

**Ponza Tozu Atıklarının Balastsız Demiryolu Üstyapı Beton İnşasında Kullanılabilirliği**Furkan KINAY<sup>1</sup>, Abdulrezzak BAKIŞ<sup>\*</sup><sup>1</sup> Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Ulaştırma Bilim Dalı, Batman, Türkiye<sup>\*</sup>[abdulrezzak.bakis@batman.edu.tr](mailto:abdulrezzak.bakis@batman.edu.tr)

(Alınış/Received: 07.09.2025, Kabul/Accepted: 26.09.2025, Yayınlama/Published: 20.01.2026)

**Öz:** Çevreyi kirliliği ve atık sahaların meydana gelmesine sebep olan katı atıklardan birisi de ponza tozu atıklarıdır. Ocaklardan çıkarılan ponzalarla üretim yapılırken, önemsenerek miktarda ponza tozu atığı meydana gelmektedir. Bu çalışmada, ponza tozu atıklarının balastsız demiryolu üstyapı beton üretiminde kullanılabilirliği araştırıldı. Araştırmada, yeni bir demiryolu balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu oluşturuldu. Üretilen balastsız üstyapı betonlarına 3 gün 20±3°C su kürü ve kombine kür olmak üzere 2 farklı tipte kür uygulandı. Kombine kür olarak 3 gün 20±3°C su kürü + 2 gün 200±3°C etüv kürü uygulandı. 3 gün 20±3°C su kürü uygulanan balastsız üstyapı betonları PNZ-S, kombine kür uygulanan balastsız üst yapı betonları ise PNZ-K olarak isimlendirildi. Kürlerden sonra tüm beton numunelere, yarmada çekme deneyi, Bohme aşınma deneyi, donma-çözülme deneyi ve su emme deneyi yapıldı. Deneyler sonucunda, PNZ-S betonların ortalama yarmada çekme dayanımı 4,6 MPa, Bohme aşınma kaybı 9,3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, donma-çözülme birim alan kütle kaybı 0,37 kg/m<sup>2</sup> ve su emme değeri %4,1 olarak bulundu. PNZ-K betonlarına yapılan deneyler sonucunda ise, ortalama yarmada çekme dayanımı 4,8 MPa, Bohme aşınma kaybı 11,3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, donma-çözülme birim alan kütle kaybı 0,44 kg/m<sup>2</sup> ve su emme değeri %4,1 olarak bulundu. Elde edilen bulgular, ponza tozu atıklarının demiryolu balastsız üstyapı betonu üretiminde kullanılabilirliğini gösterdi.

**Anahtar kelimeler:** Ponza tozu atığı, Balastsız demiryolu üstyapısı, Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu, Yarmada çekme dayanımı, Bohme aşınma deneyi, Donma-çözülme deneyi

**Usability of Pumice Powder Wastes in Ballastless Railway Superstructure Concrete Construction**

**Abstract:** One of the solid wastes that causes environmental pollution and the formation of waste sites is pumice powder waste. During production with pumice extracted from quarries, a significant amount of pumice powder waste is generated. In this study, the usability of pumice powder waste in the production of ballastless railway superstructure concrete was investigated. In the research, a new railway ballastless superstructure reactive pumice powder concrete was created. Two different types of cures were applied to the produced ballastless superstructure concretes: 3 days of 20±3°C water curing and combined curing. The combined curing was 3 days of 20±3°C water curing + 2 days of 200±3°C oven curing. The ballastless superstructure concretes subjected 3 days of 20±3°C water curing were named PMC-W. The ballastless superstructure concretes subjected combined curing were named PMC-C. After curing, splitting tensile test, Bohme abrasion test, freeze-thaw test and water absorption test were applied to all ballastless superstructure concrete samples. As a result of the tests, the average splitting tensile strength of PMC-W concrete was found to be 4.6 MPa, Bohme abrasion loss was 9.3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, freeze-thaw mass loss per unit area was 0.37 kg/m<sup>2</sup> and water absorption value was 4.1%. As a result of the tests performed on PMC-C concrete, the average splitting tensile strength was found to be 4.8 MPa, Bohme abrasion loss was 11.3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, freeze-thaw mass loss per unit area was 0.44 kg/m<sup>2</sup> and water absorption value was 4.1%. The findings showed that pumice powder wastes can be used in the production of railway ballastless superstructure concrete.

