göre CNF ilaveli numunelerde referans numunelerine benzer dayanım değerleri elde etmişlerdir.

Hosseini ve arkadaşları (2010) çalışmalarında ferrocement üretiminde kullanılan çimento harcına nano SiO<sub>2</sub> ilave ederek üretilen numunelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerini araştırmışlardır. Çimentoya oranla %1, %2 ve %3 oranlarında nano SiO<sub>2</sub> ilaveli ve 0.35 ve 0.4 s/ç oranlarında numuneler üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre nano SiO<sub>2</sub> ilaveli numunelerin basınç ve eğilme dayanım değerleri diğer numunelere göre daha yüksek değerler elde etmişlerdir. Nano SiO<sub>2</sub> ilavesinin erken yaş dayanım değerlerine etkisinin daha belirgin olduğunu yüksek spesifik yüzey alanı sayesinde hidrasyon hızına ve puzolanik reaksiyona olumlu yönde etki ettiğini görmüşlerdir.

Oltulu ve Şahin (2011) yaptıkları çalışmada çimento harçlarına nanomalzeme (nano-SiO<sub>2</sub>, nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve nano Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ilavesinin basınç dayanımı ve kapiler geçirgenlik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çimento yerine değişen oranlarda (%0.5, %1.25 ve %2.5) Nano SiO<sub>2</sub> (NS), Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NA) ve Nano Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NF) içeren numuneler üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre basınç dayanımının en yüksek değerlerini %1.25 nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu (S1.25), %0.5 nano-SiO<sub>2</sub> + nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (S0.5NSA) ile elde etmişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre, harçların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki iyileşmenin, dolgu etkisinden ziyade nanomalzemelerin puzolanik aktiviteyi arttırmasından kaynaklandığı sonucuna varmışlardır.



Kawashima ve arkadaşları (2012) çimento bazlı malzemelere nano malzeme (nanokil, nano  $\text{CaCO}_3$  ve nanosilika) ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Nano  $\text{CaCO}_3$  ilaveli numunelerde hidrasyon hızını, priz süresini hızlandırdığı ve basınç dayanımını iyileştirdiği bulunmuştur. Uçucu kül-nano  $\text{SiO}_2$  ilaveli numunelerde ise erken yaş dayanım kazanımını arttırdığını ancak ileriki yaş dayanım kazanımında yavaşlama olduğunu görmüşlerdir.

Zhang ve Islam (2012) çalışmalarında nano silika (NS) ilavesinin yüksek hacimli uçucu kül ve cüruf içeren betonun priz süresi ve erken yaş dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 0.45 s/ç oranında %50 uçucu kül ve cüruf içeren nano-silika ilaveli numuneler üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre %1 NS ilaveli numunelerin priz süresini kısalttığını ve hidrasyon hızını arttırdığını görmüşlerdir. %2 NS ilaveli numunelerde erken yaş dayanım değerlerini yaklaşık %30 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir.

Wang ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmalarında karbon nano tüp (CNT) ilavesinin çimento esaslı malzemelerdeki üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sabit s/ç oranlarına sahip çimento yerine değişen oranlarda (%5, %8, %10, %12 ve %15) CNT içeren numuneler üretmişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan analizler sonucunda CNT içeren numunelerin daha düzgün bir boyut dağılımına sahip olduğunu ve çatlaklar ve boşluklar arasında köprü görevi gördüğünü belirlemişlerdir. Mekanik deney sonuçlarına göre numunelere CNT ilavesinin eğilme tokluğunu önemli ölçüde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Rao ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada nano malzemelerin (nano- $\text{SiO}_2$  ve nano- $\text{TiO}_2$ ) kendiliğinden yerleşen harçların taze ve sertleşmiş durum özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Aynı S/Ç oranlarında, %30 uçucu kül ikameli ve çimento yerine değişen oranlarda (% 0.50, % 0.75, % 1.00, %1.50 ve %3.00) nano- $\text{SiO}_2$  (NS) ve nano- $\text{TiO}_2$  (NT) içeren karışımlar üretmişlerdir. Taze beton deney sonuçlarına göre nano malzeme ilavesinin su emilimi değerlerini arttırdığını görmüşlerdir. Basınç ve eğilme dayanımı testleri sonuçlarına göre NS ilavesinin erken yaş dayanımlarında artış meydana getirdiğini, NT ilavesinin ise ileriki yaş dayanımlarında daha belirgin artış sağladığını görmüşlerdir. 28 günlük dayanım değerlerine göre en fazla artış NT1A (0.5%NT) ve NT2A (0.5%NT) karışımlarında tespit etmişlerdir.

Han ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada nano $\text{ZrO}_2$  (NZ) ilaveli reaktif betonunun mekanik ve elektriksel özellikleri incelemişlerdir. Çimento ağırlığına göre değişen oranlarda (%0.5, %1.0, %3.0 ve %5.0) NZ içeren ve s/ç oranı 0.24 olan numuneler

üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre NZ ilavesinin elektrik iletkenliğini iyileştirdiğini görmüşlerdir. SEM analizlerine göre NZ ilavesinin numunelerin mikro yapısını yoğunlaştırdığından erken yaş (3 gün) dayanımını olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte basınç ve eğilme dayanımı sonuçlarına göre ileriki yaş (28 günlük) dayanım değerlerinin referans numuneye göre arttırdığını elde etmişlerdir.

Ruan ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada çok duvarlı karbon nano tüp (MWCNT) ilavesinin reaktif toz betonunun (RPC) mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Farklı kürlenme yöntemleri (su ve ısı kürü) ile çimento ağırlığınca değişen oranlarda (%0, %0.25 ve %0.50) MWCNT içeren numuneler hazırlamışlardır. Deney sonuçlarına göre SEM analizleri MWCNT ilavesinin çatlaklarda dolgu görevi gördüğünü ve iyileştirmeler yaptığını tespit etmişlerdir. Çoğu durumda ısıyla kürlenmiş MWCNT ilaveli numunelerin basınç ve eğilme dayanım değerleri suyla kürlenmiş numunelere göre fazla olduğunu ve bunun nedeninin ısıyla kürlenmenin mikro yapılarda iyileştirmeler sağladığını elde etmişlerdir.

Sharkawi ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada mikro silika (MS) ve nano silika (NS) ilaveli harçların dayanıklılık performansını araştırmışlardır. Toplam bağlayıcı oranı (%10) sabit tutularak numuneler hazırlamışlardır. Deney sonuçlarına göre % 2 NS +% 8 MS ikameli karışımın basınç ve eğilme dayanımı değerlerini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir. % 2 NS +% 8 MS ikameli karışımın korozyon başlatma süresini % 16 geciktirmiş ve sülfat direncini önemli ölçüde arttırdığını görmüşlerdir. Daha sonra gerçekleştirilen XRD ve SEM analizi, MS + NS karışımının kullanılmasının, silika partiküllerinin pozolanik verimini artırdığını ve MS veya NS partiküllerinin ayrı ayrı kullanılmasına göre daha yoğun mikro yapı sağladığını tespit etmişlerdir.

Ma ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada atık mermer tozu (WMP) ilaveli çimento harçlarına nano silika (NS) ilavesinin mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Portland çimentosunun kısmi ikamesi olarak NS (% 0,% 1,% 2 ve% 3) ve WMP (% 0,% 10,% 20 ve % 30) içeren 16 harç karışımı üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre çimentonun WMP ile değiştirilmesinin basınç dayanımını açıkça azalttığını, NS ilavesinin basınç dayanımı üzerinde olumlu etki gösterdiğini ve bunun nedeninin çekirdeklenme etkisi ve pozolanik reaktivitesinin yüksek olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Olumlu sonuçları % 10 WMP ve % 3 NS numunesinde elde etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre NS'nin ultra yüksek

özgül yüzey alanı, dolgu etkisi ve ultra yüksek puzolanik reaktivitesi sayesinde harçların erken yaşta hidrasyon sürecinde iyileşme sağladığını tespit etmişlerdir.

Alharbi ve arkadaşları (2020) mevcut metakaolin ve nano malzemelerin kullanılmasının reaktif pudra beton (RPC) özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Farklı kütleme teknikleri ile çimento yerine değişen oranlarda (%2,5 , %3 ve %5) nanosilika (NS) ve nanokil (NC) içeren numuneler üretmişlerdir. Daha sonra numunelere taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre termal kütleme işlemi, yüksek oranda puzolan içermesi nedeniyle, RPC'deki basınç dayanımını, erken ve geç yaşlarda standart su kütlemeinden daha fazla arttırdığını görmüşlerdir. Basınç dayanımı deneylerinin sonuçlarına göre silika dumanı içeren RPC numunelerine (SF-RPC) NS ve NC ilavesinin önemli ölçüde artış sağlamadığını, metakaolin içeren RPC numunelerinin (MK-RPC) ise NS ve NC ilavesinin basınç dayanımını büyük ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir.

Zhang ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada nano-SiO<sub>2</sub> (NS) ve nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NA) ikameli çimento harçlarının mekanik ve dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. Çimento yerine değişen oranlarda (% 0.5,% 1.0,% 2.0 ve% 3.0), ayrı ayrı ve birlikte NS ve NA ilaveli numuneler üretmişlerdir. Basınç ve eğilme dayanımı testi sonuçlarına göre NS ve NA ilavesinin olumlu etki yarattığını ve en iyi sonucu %3 NS + NA (PNSA3) numunesinden elde etmişlerdir. Taze beton deney sonuçlarına göre ise hidrasyon süresi, su emilimi gibi özelliklerin nano malzeme içeriğinin artmasıyla olumlu etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Gavriş ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada Tungsten karbür (WC) ve Titanyum Karbür (TiC) nanotozlarının ilavesinin beton numunelerinin mekanik ve dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. Çimento ağırlığınca %1, %2, %3, ve %4 oranlarında WC ve WC, TiC içeren beton numuneleri üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre her iki türdeki karışımlarda katkı ilaveleri basınç ve eğilme dayanımını arttırdığını elde etmişlerdir. WC, TiC numunelerinin WC numunelerine kıyasla su emilimini önemli oranda azalttığını tespit etmişlerdir.

Idrees ve arkadaşları (2022) yaptıkları çalışmada Silisyum Karbür (SiC) ve Tungsten Karbür (WC) ikameli beton numunelerinin mekanik ve dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. Çimento ağırlığınca %1, %2, %3, ve %4 oranlarında ayrı ayrı ve %2,%4 oranlarında birlikte olmak üzere beton numuneleri üretmişlerdir. Basınç ve eğilme dayanımı deneyi sonuçlarına göre her iki katkının ilavesi dayanım değerlerini önemli ölçüde arttırdığını

elde etmişlerdir. %4 WC ilaveli numunenin daha düşük geçirgenliğe sahip olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak hem WC hem de SiC betonla uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.

Günümüzde nano malzemeler çimento esaslı malzemelerde uygulanmaya başlanmış ve belirli bir ilerleme kaydedilmiştir. Nano malzemelerin kullanımıyla malzemelerin sadece dayanım, durabilite gibi özellikleri iyileştirilmesinin yanı sıra, aynı zamanda kendi kendini temizleme, basınç algılama gibi yeni özellikler kazanması mümkündür. Nano teknolojinin birçok alanda kullanılmasıyla beraber beton teknolojisinde de kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Yapılan araştırmalarla nano malzemelerin beton teknolojisinde uygulanabilirliği ve beton dayanımına katkısı her geçen gün artmaktadır. Başta çimento esaslı malzemeler olmak üzere yapılan çalışmalar, üretilen malzemelere çevreci ve farklı özellik kazandırmayı amaçlayan; insan ve çevre sağlığı açısından önemli olan ve inşaat sektörüne elde edilen bilgileri sunarak faydalı olmaktadır.

## **1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmanın amacı, çimento bağlayıcılı kompozitlerde nano katkı oranlarını belirlemek, nano malzeme kullanarak üretilen harçların elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin belirlenmesi, geliştirilmesi ve yüksek özelliklere sahip malzemeleri geliştirmektir. Çalışmada elde edilen bilgi birikimi inşaat sektörüne hizmet edeceği gibi malzeme, teknoloji kullanımı açılarından son derece önemli bir konuda ürün geliştirilmesi ve ürünün kullanımı konularında faydalı olacaktır.

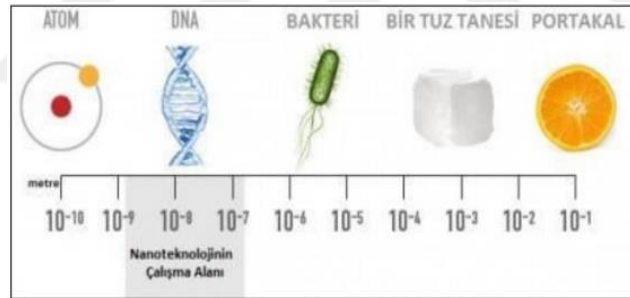
Tez çalışmasının amaç ve hedefleri aşağıdaki gibidir:

- Uygulanacak karışım oranlarından hangisinin dayanımının daha yüksek ve dayanıklı harç üretimi sağladığının tespiti,
- Üretilecek katkı harçların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi,
- Nano malzemeler kullanarak üretilecek harçların elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirmesi,
- Üretilecek harcın inşaat yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi,
- Yapılan araştırma ile kullanılan katkının uygulanabilirliği için gerekli bilimsel verilerin elde edilmesi.

## 2. NANOTEKNOLOJİ VE NANOMALZEME

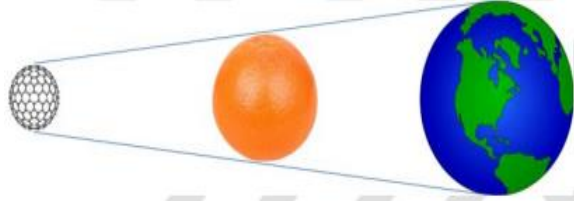
### 2.1 Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, 1990'lı yıllarda Rice Üniversitesinde, başta Richard S. ve diğer araştırmacıların, simetrik şekilde dizilmesiyle oluşan 60 karbon atomunun “fullerene” adı verilen top şeklindeki moleküllerini geliştirmeleriyle başlamıştır. Geliştirdikleri 1 nanometre boyutunda, metalden güçlü, plastik malzemeden hafif, ısı ve elektriğe karşı geçirgen özelliği olan bu molekül yapısı ile Nobel Kimya ödülünü almışlardır (Güler, 2020). Nanoteknoloji, nano ölçekli malzemelerle ilgilenen ve bu ölçekteki maddeleri sentezlemek, kontrol ve karakterize etmek için çeşitli yaklaşımlarda bulunan yeni nesil teknolojidir. Nanoteknoloji aynı zamanda nano boyutlu malzemelerin üretimi, kullanımı ve izlenmesiyle birlikte, moleküler boyuttaki taneciklerin sentezi, görsel olarak elde edilmesi, konfigürasyonu ve izlenmesi olarak da tanımlanmaktadır (Raufi, 2018). Özellikle tekstil, tıp, kimya, ilaç, uzay araştırmaları, havacılık, elektrik - elektromekanik ve inşaat gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Nanoteknolojinin çalışma alanları Şekil 2.1’de görülmektedir (Güler, 2020).



Şekil 2.1. Nanoteknolojinin çalışma alanları (Güler, 2020)

Nano ölçek, boyutları 1 ile 100 nanometre (1nanometre= $10^{-9}$  metre) arasındaki ölçülerdir. Başka ifadeyle, insan saçı boyutunun küçüklüğü nano ölçeği ifade etmek için örnek verilebilir. İnsan saçı yaklaşık 100000 nm (0.1 mm) kalınlığındadır. Bir karbon fullerene (elmas ve grafit dışındaki allotroplara denir) ve portakal boyutunun oranı ile portakal ile Dünyanın oranı ile aynıdır (Şekil 2.2) (Balav, 2016).



Şekil 2.2 Karbon fulleri, portakal ve Dünya (Balav, 2016)

Nano teknoloji, tüm nesnelerin yapıtaşı olan atomları, istenilen şekilde düzenlemeyi ve daha dayanıklı, daha hafif ve doğaya verilen zararı en aza indirgeyerek üretim yapılmasını sağlayacak pek çok amaçla kullanılabilen bir teknolojidir. Günümüzde nano teknoloji sayesinde maddeyi nano düzeyde işleyerek ve yeni özellikler elde ederek, nano boyutta teknolojik aygıtlar ve malzemeler meydana getirmek mümkündür. Örnek olarak, tarama ve atomik kuvvet mikroskopları ile atomları, istenilen düzende dizmek ve yüzey üzerinde ayırmak mümkün olmaktadır (Güler, 2020).

## 2.2 Çimentolu Kompozitlerde Nanoteknoloji Kullanımı

Dünyanın en yaygın malzemesi olan beton, zamanla eskiyen çok fazlı aynı zamanda nano yapılu kompozit bir malzemedir. Kompozitler en küçük ve en büyük boyutlu kristal yapılardan ve bu yapıya bağlı sudan meydana gelmekte ve amorf yapıdadır. Betonun içinde bulunan, amorf bir yapıda olan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelleri nano boyutta bir malzeme olup betonu bir arada tutmaya yardımcı olmaktadır. Son zamanlarda, nano modifikasyon olarak bilinen beton nano bilimi ve nano mühendisliği beton araştırmalarında nanoteknoloji uygulamalarının iki ana yolunu tanımlayan kavramlar olup, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Çimentolu kompozitlerin nano boyutunu araştıran nano bilim, gelişmiş analiz teknikleri ve nano boyutta modellemeler yaparak yapının özellikleri, sınır durumları ve performansının hangi düzeyde nasıl etkilendiğini belirlemek için analizler yapmaktadır. Nano mühendislikteki hedef kompozitlerin, dayanım ve dayanıklılık özellikleri iyileştirilmiş, çok fonksiyonlu ve bağlayıcı malzemeli bir modifikasyonu olarak tasarlanması ve nano düzeyde geliştirilmesidir (Sanchez ve Sobolev, 2010). Nano mühendislik veya çimentonun nano modifikasyonu, gelişmekte olan bir alandır. Daha güvenli enerji üretimi için daha iyi sertlik ve dayanıma sahip yeni nesil çok işlevli çimentolu kompozitler geliştirmek için yapının nano ölçekte teknikleri kapsar. Yeni nesil çimento esaslı malzemeler, kendi kendini algılama, kendi kendini temizleme, kendi kendini iyileştirme ve çatlakları kendi kendine kontrol etme gibi bir dizi yeni özelliğe sahip olacak ve betonu gerçek bir "akıllı" malzeme haline getirecektir. Bu özellikleri geliştirmenin yolunun, Kalsiyum silika hidrat (C-

S–H) jelinin yapısını atomik düzeyde anlamak ve değiştirmek olduğu artık açıktır (Sekkal ve Zaoui, 2021). Betona nano boyutlu malzemelerin ilave edilmesiyle, betonun davranışını kontrol etmek, betonda iyileşme sağlamak ve performans geliştirici daha fazla özellikler eklemek gibi davranışsal gelişimler sağlanabilir (Sanchez ve Sobolev, 2010). Nano boyuttaki malzemelerin üretimi (nano partiküller, süper akışkanlaştırıcılar gibi) çimentonun nano boyutta hızla gelişmesine ve çimento katkılarının iyileştirilmesine imkân sağlamaktadır (Güler, 2020).

Nanoteknolojiyle beraber nano katkı malzemeleri çimentolu kompozitlerin özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek için kullanılmaya başlanmıştır. Çimentolu kompozitlerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için kullanılan bazı nanomalzemeler nano SiO<sub>2</sub>, nano AlO<sub>2</sub>, nano TiO, nano Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, karbon nano tüpler başlıca olarak sayılabilir (Zhang ve Islam, 2012). Nano malzemeler inşaat sektöründe giderek artan bir oranda kullanılmakta hedeflenen özellikleri sunarak birçok yapı için faydalı olmaktadır. Örneğin, nano malzemelerin beton harcına ilavesi basınç ve eğilme dayanımı, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Buna bağlı olarak dünya genelinde çimento tüketimini azaltmak, çevresel faktörler ve enerji tüketimi de dikkate alınarak en önemli amaç olmalıdır (Raki vd., 2010). Dünyada özellikle son yıllarda yapılan yapı malzemelerinin dayanımı ve durabilitesine ilişkin önemli çalışmalar devam etmektedir. Beton malzemesinde uygulanmasıyla çatlak öncelikle nano boyutta başlamakta, mikro boyutta büyümeye devam etmekte ve daha sonra makro boyutlara ulaşmaktadır. Nano malzemelerle bu boyutlarda yürütülen çalışmalarda en önemli hedef, yapının hizmet ömrü süresince meydana gelen ya da gelebilecek bozulmalara nano ölçekte müdahale edebilmektir (Erol, 2017).

Çimento esaslı malzemelerin nano-mühendisliği geliştirilmeye açık bir potansiyele sahip görünmektedir. Bununla beraber, nano katkıların homojen bir şekilde dağılımı, laboratuvar sonuçlarının teknik olarak değerlendirilmesi, büyük ölçekte uygulama ve maliyet oranında fayda gibi tüm özelliklerin anlaşılması gibi birkaç zorluğun giderilmesi gerekecektir (Balav, 2016). Beton çimento, agrega ve suyun karıştırılmasından meydana gelen heterojen yapı bir karışımdır. Betona dayanımını veren C-S-H jelleri çimento ve suyun reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Bu reaksiyonun sonucunda C-S-H jelinin yanında CH ve bazı ürünler de oluşmaktadır. Betonda oluşan çatlaklar en önemli problemlerin başında gelir. Beton içerisindeki bu çatlaklar, çimentonun sahip olduğu alkali yapı ve çimento içerisindeki agregalar arasında gerçekleşen alkali silika reaksiyonlardan (ASR) kaynaklanmaktadır.

ASR'ye ek olarak betonun gözenekli yapısı donatılarda korozyona neden olmaktadır. Betonda gerçekleşen genleşme ve büzülmeğe bağlı olarak da ilave çatlaklar görölmektedir. Kalsiyum hidroksitin (CH) fazla oluştuğu durumlarda betonda kimyasal etkilere karşı dayanıklılık azalmaktadır. Kalsiyum hidroksit bazı tepkimeler ile meydana gelmektedir.



C-S-H jeli betonda sağlamlık kazandırır ancak diğer ürün CH bağlayıcılık etkisi yoktur. Betona puzolanik özelliğe sahip malzemelerin eklenmesiyle CH bağlanmakta ve C-S-H jelleri meydana gelmektedir. CH'in azalması beton dayanımını arttırmakta ve geçirimsizliği azalttığından dolayı betonun kimyasal etkilere karşı direncini arttırmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda CH miktarını azaltarak uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi malzemeler ilave edip C-S-H jeli miktarını arttırarak bu sorunun engellenmesi amaçlanmıştır. Bağlayıcı malzemelerin kullanımı ile üretilen karışımların mekanik özellikleri, işlenebilirlik, priz alma süresi ve dayanıklılıklarında da iyileşmeler gözlenmektedir (Erol, 2017).

### 2.3 Nanomalzemeler

“Nanomaterial” kelimesi Yunancada cüce anlamına gelen “nanos” kelimesi ile “materyal” kelimesinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Daha iyi anlaşılabilmesi açısından örnekleme yapmak gerekirse Şekil 2.3' te görüldüğü gibi nano boyutlu bir malzeme insan saçı folikülünün çapından yaklaşık 100.000 kat daha küçüktür (Raufi, 2018).



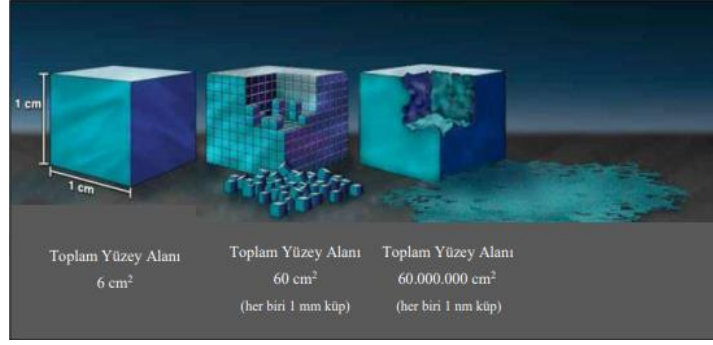
Şekil 2.3. Büyük ölçekli nesnelere nano malzeme boyut karşılaştırmasının gösterimi (Raufi, 2018)



Bir nanomalzeme, en az bir boyutunun uzunluğunun 1-100 nm aralığında olduğu, önemli ölçüde küçük boyutlu organik veya inorganik malzeme olarak tanımlanır. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) ayrıca nanomalzemeyi nano boyuttaki içyapılara veya nano boyuttaki herhangi bir dış boyutta veya yüzey yapısına sahip bir malzeme” olarak tanımlamaktadır. Nanomalzemeler; kompozit malzemeler, metaller, seramikler veya polimer malzemeler gibi farklı malzemelerdir. Benzer hacim özelliklerindeki malzemelerin gösteremeyeceği benzersiz özelliklere sahip olmaları nedeniyle 21. yüzyılın en önemli malzemeleri olarak kabul edilmektedirler (Raufi, 2018). Nanoteknolojideki ilerlemeler ve nano malzemelerin çeşitli alanlardaki başarılı uygulamaları, nano boyutlu ve nano yapı malzemelerin çimento bazlı malzemelerde spesifik özelliklerini (mekanik, fiziksel özellikler veya dayanıklılık) geliştirmek veya onlara yeni özellikler kazandırmak için uygulanmasına yönelik artan araştırma ilgilerini uyandırmıştır (Shao vd., 2019). Nanomalzemelerin sahip olduğu moleküler yapı geleneksel malzemelerden ayıran önemli özelliktir. Doğada çevresel faktörlere bağlı olarak kendiliğinden oluşan bazı nanomalzemeler mevcuttur. Bunlar mineral kaynaklı demir oksit, silikat, karbon grubu ve laboratuvar ortamında elde edilen karbon nanotüp gibi malzemelerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda, neredeyse kusursuz özelliklere sahip olmalarının yanı sıra kullanıma yönelik cevap verebilme kabiliyetleri, moleküler düzeyde işlenebilirliği bakımından endüstriyel ve bilimsel açıdan günümüzde en önemli malzemeler olarak yer edinmişlerdir (Turunç, 2019).

## **2.4 Nanomalzemelerin Başlıca Özellikleri**

Dünyada esas olarak iki tür nanomalzeme vardır; Doğal olarak oluşan nanomalzemeler ve mühendislik nanomalzemeleri. Mühendislik nanomalzemeleri, hacim özelliklerine göre karşılaştırıldığında çok farklı ve önemli ölçüde geliştirilmiş özellikler sergileyen yapay olarak sentezlenmiş malzemelerdir. Hacimli malzemeler, bilinen malzemelere tanınmayan bazı avantajlı yeni özelliklere sahip daha küçük boyutlu malzemeler üretmek için nanomalzeme boyutunda minyatürleştirilmiştir (Raufi, 2018). Nanoboyutlu malzemeler maddenin diğer hallerinden farklı olarak değerlendirilmelidir, çünkü sahip olduğu kuantum etkisi ve yüksek yüzey alanından dolayı farklı özellikler gösterirler (İnce, 2021). Maddenin boyutu küçüldükçe, birim kütle başına düşen yüzey alanı artar. Bu, yüzeyde nispeten daha fazla atomun reaksiyona girmesi anlamına gelir (Şekil 2.4) (Raufi, 2018).

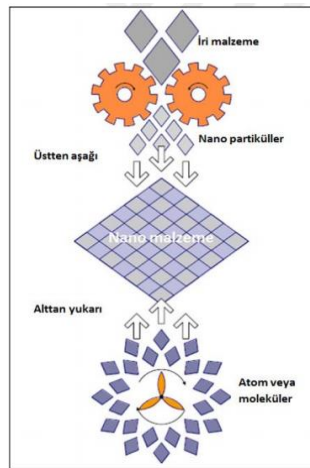


Şekil 2.4. Nano boyutlu malzemelerde artan yüzey alanı etkisinin gösterimi (Raufi, 2018)

Nano boyuttaki malzemeler, genel olarak kuantum etkileriyle baskındır ve bazı benzersiz optik, manyetik, elektrik ve diğer özellikleri gösterir. Ortaya çıkan bu özellikler, tıp, mühendislik, elektronik gibi bazı alanlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Nanomalzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde geniş araştırmalar yapılmaktadır (Raufi, 2018).