**Keywords:** Pumice powder waste, Ballastless railway superstructure, Ballastless superstructure reactive powder concrete produced with pumice, Splitting tensile strength, Bohme abrasion test, Freeze-thaw test

Atıf için/Cite as: F. Kınay, A. Bakış, "Ponza tozu atıklarının balastsız demiryolu üstyapı beton inşasında kullanılabilirliği," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 23, no. 1779410, 2026, doi: 10.47072/demiryolu.1779410

## 1. Giriş

Çevreyi kirliliği ve atık sahaların meydana gelmesine sebep olan katı atıklardan birisi de ponza tozu atıklarıdır. Ocaklardan çıkarılan ponzalarla üretim yapılırken, önemsenecek miktarda ponza tozu atığı meydana gelmektedir. Çevreyi kirlüten ve çöp sahalarının oluşumuna neden olan bu katı atıklar içerisinde ponza toz atıkları da bulunmaktadır. Doğadaki doğal hammaddelerin sınırlı olduğu göz önüne alınırsa, bu atık maddelerin yeniden değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Çalışmada, ponza tozu atıkları reaktif pudra beton karışım oranları göz önüne alınarak, bu yöntemle değerlendirilmiş ve ekonomiye tekrar kazanımı mümkün olmuştur. Bu çalışmada, ponza tozu atıklarının balastsız demiryolu üstyapı beton üretiminde kullanılabilirliği araştırıldı.

Geleneksel olarak demiryolu üstyapısı ray, travers, bağlantı malzemeleri ve balasttan oluşmaktadır. Platformun üzerine döşenen, traverslerin aralarını dolduran ve traverse elastik bir yatak oluşturan, traversler tarafından kendisine iletilen tüm etkileri platforma ileten, 22,4–63 milimetre ebadında kırılmış, keskin köşeli ve keskin kenarlı sert ve sağlam kayalara balast denilmektedir [1, 2]. Balastsız üstyapıda ise genel olarak balast yerine beton veya betonarme taşıma tabakası kullanılır. Balastlı ve balastsız üstyapılar Şekil 1’de görülmektedir [3].



Şekil 1. Demiryolu üstyapı görünümleri a) balastlı üstyapı b) balastsız üstyapı

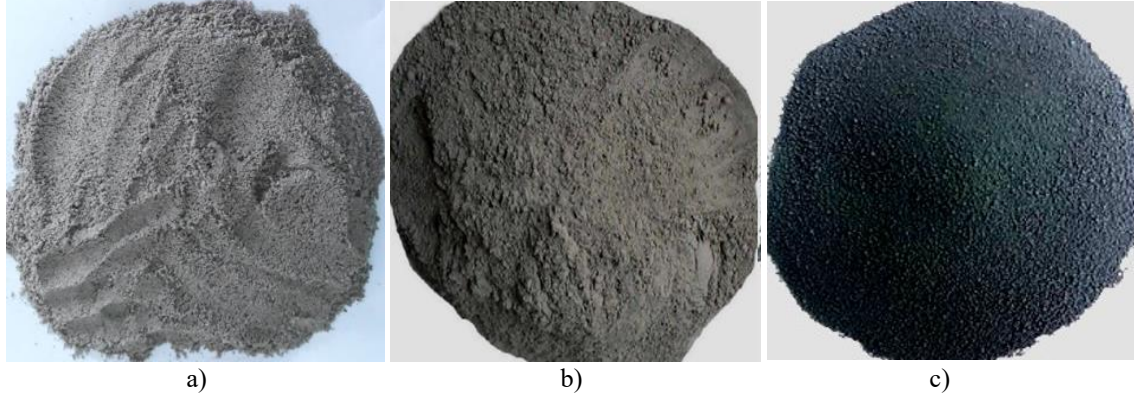
Balastsız üstyapıda gerekli olan elastiklik, ray ve travers arasında veya travers altında kullanılan çeşitli elastik elemanlarla sağlanır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte balastsız üstyapıların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Hızlı tren teknolojisinde balastsız üstyapıların kullanımı yaygındır. Demiryolu tünellerinde normal balast kullanılması halinde tünel yüksekliği ve dolayısıyla maliyet arttığı için balastsız üstyapılar yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Kent içi raylı sistemlerde de kullanımı yaygındır. Balastsız üstyapıların kullanılmasıyla özellikle üstyapı yükü ve yüksekliği azalmaktadır. Balastsız beton üstyapının hizmet süresi uzun ve bakım maliyeti düşüktür. Balastsız üstyapılar, yaygın balastlı üstyapı sistemlerine alternatif bir tasarımdır [4]. Son yıllarda balastsız üstyapılar konusunda çeşitli çalışmalar yapıldı [5–8]. Bu süreçte balastsız üstyapılarla ilgili farklı bileşenlere, geometrilere ve üretim süreçlerine sahip çeşitli inşaat tasarımları da geliştirildi [9–11]. Balastsız üstyapı avantajları arasında gelişmiş sürüş konforu, düşük bakım maliyetleri ve uzun hizmet süresi yer aldığından, balastlı üstyapı sistemlerine kıyasla daha sürdürülebilir tasarımlara uygundur [12–18]. Bu nedenle, balastsız üstyapıların uygulanmasına karar vermeden önce avantaj ve dezavantajların kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekir [19, 20]. İnşaat bileşimi ve bağlantı tipleri gibi belirli parametrelere dayalı olarak farklı tipteki balastsız üstyapı sistemlerinin gelişimi, güncel çalışmalarla analiz edilip karşılaştırılmaya devam etmektedir [21]. Geçmişten günümüze yüksek dayanımlı beton üretimiyle ilgili birçok çalışma yapıldı. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre yüksek dayanıma sahip beton tiplerinden birisi de reaktif pudra betondur (RPB).