## 2.5 Nanomalzemelerin Sentezlenmesi ve İşlenmesi

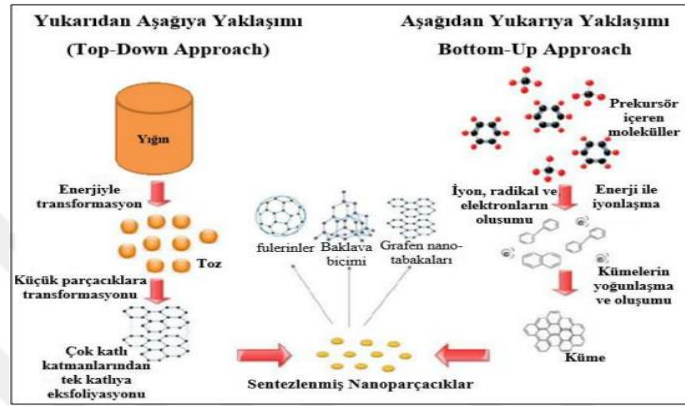
Nanomalzemenin sentezlenmesi kısmında temel anlamda iki yaklaşım vardır. Bunlar top down (yukarıdan aşağıya) ve bottom up (aşağıdan yukarıya). Yukarıdan aşağıya yaklaşımında partikül üretimi hacimsel malzemeye enerji vererek malzemenin küçük parçalara ayrılmasıdır. Aşağıdan yukarı yaklaşımında ise atomik veya moleküler morfolojinin kimyasal işlemleri ile meydana gelmesi şeklinde oluşmaktadır (Şekil 2.5) (İnce, 2021).



Şekil 2.5. Nanoteknolojinin üretim yaklaşımları (Balav, 2016)

Yüksek teknolojiler “Top-Down” yaklaşımına dayanırken malzeme üretimlerinde, tıp, enerji, elektronik, biyoteknoloji, bilgi teknolojisi ve ulusal güvenlik gibi alanlarda atılımlar

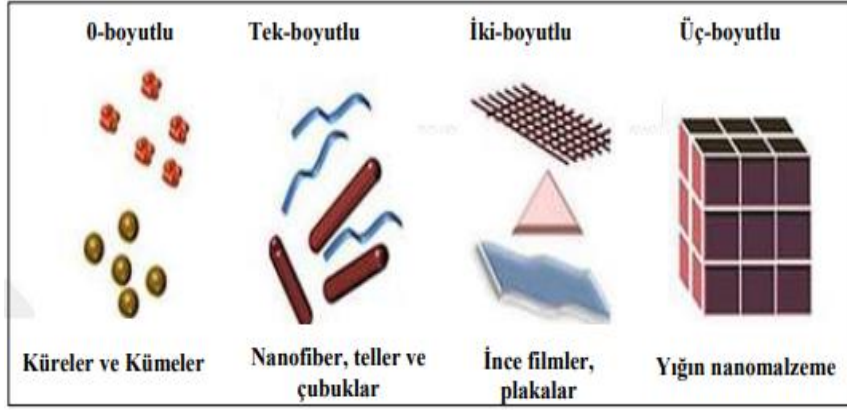
için büyük fırsatlar sunmaktadır (Balav, 2016). Nanopartiküllerin temel özellikleri ve yapısı, kullanılan deney koşullarına bağlı olarak belirlenebilir. Nanomalzemeler için yaklaşımın tam olarak anlaşılması, malzeme özelliklerinin geliştirilmesi veya yeni özelliklerle üretimi açısından çok önemlidir. Bugüne kadar, sol-jel, mekanik öğütme, kimyasal buhar biriktirme, PLS, püskürtme ve diğerleri gibi yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımlarla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. İki sentezleme yaklaşımının şematik temsili ve farkları Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Raufi, 2018).



Şekil 2.6. Nano ölçekli malzemelerin sentezinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımların gösterimi (Raufi, 2018)

## 2.6 Nanomalzemelerin Yapısal Olarak Sınıflandırması

Uzunluğu 100 nm'den küçük olan tane boyutlarının sayısı göz önüne alınarak, nanomalzemeler sıfır, bir, iki ve üç boyutlu nano yapılar olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.7). Sıfır boyutlu nanomalzemeler, üç dış boyutunun hepsinin nano ölçülere sahip olması; yani (x, y, z) 1-100 nm arasındaki aralıkta, örn. nanopartiküller, nanoyığın ve Nano-küreler. "Nanoparçacık" terimi genellikle sıfır boyutuna sahip olan tüm malzemeyi kapsar ve amorf veya kristalli malzemeler olabilir. Tek boyutlu nanomateryaller, 1-100 nm arasındaki aralıkta iki boyuta (x, y) sahipken, üçüncü boyut, 100 nm uzunluğunu aşan, örn. Nano teller, Nano çubuklar ve Nano tüpler. İki boyutlu nanomateryaller, tek boyutlu (z) 1-100 nm arasındaki aralıkta olanlardır. Nano kaplamalar, nano tabakalar, nano filmler. Genellikle tekil veya çoklu katmanlı yapılar olarak kullanılırlar. Üç boyutlu nanomalzemeler aynı zamanda boyutları nano ölçülerle sınırlı olmayan hacimli nanomalzemeler olarak da adlandırılır. Bu malzemeler, 100 nm uzunluğunu aşan üç keyfi boyuta sahip olarak karakterize edilir (Raufi, 2018).



Şekil 2.7. Nanomalzemelerin farklı yapısal biçimleri (Raufi, 2018)

## 2.7 Nanomalzemeler ve Kullanım Alanları

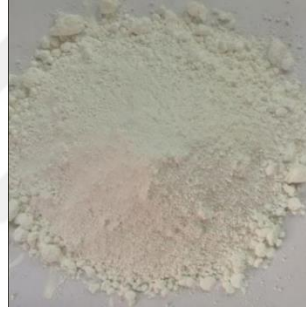
Nanomalzemeler sadece doğada serbest şekilde bulunmamakla beraber insan üretimi olan nano malzeme çeşitleride mevcuttur. Son zamanlarda sık sık adını duyduğumuz nanoteknoloji ile üretilmiş olan malzemeleri görmekteyiz. Malzeme bilimindeki nano boyutta olan üretim aşamasının ve tasarımın bize sağladığı kolaylığın yanı sıra maliyet anlamında fazla gelmektedir. Dünyada ve ülkemizde nanomalzemeler ile ilgili birçok alanda projeler ve AR-GE çalışmaları yapılmaktadır (Raufi, 2018). İnşaat sektörü, diğer bilim ve mühendislik alanları gibi, potansiyel yeni uygulamaları belirlemek için nanoteknolojideki gelişmeler incelenmektedir. Özellikle nanomalzemelerin yapı malzemelerinde kullanımı giderek artan bir ilgi görmektedir. Nanomalzemelerin kullanımıyla malzemelerin sadece belirli özellikleri geliştirmekle kalmamakta, aynı zamanda kendi kendini temizleme, basınç algılama, anti-mikrobiyal yetenek ve kendini algılama yetenekleri gibi yeni özellikler kazanımları mümkün olmaktadır (Jayapalan vd., 2013).

Beton tasarımı yapılırken nanomalzemeler eklenerek yeni özellikler kazandırılırken malzeme davranışları kontrol edilmektedir. Nano boyutta yapılan değişikliklerle çimento fazlarına, agregalara veya katkıları üzerinde moleküler değişiklikler yapılabilir. Çimentolu malzemeler için büyük önem teşkil eden kendisi de bir nanomalzeme sayılabilecek C-S-H jelinin ve diğer hidratasyon ürünlerinin nano boyutta fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenebilmesiyle malzemelerin makro boyuttaki özellik ve performansları kontrol edilebilir. Nano boyutta yapılan çalışmalar ileri karakterizasyon tekniklerinin (nanoindentasyon, nükleer manyetik rezonans, atomik kuvvet mikroskopu) gelişmesi sayesinde olmaktadır (Özboran, Tarhan ve Engin, 2013). Nano teknolojinin gelişmesi ve birçok alanda kullanılması sonucunda beton teknolojisinde de kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Beton teknolojisinde

yapılan çalışmalarda kullanılan nano malzemelerin uygulanabilirliği ve başta beton dayanımı olmak üzere birçok özelliğine katkısı her geçen gün artmaktadır (Servatmand ve Şimşek, 2017).

### 2.7.1 Titanyum Dioksit (TiO<sub>2</sub>) Nanopartiküller

Titanyum oksit, işlenip üretilen bir mineral olmasının yanı sıra doğal olarak bulunan bir mineraldir. Toz halde olup, parlak beyaz renkli bir görünüme sahiptir (Şekil 2.8). Nanoteknolojide en çok kullanılan malzemedendir. TiO<sub>2</sub> nanomalzemesinin, düşük maliyetli, kullanılabilir, zararlı özellik göstermeyen malzemeler olduklarından daha çok tercih edilirler. TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ile parlak yüzeyli, kir tutmayan ve kendini temizleyebilen malzemelerin üretimi sağlanmaktadır. İnşaat alanında; geçirimli özellikli betonlarda, pencere camı üretiminde, kir tutmayan ve kendi kendini temizleyen boyalarda kullanılır (Turunç, 2019).



Şekil 2.8. Titanyumdioksit tozu

İnşaat malzemeleri üzerine uygulanan nano malzemelerin incelenmesinin gelişmesi ile nano titanyum (nano TiO<sub>2</sub>) betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda geniş çapta incelenmiştir (Rao vd., 2015).

### 2.7.2 Silisyum Dioksit (SiO<sub>2</sub>) Nanopartiküller

Silisyum elementi toz halde bulunur ve doğada en fazla bulunan ikinci elementtir (Şekil 2.9). Silisyum dioksitin termal genişleme katsayısı düşüktür ve yüksek erime sıcaklığına sahiptir. Bu nedenle ısıya karşı dayanıklılığa sahip olan bir malzemedir. İnşaat alanında; başta cam imalatı olmak üzere beton, çimento ve seramik imalatında da önemli bir yere sahiptir. SiO<sub>2</sub> cam, beton ve çimentonun temel maddesidir (Turunç, 2019). Daha yüksek performans potansiyeli, yüksek yüzey alanı, güçlü adsorpsiyon, kimyasal olarak çok saf, daha iyi

difüzyon kabiliyeti ve önemli stabiliteyi içeren doğal özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Raufi, 2018).



Şekil 2.9. Silisyum oksit tozu

SiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin takviyesi ile beton ve çimentonun mekanik dayanımının artırılması, yangına dayanıklı özellikte yapı malzemelerinin ve yansıma özelliğine sahip pencere camlarının yapılması sağlanmaktadır (Turunç, 2019).

### 2.7.3 Çinko Oksit (ZnO) Nanopartikülleri

Çinko oksit doğada ender olarak bulunan, pudra görünümüne sahip olan bir maddedir (Şekil 2.10). ZnO nanopartikülleri betonun suya karşı direncini ve işlem süresinin artmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Çinko oksit tozu

ZnO nanopartikülleri inşaat sektöründe; çimento, boya, plastik, yapıştırıcı, seramik, cam, kauçuk, sızdırmazlık malzemeleri, pigmentler ve yangın geciktiricilerin üretiminde kullanılmaktadır (Turunç, 2019).

### 2.7.4 Demir Oksit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanopartikülleri

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> partikülleri, çimento bazlı malzemelerde yoğun ilgi görmüştür. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> içeren çimentolu malzemelerin genellikle mekanik özellikleri, elektromanyetik dalga emme özellikleri, su emme ve klorüre karşı direnç gibi özellikleri geliştirilmiştir (Jiao vd., 2021).

### 2.7.5 Alüminyum Oksit ( $Al_2O_3$ ) Nanopartikülleri

Alüminyum oksit nanopartikülleri metal nanopartiküller grubunda yer alan, beyaz renkli toz halinde bulunan bir maddedir (Şekil 2.11).  $Al_2O_3$  nanopartikülleri başlıca cam malzemelerde ve metal ürünlerde parlatma işleminde kullanılmaktadır. Alüminyum oksit nanopartikülleri yüksek sertlik ve mukavemet özelliği sahiptir. Sahip olduğu bu özellik sayesinde inşaat sektöründe seramiğin sertleştirilmesi amacıyla kullanılır. Ayrıca  $Al_2O_3$  nanopartikülleri yüksek mukavemet ve yüksek çekme özelliğine sahip beton üretiminde katkı olarak kullanılmaktadır (Turunç, 2019).



Şekil 2.11. Alüminyum oksit tozu

### 2.7.6 Zirkonyum Oksit ( $ZrO_2$ ) Nanopartikülleri

Zirkonyum oksit nanopartikülleri yüksek saflıkta ve metalik toz halinde bulunur.  $ZrO_2$  nanopartikülleri dayanıklılık, esneklik, sertlik gibi üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir (Şekil 2.12) (Turunç, 2019).



Şekil 2.12. Zirkonyum oksit tozu

Bir tür inorganik metal oksit olan  $ZrO_2$ , iyi aşınmaya karşı dirençli ve korozyon önleyici performansa sahiptir. Yüksek mukavemetli, yüksek tokluğa ve iyi dağılıma sahip  $ZrO_2$  seramikler için mükemmel bir sertleştirme malzemesidir.  $ZrO_2$  nano boyuttaki etkisi ve faz geçiş etkisi nedeniyle, seramiklerin yoğunluğu arttırılabilir ve seramiklerin mikro çatlaklarının difüzyonu engellenebilir. Bu nedenle, seramiklerin mekanik mukavemeti önemli

ölçüde arttırılabilir ve seramiklerin kırılma tokluğu arttırılabilir. ZrO<sub>2</sub> seramik alanındaki yapılan araştırmalarından sonra, çimento ve beton malzemeleri alanında kullanılmıştır (Han vd., 2017).

### 2.7.7 Karbon Nanotüpleri (CNT)

Karbon nanotüp (CNT), nanoteknoloji alanı için en önemli malzemelerden biridir. Karbon nanotüpler yüksek mekanik ve elektronik özelliklere sahip olan sağlam bir malzemedir. Nanometre çaplı, µm boylu borsal yapılar şeklinde tanımlanabilir (Turunç, 2019). Karbon nanotüpler, tel ağıını andıran ince haddelenmiş grafen tabakalarından (karbon atomlarının heksanol halkaları) oluşmuştur. Bu grafen tabakalar, 1 ila 50 nm arasında değişen bir çapa sahip içi boş silindirik tüplere dönüşür (Raufi, 2018).

### 2.7.8 Tungsten Karbür (TK) Nanopartikülleri

Tungsten karbür, Şelit (CaWO<sub>4</sub>) veya wolframit (FeMnWO<sub>4</sub>) denilen cevherlerin işlenmesiyle meydana gelmektedir. Tungsten karbür, insan yapımı, aşınmaya karşı dirençli sert bir malzeme olup “karbür seramikleri” sınıfında yer almaktadır. Tungsten karbür, aynı miktarda tungsten ve karbon atomları içeren kimyasal bir bileşimdir. Çok küçük taneli gri bir toz karışımı şeklinde bir görüntüye sahiptir (Şekil 2.13). İstenilen boyuttaki Tungsten tozu ile yüksek saflıktaki karbon tozunun karıştırılması ve hidrojen atmosferinde 1300 - 1600°C reaksiyona girmesiyle elde edilir. Tungsten karbür tozunun boyutu doğrudan üretimde kullanılan tungsten tozunun boyutuna bağlıdır (Aydoğmuş, 2019).



Şekil 2.13. Tungsten karbür tozu

Tungsten karbür aşınmaya karşı direnç ve yüksek sertlik gibi üstün özelliklere sahip olduğundan dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir (Dong vd., 2017). Toz metalürjisi yöntemiyle elde edilen kompozit bir malzeme olan tungsten karbür geniş ve çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır (Begüm, 2012). Bu yüzden imalat endüstrisinin çeşitli dallarında,



sert metal üretim alanlarında, yüksek sertlik, korozyona karşı direnç gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Erdoğan vd., 2013). Yapı endüstrisinde, metal ve madencilik işlerinde kullanılır. Aynı zamanda çelik akşamların üretiminde, askeri malzeme üretiminde, aşınmaya dayanıklı parça ve kaplama malzemelerinin yapımında, ender fiziksel özelliklere sahip olması sayesinde uçak sanayisinde ağır metal olarak kullanımı, kimya endüstrisinde ve petrol endüstrisinde, uzay sanayisinde, dizel motor üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Sevim, 2008). Tungsten karbür, sert metaller için büyük öneme sahip olan yüksek plastiklik özelliği göstermektedir. Buna göre Tungsten karbür diğer karbürler ile kıyaslandığında ise en yüksek elastisite modülü değerine sahiptir (Şenyurt, 2019).

## **2.8 Elektromanyetik Kalkanlama**

Gelişen ve yenilenen teknoloji, hayatımızda önemli bir role sahiptir. Gelişmekte olan teknolojik ürünler hayatımızda kolaylık sağlamaktadır. Günlük hayatta kullandığımız teknolojik ürünlere yeni özellikler eklenerek farklı özellikler sunmaları ile birlikte kullanım alanları artmaktadır. Son zamanlarda ev ve iş yerlerinde yaygınlaşan elektronik cihazların gündelik yaşamdaki kullanım oranı ve sürelerinde artışlar olmaktadır (Söğüt, 2021).

Çevremizde kullandığımız bilgisayar, televizyon, cep telefonu, radyo antenleri, elektrikli ev aletleri gibi cihazlar doğal olmayan elektromanyetik dalga kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Doğal elektromanyetik dalga kaynaklarına ise güneş, yıldırımlar ve bazı yıldızlar doğal elektromanyetik dalga kaynağı olarak örnek verilebilir. Kullanılan elektronik ürünler elektromanyetik alan oluşturmakta ve çevresine yaymaktadır. Yayılan bu dalgaların fazla olması hem elektronik cihazlarda bozulmalara hem de çevresinde bulunan canlılar için zararlar oluşturmaktadır (Söğüt, 2021).

Elektromanyetik dalgalar enerji içermektedir. Elektromanyetik dalgalara fazla maruz kalınması insan vücudunda çeşitli rahatsızlıklar oluşturmaktadır. Bu rahatsızlıklar, kısa ve uzun süreli rahatsızlık olarak ikiye ayrılmaktadır. Kısa süreli rahatsızlıklar; cilt problemleri, migren, stres, uykusuzluk gibi problemlerdir. Uzun sürede oluşabilecek rahatsızlıklar ise vücudun kimyasal bağları ve moleküler yapısının zarar görmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Söğüt, 2021). Bunlara örnekler verilecek olunursa cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların % 70'ini beyin emer. Dolayısıyla beyinin vücuda yanlış dalgalar göndermesine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda sinir sistemiyle ilgili hastalıklarda artış,

hafıza zayıflaması, beyinde dejenerasyon, Alzheimer gibi olumsuzluklar meydana gelir (Yıldız, 2011).

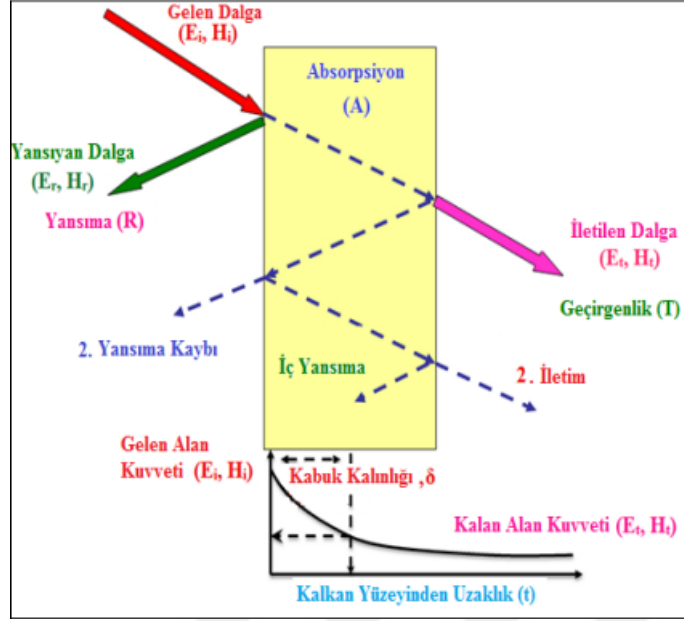
Çevremizde etkili olan elektromanyetik dalgaların sebep olduğu zararların azaltılması için kullanılan başlıca yöntemlerden birisi kalkanlamadır. Elektromanyetik dalganın bir bölgeye girişini tamamen veya kısmi olarak engellemek ya da bir kaynak bölgesi alanı içerisinde kontrol altında tutmak amacıyla yapılan işleme kalkanlama denir. Kalkanlama sayesinde kişiler, elektrikli ve elektronik cihaz ve sistemler elektromanyetik radyasyonun zararlı etkilerine karşı korunabilmektedir (Kutluk, 2014).

Kalkanlama iki temel amaç için kullanılmaktadır:

- Bir alanın (bina vb.), devrenin veya cihazın, dışarıdaki elektromanyetik dalga kaynaklarından izole edilmesi,
- Bir kaynak tarafından yayınlanan elektromanyetik enerjinin istenmeyen bir şekilde ortamdan dışarı sızmasının önlenmesi olarak özetlenebilir (Kutluk, 2014).

### **2.8.1 Elektromanyetik Kalkanlama Mekanizması**

Elektromanyetik kalkanlama, elektromanyetik dalganın bir materyal tarafından soğurulması ya da yansıtılması ile elektromanyetik dalganın içeriye girmesine engel olunmasına denir (Söğüt, 2021). Elektromanyetik (EMI) kalkanlama genel olarak bir cihazın diğer cihaz ve devreler tarafından üretilen elektrik ve manyetik alanların etkisini büyük ölçüde azaltan korumadır. Hem elektronik cihazın hem de radyasyon kaynağının EMI koruması gereklidir (Akçay, 2017). Elektromanyetik kalkanlamaya olan ilgi; ticari, askeri, elektrik ve elektronik cihazların yaygınlaşması ve insan sağlığını olumsuz etkilemesi nedeni ile giderek artmaktadır. Ticari uygulamalarda 40 dB ve üzeri, askeri uygulamalarda ise 80 dB ve üzeri kalkanlama etkisi aranmaktadır (Yıldız, 2011). EMI kalkanlama mekanizmasının şematik gösterimi Şekil 2.14' de verilmiştir.



Şekil 2.14. EMI kalkanlama mekanizmasının şematik gösterimi (Akçay, 2017)

Koruma, kalkanın sağladığı manyetik veya elektrik alan şiddetindeki azalma ölçülerek belirlenebilir. Bu manyetik veya elektrik alan şiddetinde ki azalma ise ekranlama verimliliği (SE) olarak tanımlanır ve desibel (dB) biriminde ifade etmek uygundur (Akçay, 2017). SE değerinin pozitif ve yüksek seviyede olması iyi ekranlama etkinliği olduğu; negatif SE ise çınılama (rezonans), yani ekranlama bir yana işaretin kuvvetlenmesi anlamına gelmektedir. Ekranlama amacıyla seçilecek malzemeler üç grupta toplanabilir (Dağ, 2010):

1. Yüksek performanslı malzemeler: Çelik, bakır, paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılmış ve tamamen metal kaplı yapılar, (80-120 dB ekranlama etkinliği).

2. Standart performanslı malzemeler: İletken metal tabakalar ya da metal parçacıklı yapılar, (20-40 dB ekranlama etkinliği).

3. Zayıf performanslı malzemeler: Metalleştirilmiş kumaş yapılar, iletken kâğıt malzemeler (iletken polimerler), (15-30 dB ekranlama etkinliği) (Dağ, 2010).

Yapılan sınıflandırma, kullanım alanlarında malzeme seçiminde önem taşımaktadır (Söğüt, 2021). Birçok uygulamada zararlı etkileri 40 dB ekranlama etkinliği yeterli olurken, askeri alanlarda daha çok ihtiyaç duyulmasından dolayı kullanılacak malzemelerde 100-120 dB ekranlama etkinliği tercih edilir. Yaşantımızın birçok yerinde kullanılan telefon ve internet kablolarının mevcut şartnamelerinde belirtilen değerler 80-90 dB'dir (Özüpek, 2018).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Materyal

Nano malzeme kullanarak üretilen harçların dayanım, dayanıklılık ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada ilk olarak nano malzemelerinin bazı fiziksel ve yapısal özellikleri verilmiştir. Harç numuneleri hazırlanırken nano tungsten karbür, çimento, rılem kumu ve su kullanılarak hazırlanmıştır. Ardından, farklı karışım oranları kullanarak hazırlanmış olduğumuz numunelerde nano malzeme faktörünün etkinliğini incelemek için dayanım, dayanıklılık ve elektromanyetik özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarının desteklenmesi amacı ile SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi yapılmıştır.

##### 3.1.1 Nanomalzeme

Çalışmada nano malzeme olarak kullanılan tungsten karbür nano malzeme Nanokar Kimyevi Maddeler San. ve Tic. Ltd. Şti. den temin edilmiştir. Üretimde kullanılan nano malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.1’de, Şekil 3.1’de kullanılan nanomalzeme görülmektedir.

Çizelge 3.1. Nano malzemenin teknik özellikleri

Safılık (%)	99.99			
Renk	Gri -Siyah			
Tane Boyutu (nm)	45			
Ortalama Tane Boyutu (nm)	150-500			
Özgül Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	1.5-2.0			
Gerçek Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	15.7			
Element Analizi (%)	C	Free C	O	Fe
	6.15	0.08	0.3	0.02



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan nano malzeme

### 3.1.2 Çimento

Deneysel çalışmalarda İstanbul Büyükçekmece Çimento Fabrikası'nın (AKÇANSA) ürettiği TS EN 197-1 (2012) standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun şekli, XRF analiziyle fiziki özellikler deneylerinin sonuçları sırası ile Çizelge 3.2'de ve Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel deney sonuçları

<b>Kimyasal Bileşim, % CEM I 42.5 R</b>	
SiO <sub>2</sub>	16.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.55
CaO	63.90
MgO	1.94
Na <sub>2</sub> O	0.74
K <sub>2</sub> O	1.24
SO <sub>3</sub>	3.02
MnO	0.12
Kükürt (S)	-
Cl <sup>-</sup>	0.01
Kızdırma Kaybı	1.24
Çözünmeyen Kalıntı	0.44
Serbest Kireç	1.90
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Özgül Ağırlık	3.15
Özgül Yüzey, cm <sup>2</sup> /gr	3320



Şekil 3.2. Portland Çimentosu

### 3.1.3 İnce Agrega

Harç karışımında TS EN 196-1'e uygun "CEN Standart Rilem" kumu kullanılmıştır. Rilem kumunun granülometrisi Çizelge 3.3'te, şekli Şekil 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Rilem kumunun granülometrisi

Elek Boyutları (mm)	0.08	0.16	0.5	1	1.60	2.00
Kümülatif Elekte Kalan (%)	99±1	87±2	67±2	33±2	7±2	0



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan rilem kumu

## 3.2 Metod

### 3.2.1 Karışımların Hazırlanması

Deneyleerde kullanmak üzere harç numuneleri hazırlanmıştır. İlk önce TS EN 196-1 standardına uygun harç üretilmiştir. Harcın karışımı ağırlık açısından 1 miktar çimento, 3 miktar kumla 1/2 kısım sudan oluşmaktadır. Karışımın su/çimento oranı 0.50'dir. Harç numunelerinin, Çizelge 3.4'de karışım oranları verilmiştir. Öncelikle suya çimento ilave edilip karıştırılmış, sonra nano malzeme harç mikserine konulup daha sonra 30 s karıştırılmıştır. Standart rilem kumu ilave edilerek 60 s daha karıştırılmıştır. Hazırlanan harç karışımı 40x40x160 mm boyutundaki kalıplara yerleştirilmiştir. 1 gün sonra numuneler kalıptan çıkarılıp ve daha sonra 20±2 °C sıcaklıkta kirece doymun su içerisinde bekletilmiştir. 28 gün sonra numuneler külden çıkarılıp deneyler yapılmıştır.

Çizelge 3.4. Harç karışım oranları

Karışım Kodu	Katkı Oranı (%)	Çimento (g)	Nano Malzeme (g)	Kum (g)	Su (g)	Su/Bağlayıcı (%)
TK0	0	450	0.000	1350	225	0.5
TK1	0.25	450	1.125	1350	225	0.5
TK2	0.50	450	2.250	1350	225	0.5
TK3	0.75	450	3.75	1350	225	0.5
TK4	1.00	450	4.50	1350	225	0.5

### 3.2.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri

#### 3.2.2.1 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Deney, TS EN 12504-4 standardına göre yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesinde mikro saniye ( $\mu$ s) olarak okunan ultrases hızı geçiş süresi değerleri Denklem (3.1) bağıntısı ile hesaplanmış, ultrases geçiş hızı km/s cinsinden bulunmuştur.

$$V = \ell / t \quad (3.1)$$

Bağıntıda,  $V$  ultrases geçiş hızını (km/s),  $\ell$  numune boyunu (mm),  $t$  ultrases geçiş süresini ifade etmektedir.

### 3.2.2.2 Eğilme Dayanımı Deneyi

Üretimden 28 gün sonra eğilme deneyi 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik numunelere uygulandı. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri elde edildi. Eğilme dayanımı (3.2) bağıntısına göre hesaplanmıştır (TS EN 12390-5).

$$R_f = \frac{1.5F_f \ell}{b^3} \quad (3.2)$$

Bağıntıda  $R_f$  eğilme dayanımını ( $N/mm^2$ ),  $F_f$  en büyük yükü (N),  $\ell$  mesnet silindirleri arasındaki açıklığı (mm),  $b$  prizmanın bir kenarını (mm) ifade etmektedir.

### 3.2.2.3 Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyinden sonra iki parçaya ayrılmış olan yarım prizmaların parçası, plâkaları arasına merkezlenerek uzunlamasına yerleştirilmiştir. Yük düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılmıştır. Basınç dayanımı (3.3) bağıntısına göre hesaplanmıştır (TS EN 196-1).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.3)$$

Bağıntıda  $R_c$  basınç dayanımını (MPa),  $F_c$  kırılma anındaki en büyük yükü (N), 1600 ise plakaların alanını ( $mm^2$ ) ifade etmektedir.

### 3.2.2.4 Su Emme Deneyi

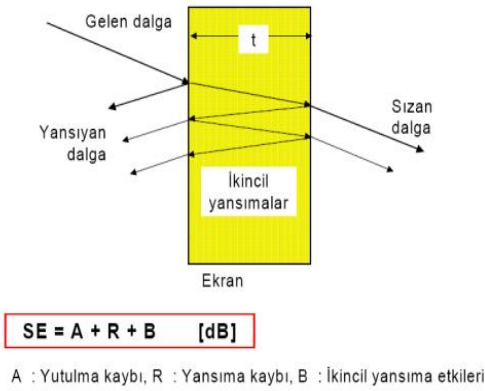
Cismin kuru ağırlığı ( $P_0$ ), etüvde  $105^{\circ}C$ 'de numuneyi değişmez ağırlığa gelene kadar kurutmak suretiyle bulunmuştur. Daha sonra numune, oda sıcaklığındaki suda 48 saat süreyle bekletilmiştir. Numune sudan çıkarılıp, yüzeyi bezle kurutularak tartılmıştır. Bulunan  $P_1$  değeridir. Ağırlıktaki artış;  $(P_1 - P_0)$  numunenin içine giren suyun miktarıdır. Su emme miktarı (3.4) bağıntısına göre hesaplanmıştır.

$$\omega(\%) = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \quad (3.4)$$



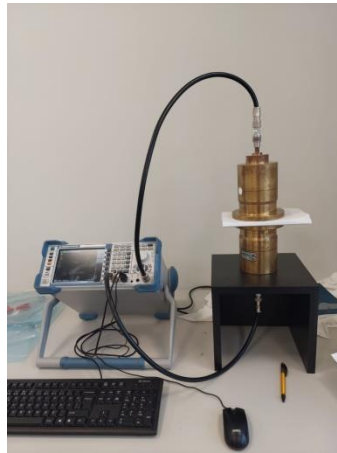
### 3.2.2.5 Elektromanyetik Kalkanlama Deneyi

Elektromanyetik dalgalar üç şekilde zayıflatılmaktadır. Birincisi duvardan yansımalar, ikincisi duvar içindeki zayıflamalar (yutulma) ve üçüncüsü ise duvar içerisindeki ardışık yansıma kayıplarıdır. Ekranlama bir cihazdan içeri (veya dışarı) doğru giren (çıkan) kaçak alanların azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. SE (shielding efficiency) ekranlamanın ne derece etkili olduğunu gösteren bir parametre olup, desibel (dB) olarak ifade edilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Elektromanyetik Kalkanlama

Elektromanyetik kalkanlama etkisi Network Analyzer (ROHDE&SCHWARZ) cihazında ölçülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Network Analyzer (ROHDE&SCHWARZ) cihazı

### 3.2.2.6 SEM Analizi

Numunelerin mikro yapı ve kompozisyonları, SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan inceleme Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı NABİLTEM'de gerçekleştirilmiştir. Cihazın markası FEI modeli ise QUANTA FEG 250 dir.

Taramalı elektron mikroskobu yüksek voltajlarla süratlendirilmiş elektronların ışığa nazaran çok daha fazla ayırma kuvveti bulundurabileceğinin keşfi üstünde elektronların mikroskoplarda görüntüler sağlanmasında kullanılabileceği düşüncesiyle üretilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu SEM özde optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olarak 3 temel bölümden oluşur.

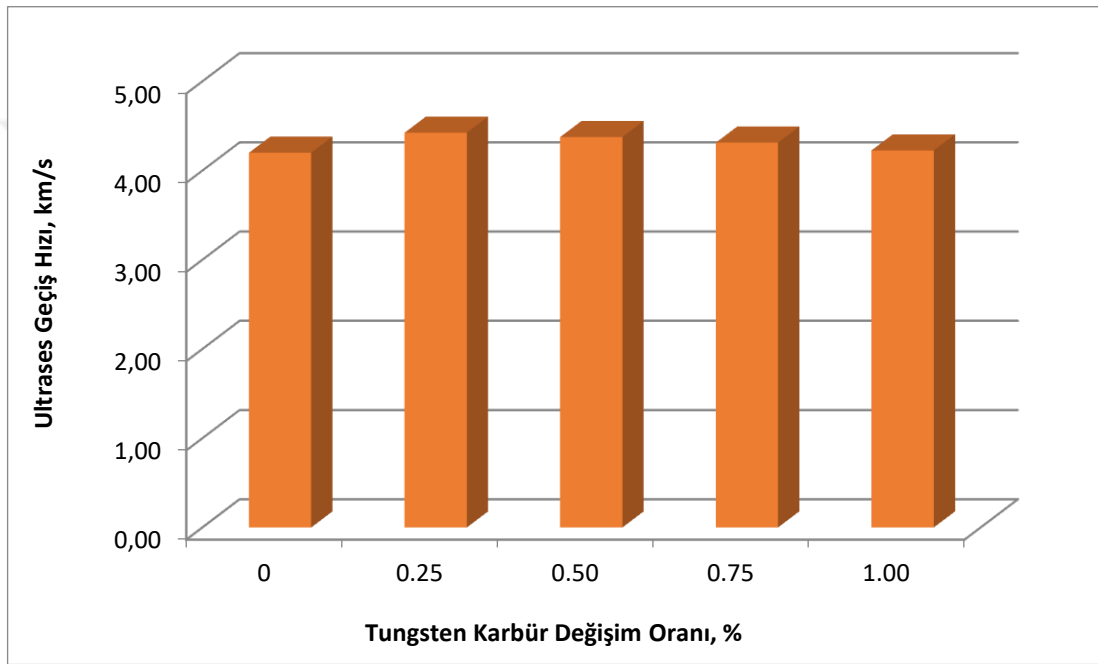
Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltajla süratlendirilmiş elektronların numune üstüne odaklanması, söz konusu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması esnasında elektronla numune atomlarının arasındaki farklı girişimlerin neticesinde oluşan etkilerin uygun algılayıcılarda toplanmasıyla sinyal kuvvetlendiricilerden geçirilmesinin ardından bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılması ile sağlanır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Nano malzeme kullanılarak üretilmiş harçların dayanım, dayanıklılık, içyapı ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada, yapılan deneylerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

##### 4.1 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi, numuneler 28. günde kırılmadan önce prizma numuneler üzerinde yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı sonuçları Şekil 4.1'te verilmiştir.



Şekil 4.1. Ultrases hızı sonuçları

Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına göre karışımdaki tungsten karbür oranı arttıkça ses geçiş hızının TK4 numunesi hariç diğer katkılı numunelerde arttığı görülmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek ultrases geçiş hızı değeri % 0.25 tungsten karbür katkılı TK1 numunesinde 4.42 km/s, en düşük ultrases geçiş hızı değeri ise referans numunesinde 4.20 km/s elde edilmiştir. Katkılı numunelerde referans numunesine en yakın sonucu veren TK4 numunesi yani %1 katkı oranlı numunelerdir. Ultrases geçiş hızı deneyi sonucunda tungsten karbür katkılı harç numuneleri referans numunesi ile kıyaslandığında; tungsten karbür ilavesi ses geçiş hızını sırasıyla %5.2, %4.3, %2.6 ve %0.71 oranlarında arttırmıştır.

Ultrases geçiş hızı ile beton kalitesinin değerlendirilmesi yapılabilmektedir (Neville, 1996). Ultrases geçiş hızının bilinmesi durumunda beton kalitesinin sınırları Çizelge 4.1'de

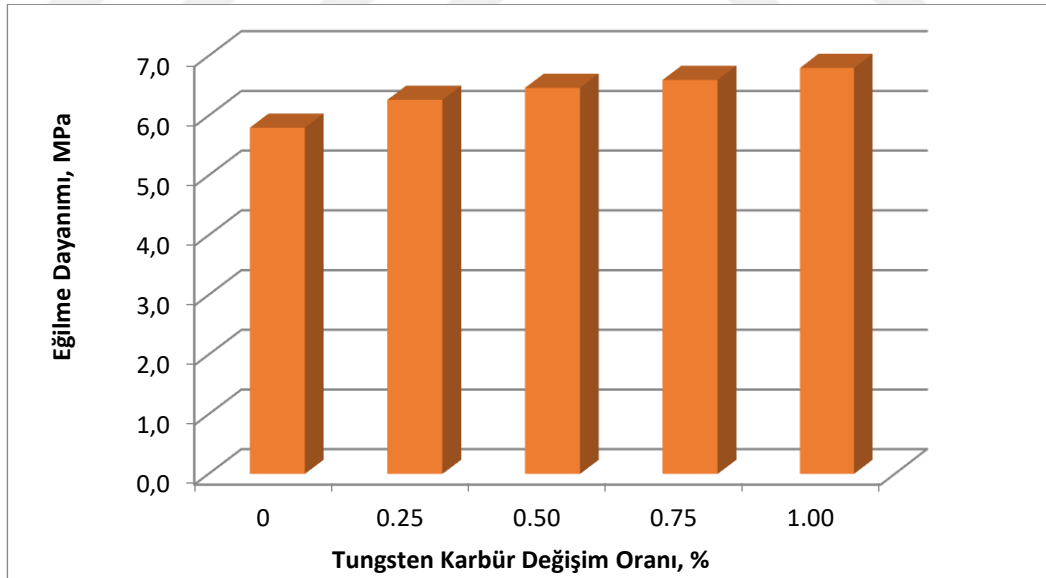
gösterilmektedir. Çizelge 4.1’de verilen bağıntıya göre ultrases geçiş hızı ile beton kalitesini değerlendirmek gerekirse, üretilen numunelerin ultrases geçiş hızları sırasıyla 4.20, 4.42, 4.38, 4.31 ve 4.23 km/s olduğu, 3.5 – 4.5 geçiş hızı aralığında yer aldığı yani ‘iyi’ kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Ultrases geçiş hızı ile beton kalitesi arasındaki bağıntı ( Neville,1996)

Boyuna Dalga Geçiş Hızı, km/s	Beton Kalite Sınıflandırılması
>4.5	Mükemmel
3.5 - 4.5	İyi
3.0 - 3.5	Orta
2.0 - 3.0	Zayıf
<2.0	Çok kötü

#### 4.2 Eğilme Dayanımı Deneyi

Hazırlanan 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik numunelerin 28 gün sonraki eğilme dayanımı sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

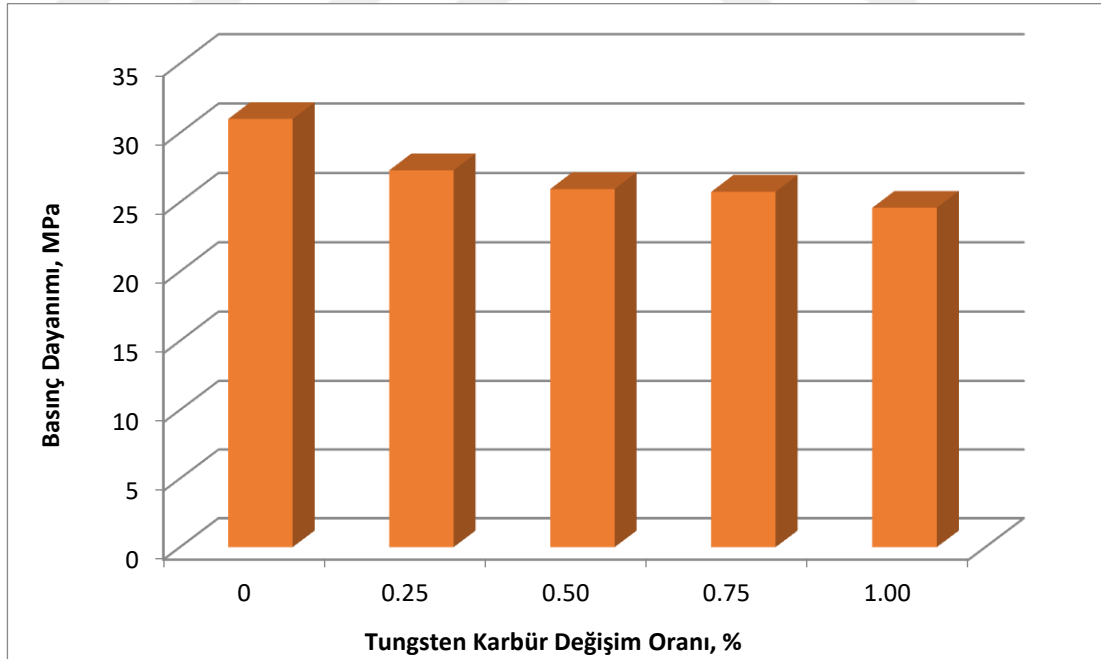
Şekil 4.2 incelendiğinde, 28 günlük katkısız numunenin eğilme dayanımı değeri 5.8 MPa’dır. % 0.25 tungsten karbür katkıli numunelerin eğilme dayanımı değeri 6,3 MPa, % 0.5 tungsten karbür katkıli numunelerin eğilme dayanımı değerleri 6.5 MPa, % 0.75 tungsten karbür katkıli numunelerin eğilme dayanımı değerleri 6.6 MPa ve % 1 tungsten karbür katkıli

numunelerin eğilme dayanımı değerleri ise 6.8 MPa olarak belirlenmiştir. Tungsten karbür katkısı 28 günlük numunelerin eğilme dayanımı değerlerinde sırasıyla % 8.6, % 12, % 13.8 ve % 17.2 artış tespit edilmiştir.

Eğilme deneyi sonuçlarına göre numuneler arasında referans numunesi en düşük eğilme dayanımına sahiptir. % 1 tungsten karbür katkılı TK4 numunesinde en yüksek eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Tungsten karbür ilaveli harç numuneleri kendi aralarında karşılaştırıldığında en düşük eğilme dayanım değeri ise TK1 numunesinde gözlemlenmiştir. Bu çalışmada çimento harçlarına tungsten karbür ilavesi eğilme dayanımı değerlerinde artış sağlamıştır. Bu nedenle tungsten karbür eğilme dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Idress ve arkadaşları (2022) yaptıkları çalışmada çimento ağırlığına göre farklı yüzdelerde (%1, %2, %3 ve %4) tungsten karbür ilavesi ile numuneler üretmişlerdir. Deney sonuçlarına göre %4 tungsten karbür ilaveli numunede eğilme dayanımında %39 oranında artış elde etmişlerdir.

#### 4.3 Basınç Dayanımı Deneyi

Üretilen betonların 28. günde yapılan basınç deneyi sonuçlarından belirlenen basınç dayanımları aşağıdaki Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



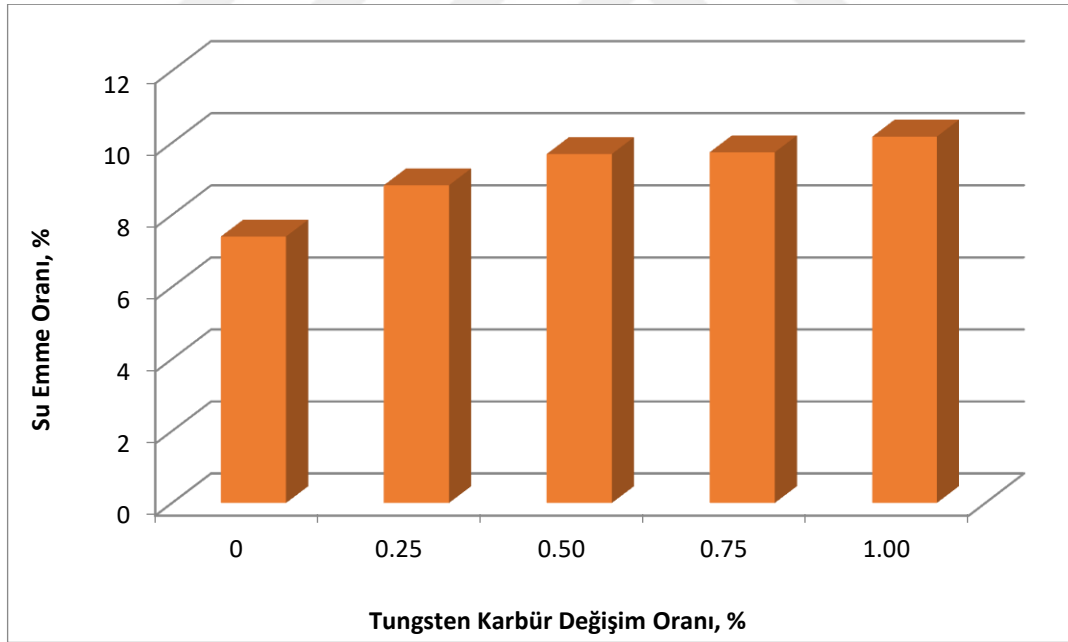
Şekil 4.3. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri

Deney sonuçlarına göre tungsten karbür ilavesinin artmasıyla beraber basınç dayanımını azaltmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı değeri referans

numunesi olan TK0 numunesinde görülmüştür. Tungsten karbür ilaveli harç numuneleri arasında en yüksek basınç dayanımına sahip % 0.25 tungsten karbür ilaveli TK1 numunesi, en düşük basınç dayanımına sahip numune ise %1 tungsten karbür ilaveli TK4 numunesidir. Üretilen harç numunelerinde en düşük dayanım değerine sahip olan TK4 numunesi referans numunesi ile kıyaslandığında %20.6 oranında azalma gözlenmiştir. Literatürde Choi ve arkadaşları (2009), çimento yerine %30 tungsten kullanmışlar ve benzer şekilde basınç dayanımının %60 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Basınç dayanımındaki azalmanın nedeni olarak kullanılan tungsten malzemesinin portland çimentosuna kıyasla reaktif olmayan büyük boyut parçacıklı olmasından kaynaklandığını düşünmektedirler. SEM ile elde edilen tungstenin parçacık morfolojisini incelediklerinde düzensiz şekillere sahip tungstenin yığılmış şekilde bulunduğunu belirtmişlerdir.

#### 4.4 Su Emme Deneyi

Sertleşmiş beton numunelerinde su emme oranı ile ilgili yapılan deneylerin sonuçları, Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Beton numunelerinin su emme oranları

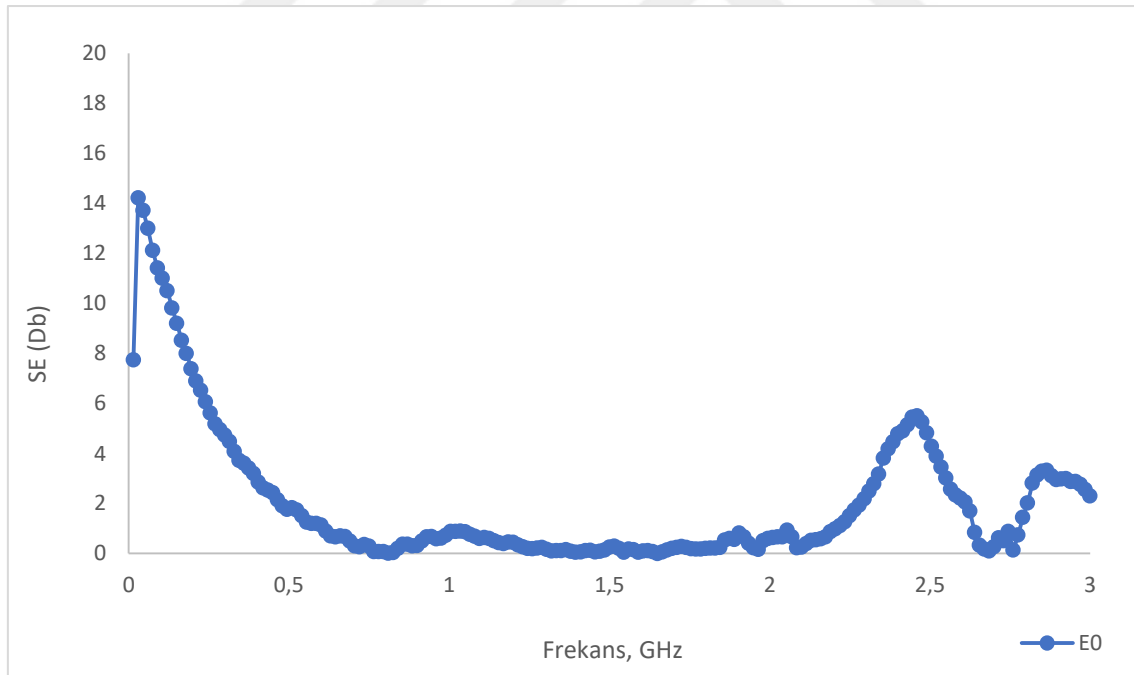
Su emme deneyi sonuçları incelendiğinde harç numunelerine tungsten karbür ilavesi ile birlikte su emme oranının arttığı görülmektedir. Deney sonuçlarına göre en iyi su emme oranına referans numunesi sahipken, en yüksek su emme oranına % 1 tungsten karbür katkılı TK4 numunesi sahiptir. Tungsten karbür katkılı numunelerde kontrol numunesine en yakın

sonucu veren TK1 numunesi yani %0.25 katkı oranlı numunelerdir. TK4 numunesi kontrol numunesine göre %37.83 bir artma görülmüştür. En düşük değeri alan %0.25 katkı TK1 kontrol numunesine göre %18.9 artma olduğu görülmektedir. Tungsten karbür katkı oranının artışı numunedeki boşluk oranını arttırmakta, buna bağlı olarak numunenin su emme kapasitesindeki artışa neden olmaktadır.

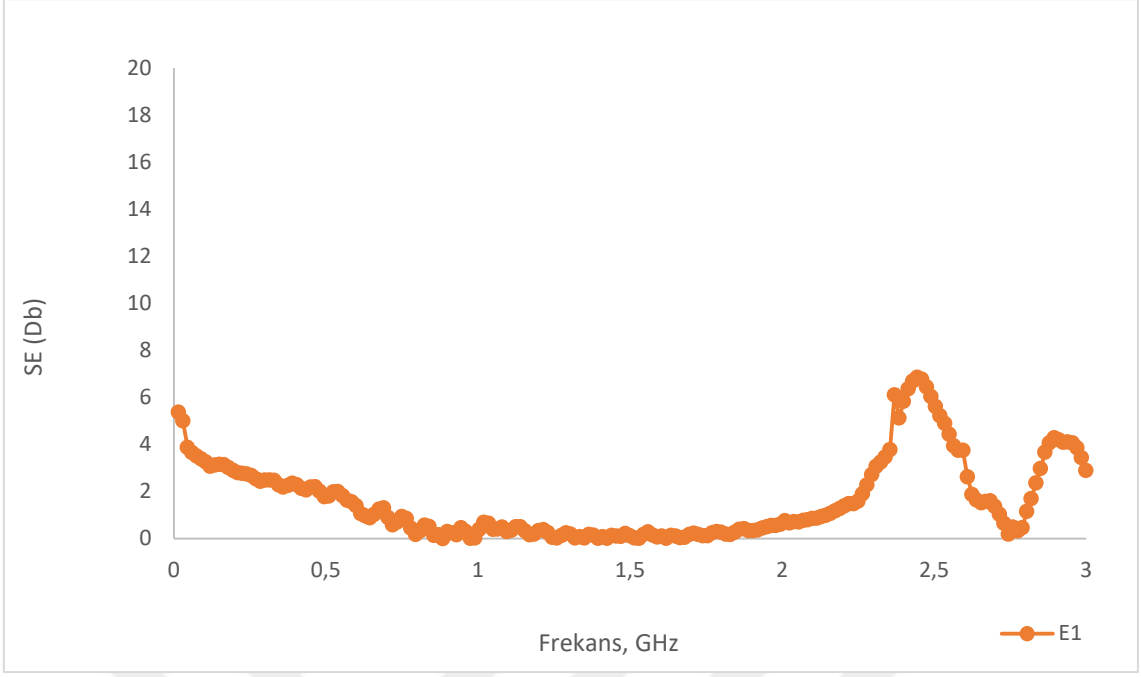
#### 4.5 Elektromanyetik Kalkanlama Deneyi

Elektromanyetik kalkanlama etkisi Network Analyzer (ROHDE&SCHWARZ) cihazında ölçülmüştür. Deney sonuçları Şekil 4.5-4.10'da verilmiştir.

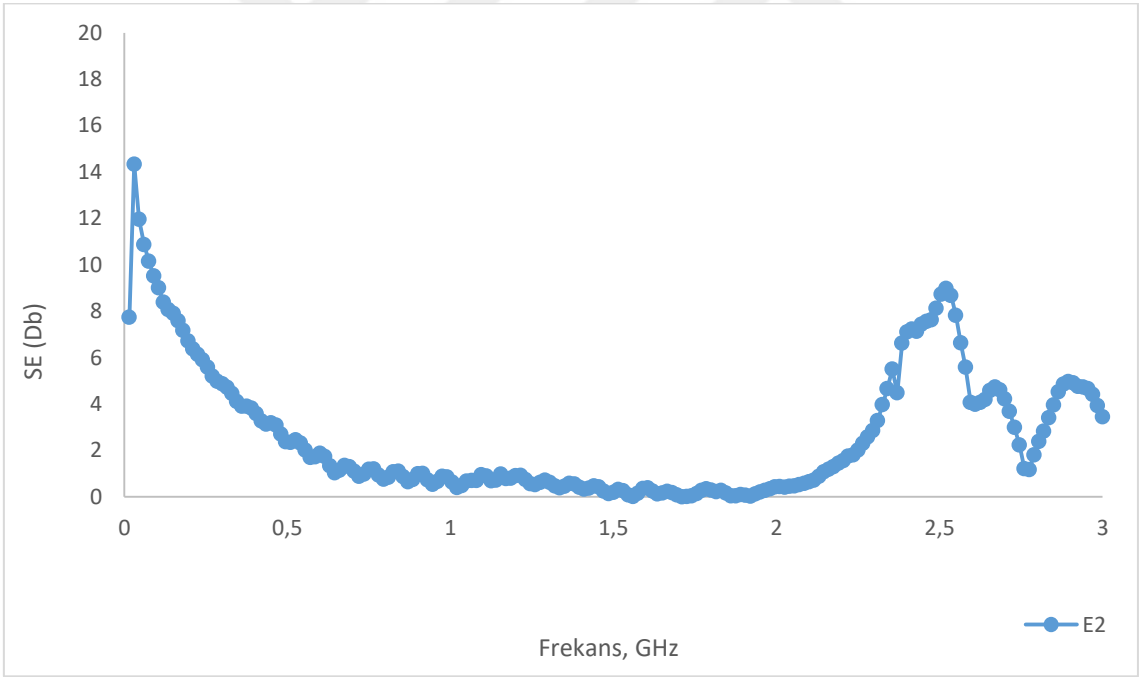
Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümünde farklı oranlarda tungsten karbür ile üretilen numunelerin kalkanlamadaki etkisini belirlemek için ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmada 0 - 3 GHz arasındaki elektromanyetik dalganın üretilen 160x160x5 mm tungsten karbür katkı çimento harç numunelerinin kalkanlama özellikleri ölçüldü.



Şekil 4.5. TK0 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları

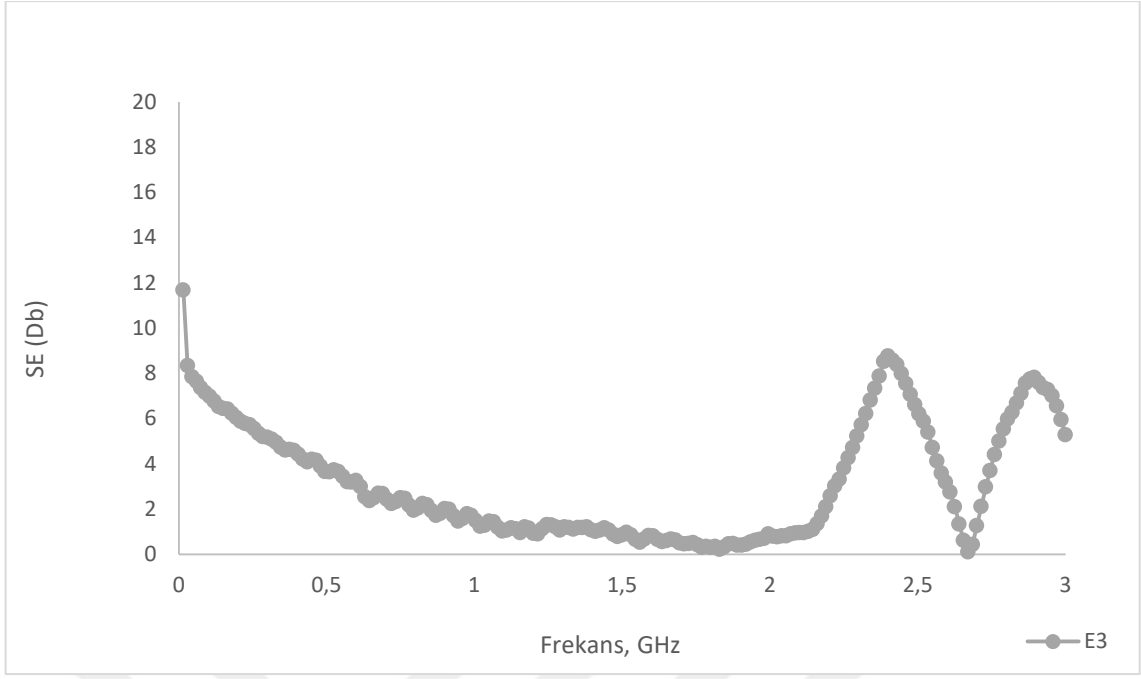


Şekil 4.6. TK1 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları

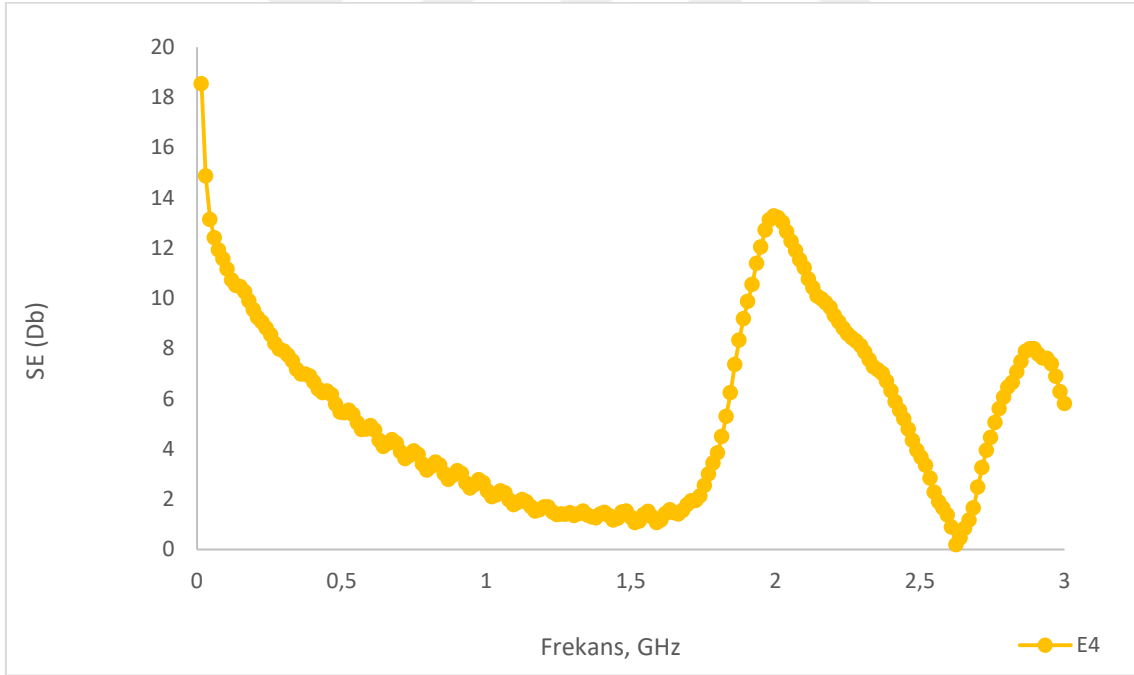


Şekil 4.7. TK2 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları

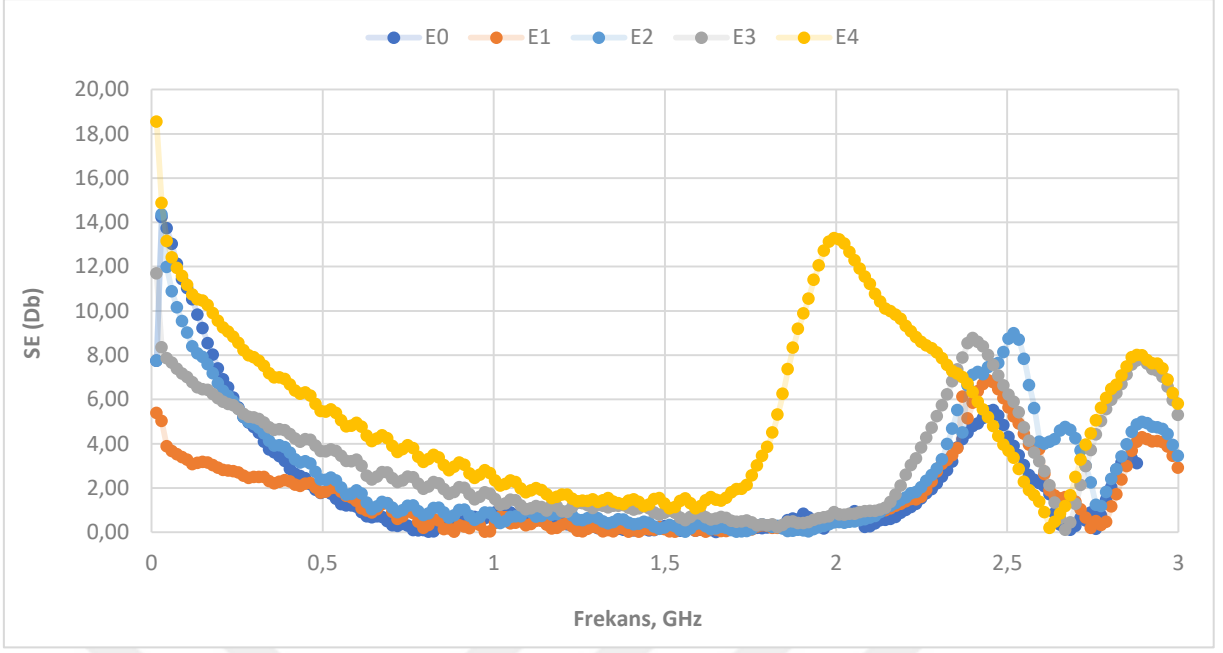




Şekil 4.8. TK3 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları



Şekil 4.9. TK4 numunesinin elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları



Şekil 4.10. Elektromanyetik kalkanlama deneyi sonuçları

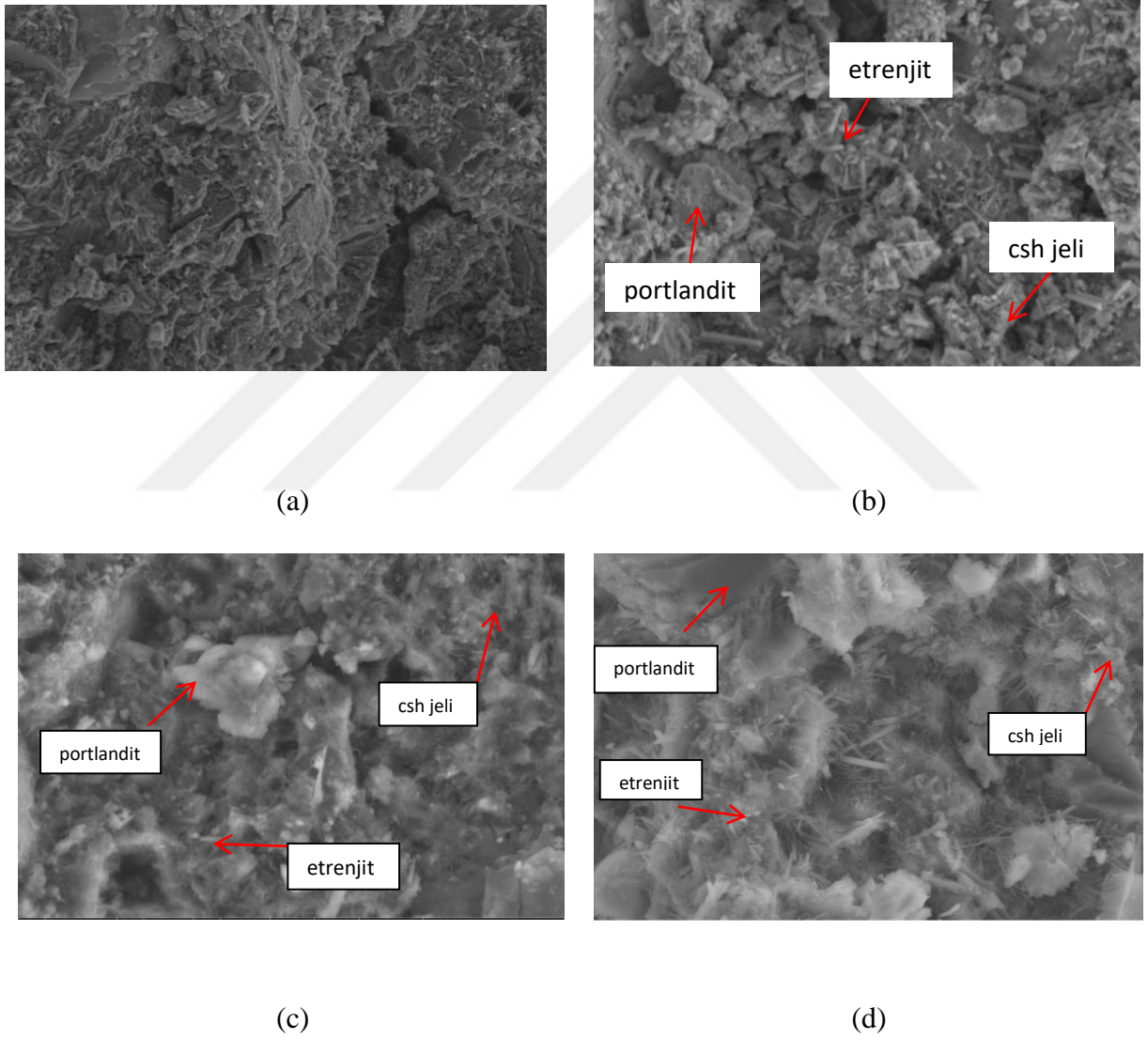
Deney sonuçları incelendiğinde elektromanyetik kalkanlama değerlerinin frekans aralığına göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. 0 – 3 GHz frekans aralığında tungsten karbür katkılı numunelerin katkısız numunelere kıyasla daha iyi kalkanlama değerleri verdiği belirlenmiştir.

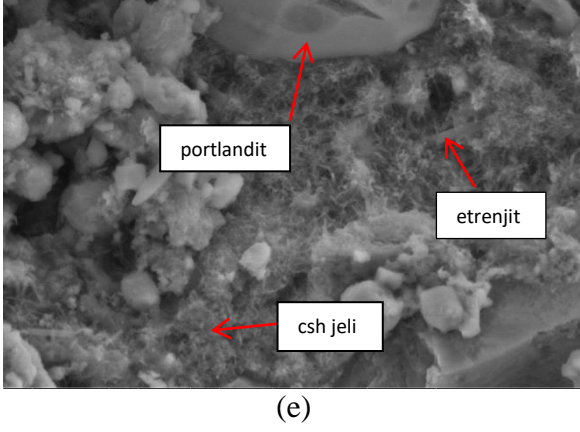
Tungsten karbür katkılı numunelerin kalkanlama değerleri incelendiğinde, frekans değerinin artmasıyla birlikte kalkanlama değerlerinin 0,015 – 1,65 GHz frekans aralıklarında azaldığı, daha sonra 1,65 – 2,4 GHz frekans aralıklarında tekrar artma eğilimi göstermiştir. TK1 numunesinde 2,44 GHz frekans değerinde en yüksek kalkanlama değeri (6,68 dB), TK2 numunesinde 0,03 GHz frekans değerinde en yüksek kalkanlama değeri (14,33 dB), TK3 numunesinde 0,015 GHz frekans değerinde en yüksek kalkanlama değeri (11,68 dB), TK4 numunesinde ise 0,015 GHz frekans değerinde en yüksek kalkanlama değeri (18,54 dB) tespit edilmiştir. Tungsten karbür katkılı numunelerin katkısız numunelerle kıyasla daha yüksek elektromanyetik kalkanlama değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Tungsten karbür katkılı numuneler kendi arasında kıyaslandığında ise TK4 numunesinin daha yüksek elektromanyetik kalkanlama etkinliğine sahip olduğu görülmüştür. Analog telefonlar 0,8-0,9 GHz arasındaki frekanslarda çalışırken, dijital telefonlar 1,850-1,990 GHz arasındaki frekanslarda çalışmaktadır (Durmaz, 2022; Akyıldız ve Durmaz, 2022). Analog telefonların ve dijital telefonların çalıştığı frekans aralıklarında en iyi kalkanlamayı TK4 numunesi elde etmiştir. Ayrıca evlerde, işyerlerinde vs. birçok yerde internetten faydalanabilmek için 2,450 GHz

frekansa sahip olan wireless (wifi) ağları kullanılmaktadır (Durmaz,2022). Wireless ağlarının kullanıldığı frekans aralıklarında en iyi kalkanlamayı TK4 numunesi vermiştir.

#### 4.6 SEM Analizi

Şekil 4.11'de referans numune, % 0.25 tungsten karbür katkı, % 0.50 tungsten karbür katkı, %0.75 tungsten karbür katkı ve % 1 tungsten karbür katkı numunelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir.





Şekil 4.11. Numunelerin SEM görüntüsü (a) referans numunesi, (b) %0.25 TK katkıli numune, (c) % 0.50 TK katkıli numune, (d) %0.75 TK katkıli numune, (e) %1 TK katkıli numune

Şekil 4.11’da portlandit, C-S-H jeli ve etrenjit TK1 numunesinde yapısal şekilleri gösterilmiştir. Numunelere ait SEM görüntülerinde pürüzsüz düz yüzey gibi görünen yapılar portlandit, iğne gibi kıl şeklinde görünen yapılar etrenjit geri kalan diğer yapılar ise C-S-H jelidir. Portlandit, tipik olarak mineral sınıfına dâhil edilen hidroksit içeren bir mineraldir. C-S-H jeli (kalsiyum silika hidrat) çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran ve dayanım kazanmasını sağlayan üründür. Etrenjit ise  $C_3A$ ’nın hidrate olması sonucu oluşan reaksiyon ürünüdür. SEM görüntüleri incelendiğinde pürüzsüz yüzey dokularının arttığı yani portlandit oluşumunun arttığı görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tungsten karbür (TK) nanomalzemesinin çimentolu kompozitlerde kullanılabilirliği incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen numunelere ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme, elektromanyetik kalkanlama deneyleri ve sem analizi yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

1. Ultrases geçiş hızı deneyi sonucuna göre, harç karışımındaki tungsten karbür oranı arttıkça ultrases geçiş hızı TK4 numunesi hariç diğer numunelerde artmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek ultrases geçiş hızı değeri % 0.25 tungsten karbür katkılı TK1 numunesinde, en düşük ultrases geçiş hızı değeri ise referans numunesinde elde edilmiştir. Katkılı numunelerde referans numunesine en yakın sonucu veren TK4 numunesi yani %1 katkı oranlı numunelerdir.

2. Eğilme dayanımı sonucuna göre, tungsten karbür oranı arttıkça eğilme dayanımı değerleri artmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde numuneler arasında referans numunesi en düşük eğilme dayanımına sahiptir. En yüksek eğilme dayanımı değerine %1 tungsten karbür ilaveli TK4 numunesi sahiptir. Çimento harçlarına tungsten karbür ilavesi eğilme dayanımı değerlerinde artış sağlamıştır. Bu nedenle tungsten karbür eğilme dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

3. Tungsten karbür ilaveli harç numunelerindeki katkı miktarı arttıkça basınç dayanımları azalmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı değeri referans numunesi olan TK0 numunesi, en düşük basınç dayanımına sahip numune ise %1 tungsten karbür ilaveli TK4 numunesidir.

4. Su emme deneyi sonuçları incelendiğinde tungsten karbür oranı arttıkça su emme oranları artmıştır. Deney sonuçlarına göre en iyi su emme oranına referans numunesi sahipken, en yüksek su emme oranına % 1 tungsten karbür katkılı TK4 numunesi sahiptir. Katkılı harç numuneleri arasında en düşük su emme oranına %0.25 tungsten katkılı TK1 numunesi sahiptir.

5. Elektromanyetik kalkanlama deneyi sonucu incelendiğinde tungsten karbür katkılı numunelerin katkısız numunelerle kıyasla daha yüksek elektromanyetik kalkanlama değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Tungsten karbür katkılı numuneler kendi arasında

kıyaslandığında ise TK4 numunesinin daha yüksek elektromanyetik kalkanlama etkinliğine sahip olduğu görülmüştür.

6. SEM analizi görüntülerinin incelenmesi sonucu numunelerin yüzey dokusunun pürüzlü olduğu görülmektedir. Portlandit yoğunluğu en az TK0 referans numunesinde en fazla TK4 numunesindedir.

7. Yapılan önceki çalışmalarda, çimentolu harçlarda katkı maddesi olarak çimentonun kısmi tungsten karbür ile değiştirilmesinin etkisini inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu sebeple çimento esaslı malzemelerde tungsten karbürün harç özelliklerine etkisinin araştırılmasına ihtiyaç vardır. Bunun nedeni literatüre göre, tungsten karbürün çimento harçlarının özelliklerini iyileştirmesidir. Bu çalışma sonucunda tungsten karbür ilavesi ile üretilen harçların yapı malzemesi alanında sıva harcı olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçların gelecekteki çalışmalarda çimentolu kompozitlerin geliştirilmesi konusunda zemin hazırlayarak fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akçay, N. (2017). *Akımsız Ni-P Ve Ni-B Kaplı Karbonfiberlerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri Ve W Katkılamanın Etkileri*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Akyıldız, A., Durmaz, O. (2022). Investigating Electromagnetic Shielding Properties of Building Materials Doped with Carbon Nanomaterials, *Buildings*, 12(3), 361. <https://doi.org/10.3390/buildings12030361>.
- Alharbi, Y. R., Abadel, A. A., Mayhoub, O. A., & Kohail, M. (2021). Effect of using available metakaoline and nano materials on the behavior of reactive powder concrete. *Construction and Building Materials*, 121344.
- Aydoğmuş, T. (2019). *Tungsten Karbür Kesici Takımların Borlanması ve Karakterizasyonu*, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Balav, M.H. (2016). *Nano Malzemelerin Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Begüm, C. (2012). *Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi İle Tungsten Karbür İnce Filmlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bianchi, C. L., Gatto, S., Pirola, C., Scavini, M., Vitali, S., & Capucci, V. (2013). Micro-TiO<sub>2</sub> as a starting material for new photocatalytic tiles. *Cement and Concrete Composites*, 36, 116-120.
- Choi, Y. W., Kim, Y. J., Choi, O., Lee, K. M., & Lachemi, M. (2009). Utilization of tailings from tungsten mine waste as a substitution material for cement. *Construction and Building Materials*, 23(7), 2481-2486.
- Dağ, N. (2010). *İletken Tekstil Yüzeylerinde Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğinin Araştırılması*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Dong, Y., Zhang, L., Wang, C., & Shen, Q. (2017). Bağlayıcısız WC seramiklerinin yerinde reaktif sentezi ve plazma ile aktifleştirilmiş sinterlenmesi. *Applied Ceramics*, 116 (5), 267-271.

- Durmaz, Ö. (2022). *Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Nano Malzeme Katkılı Yapı Malzemelerinin Üretimi*, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Erdoğan, M., Ayhan, E., & Yönetken, A. (2013). WC-Co Esaslı Çizici Kalem Karakterizasyonu ve Mekaniksel Özellikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1-11.
- Erol, Ü. (2017). *Özellikleri Nano Boyutta Modifiye Edilmiş Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Tasarlanmış Çimento Bağlayıcılı Kompozitler*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Gaitero, J. J., Campillo, I. ve Guerrero, A. (2008). Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. *Cement and Concrete Research*, 38(8), 1112-1118.
- Gavriş, V., Chayka, T., Baranov, G., Oleynik, A. Y., & Shagova, Y. O. (2021). Investigation of the influence of tungsten carbide nanopowder WC and the mixture of tungsten carbides and titanium carbides (WC, TiC) on the change of concrete performance properties. *In Journal of Physics: Conference Series* Vol. 1866, No. 1, p. 012008.
- Güler, G. (2020). *Nano Malzeme İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Dayanıklılığının Araştırılması*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Han, B., Zhang, L., Zeng, S., Dong, S., Yu, X., Yang, R., & Ou, J. (2017). Nano-core effect in nano-engineered cementitious composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 95, 100-109.
- Han, B., Wang, Z., Zeng, S., Zhou, D., Yu, X., Cui, X., & Ou, J. (2017). Properties and modification mechanisms of nano-zirconia filled reactive powder concrete. *Construction and Building Materials*, 141, 426-434.
- Hosseini, P., Booshehrian, A., & Farshchi, S. (2010). Influence of nano-SiO<sub>2</sub> addition on microstructure and mechanical properties of cement mortars for ferrocement. *Transportation research record*, 2141(1), 15-20.
- Idrees, M., Chaudhary, H. A., Akbar, A., Mohamed, A. M., & Fathi, D. (2022). Effect of Silicon Carbide and Tungsten Carbide on Concrete Composite. *Materials* 2022, 15, 2061.



- İnce, B. (2021). *İki Bileşenli Metal Oksit Nanomalzemelerinin Morfolojik Ve Elektriksel Özelliklerinin Karakterizasyonu*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Jiao, D., Lesage, K., Yardimci, M. Y., El Cheikh, K., Shi, C., & De Schutter, G. (2021). Structural evolution of cement paste with nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> under magnetic field-Effect of concentration and particle size of nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. *Cement and Concrete Composites*, 120, 104036.
- Jayapalan, A. R., Lee, B. Y., & Kurtis, K. E. (2013). Can nanotechnology be ‘green’? Comparing efficacy of nano and microparticles in cementitious materials. *Cement and concrete composites*, 36, 16-24.
- Kamaruddin, S., & Stephan, D. (2013). Quartz–titania composites for the photocatalytical modification of construction materials. *Cement and Concrete Composites*, 36, 109-115.
- Kawashima S., Pengkun H., David J. Corr D.J., and Surendra P. Shah S.P.(2012). “*Modification of Cement-Based Materials with Nanoparticles*”, *Cement & Concrete Composites*, 36,8-15.
- Kutluk S. (2014). *Metal Flament Takviyeli Pamuk İpliklerinden Üretilmiş Boşluklu (Spacer) Örme Kumaşların Elektrik İletkenliği Ve Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Li, H., Xiao, H. G., Yuan, J., & Ou, J. (2004). Microstructure of cement mortar with nanoparticles. *Composites part B: engineering*, 35(2), 185-189.
- Lin, K. L., Chang, W. C., Lin, D. F., Luo, H. L., & Tsai, M. C. (2008). Effects of nano-SiO<sub>2</sub> and different ash particle sizes on sludge ash–cement mortar. *Journal of environmental management*, 88(4), 708-714.
- Ma, B., Wang, J., Tan, H., Li, X., Cai, L., Zhou, Y., & Chu, Z. (2019). Utilization of waste marble powder in cement-based materials by incorporating nano silica. *Construction and Building Materials*, 211, 139-149.
- Neville A M (1996). *Properties of Concrete*. John Wiley&Sons Inc, New York
- Norhasri, M. M., Hamidah, M. S., & Fadzil, A. M. (2017). Applications of using nano material in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 133, 91-97.

- Oltulu, M., & Şahin, R. (2011). Single and combined effects of nano-SiO<sub>2</sub>, nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders on compressive strength and capillary permeability of cement mortar containing silica fume. *Materials Science and Engineering: A*, 528(22-23), 7012-7019.
- Özbora, A. A., Tarhan, M., & Engin, Y. (2013). *Nanoteknolojinin Betonun Geleceğindeki Rolü*. Beton 2013 Hazır Beton Kongresi Çağrılı Bildirileri.
- Pekmezci B. Y. & Atahan H. N. (2014). *Kimyasal Ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri*. Hazır Beton Dergisi, 69-82.
- Raki L, Beaudoin J, Alizadeh R, Makar J and Sato T. (2010). Cement and concrete nanoscience and nanotechnology. *Materials*, 3(2), 918-942.
- Rao, S., Silva, P., & De Brito, J. (2015). Experimental study of the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with nano materials (SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>). *Construction and Building Materials*, 96, 508-517.
- Raufi, H. (2018). *Bitümlü Bağlayıcı Ve Asfalt Karışımlarının Nano Malzemelerle Modifikasyonu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Roco, M. C. (2007). National nanotechnology initiative-past, present, future. *Handbook on nanoscience, engineering and technology*, 2.
- Roy, S. (2014). *Towards Sustainability through Nano-composite Cement and Concrete*, Doctoral dissertation, School of Planning And Architecture, Vijayawada.
- Ruan, Y., Han, B., Yu, X., Zhang, W., & Wang, D. (2018). Carbon nanotubes reinforced reactive powder concrete. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 112, 371-382.
- Sanchez, F., & Ince, C. (2009). Microstructure and macroscopic properties of hybrid carbon nanofiber/silica fume cement composites. *Composites science and technology*, 69(7-8), 1310-1318.
- Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete—a review. *Construction and building materials*, 24(11), 2060-2071.
- Sekkal, W., & Zaoui, A. (2021). Novel properties of nano-engineered cementitious materials with fullerene buckyballs. *Cement and Concrete Composites*, 118, 103960.

- Servatmand, A., & Şimşek, O. (2017). Yüksek performanslı harç üretiminde optimum nano malzeme oranlarının belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2): 327-332.
- Sevim, Ö. (2008). *Tungsten Karbür Esaslı Seramik Metal Kompozitlerin Ultrases Dalga Hız Metodu İle Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini*, Afyon Kocaepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
- Shao, Q., Zheng, K., Zhou, X., Zhou, J., & Zeng, X. (2019). Enhancement of nano-alumina on long-term strength of Portland cement and the relation to its influences on compositional and microstructural aspects. *Cement and Concrete Composites*, 98, 39-48.
- Sharkawi, A. M., Abd-Elaty, M. A., & Khalifa, O. H. (2018). Synergistic influence of micro-nano silica mixture on durability performance of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 164, 579-588.
- Söğüt, B. (2021). *Fonksiyonel Nanopartiküllerin Tekstil Kumaşların Uv Koruma (Upf), Elektromanyetik Kalkanlama (Emi) Ve Termal Özelliklerine Etkisinin Araştırılması*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Şenyurt, B. (2019). *Tungsten Borür/Tungsten Karbür Kompozit Tozlarının Tungsten Oksit Ve Yerli Bor Oksit Hammaddelerinden Katı Hal Sentezleme Yöntemi İle Üretimi*, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Turunç, S. (2019). *Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Toklu, K., Baharavar, S., Şimşek, O. (2017). *Uçucu Kül İçeren Yüksek Performanslı Güçlendirme Harcında Nano Silikatın Etkisi*. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 5, (1), 38-46.
- TS EN 197-1 (2012). Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri
- TS EN 12504-4 (2012). Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini
- TS EN 12390-5 (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini
- Ulaş A, (2009). *Uçucu Küllü Harçlarda Yeni Nesil Akışkanlaştırıcıların Etkisi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Yıldız Z, (2011). *İletken Polimerlerle Muamele Edilmiş Tekstil Yüzeylerinin Elektrik İletkenliği Ve Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Zhang, M. H., & Islam, J. (2012). Use of nano-silica to reduce setting time and increase early strength of concretes with high volumes of fly ash or slag. *Construction and Building Materials*, 29, 573-580.
- Zhang, A., Yang, W., Ge, Y., Du, Y., & Liu, P. (2020). Effects of nano-SiO<sub>2</sub> and nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on mechanical and durability properties of cement-based materials: A comparative study. *Journal of Building Engineering*, 101936.
- Wang, B., Han, Y., & Liu, S. (2013). Effect of highly dispersed carbon nanotubes on the flexural toughness of cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 46, 8-12.