Yüksek dayanımlı RPB vasıtasıyla diğer beton tiplerine nazaran daha düşük kalınlıkta yapısal elemanlar elde edilebilmektedir. Agrega hacmi %30–50, agreg a maksimum tane boyutu 1–3 mm alınarak üretilen RPB üretilimiyle ilgili bir çalışmada yüksek mekanik sonuçlar elde edilmiştir [22]. RPB karışımları lifli ve lifsiz olarak üretil ebilmektedir. RPB üretimlerinde, beton karışımı içerisine silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri eklenebilmektedir [23]. RPB üretiminde standart su kürü yanında kombine kürler de uygulanabilir. Isıl işleml i kombine kürler, RPB mekanik dayanımlarını arttırmaktadır [24, 25]. Mevcut çalışmalarda reaktif pudra beton karışım oranlarıyla oluşturulmuş bir demiryolu balastsız üstyapı beton üretimine rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, yeni bir demiryolu balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu oluşturuldu. Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu, RPB karışım oranları göz önüne alınarak oluşturuldu. Bu betonlara “balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu” ismi verildi. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton üretiminde agreg a olarak 0,15–0,6 mm tane çaplı ponza pudra atıklar kullanıldı. Üretilen balastsız üstyapı reaktif ponza pudra betonlarına 3 gün  $20\pm3^{\circ}\text{C}$  su kürü ve kombine kür olmak üzere 2 farklı tipte kür uygulandı. Kombine kür olarak 3 gün  $20\pm3^{\circ}\text{C}$  su kürü ve hemen ardından 2 gün  $200\pm3^{\circ}\text{C}$  etüv kürü uygulandı. 3 gün  $20\pm3^{\circ}\text{C}$  su kürü uygulanan balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu PNZ-S, kombine kür uygulanan balastsız üst yapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu ise PNZ-K olarak isimlendirildi. Kürlerden sonra tüm beton numunelere, yarmada çekme, Bohme aşınma, donma-çözülme ve su emme deneyleri yapıldı. Elde edilen bulgular, ponza tozu atıklarının demiryolu balastsız üstyapı beton üretiminde kullanılabilirliğini gösterdi.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmalarda kullanılan agreg a tipleri, çimento ve silis dumanı görünüm leri Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** Balastsız üstyapı beton üretiminde kullanılan malzeme görünüm leri a) ponza pudrası b) CEM I 42,5 N tipi çimento c) silis dumanı

Balastsız üstyapı beton üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşenleri Tablo 1’de görülmektedir [26–28].

**Tablo 1.** Malzemelerin kimyasal bileşenleri

| Kimyasal Bileşenler                    | Ponza | Çimento | Silis Dumanı |
|----------------------------------------|-------|---------|--------------|
| SiO <sub>2</sub> (%)                   | 71    | 19,28   | 91,57        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)     | 2,6   | 2,99    | 0,15         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)     | 13    | 5,09    | 0,38         |
| CaO (%)                                | 0,8   | 63,14   | 0,32         |
| MgO (%)                                | 0,7   | 1,96    | 4,05         |
| K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O (%) | 9,11  | 0,88    | -            |
| SO <sub>3</sub> (%)                    | 0,61  | 2,81    | -            |
| Cl (%)                                 | -     | 0,01    | -            |
| C (%)                                  | -     | -       | 0,217        |
| S (%)                                  | -     | -       | 0,075        |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         | -     | -       | 0,32         |
| Kızdırma kaybı (%)                     | -     | 3,22    | -            |

Çalışmada balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton üretimlerinin tümünde CEM I 42,5 N tipi çimento, silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanıldı.

### 2.1. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton karışım yöntemi

Çalışmada, yeni bir demiryolu balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu oluşturuldu. Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu, RPB karışım oranları göz önüne alınarak oluşturuldu. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton üretiminde agrega olarak 0,15–0,6 mm tane çaplı ponza pudra atıklar kullanıldı. Üretilen balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonlarına 3 gün 20±3°C su kürü ve kombine kür olmak üzere 2 farklı tipte kür uygulandı. Kombine kür olarak 3 gün 20±3°C su kürü ve hemen ardından 2 gün 200±3°C etüv kürü uygulandı. 3 gün 20±3°C su kürü uygulanan balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu PNZ-S, kombine kür uygulanan balastsız üst yapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu ise PNZ-K olarak isimlendirildi. Kürlerden sonra tüm beton numunelere, yarmada çekme, Bohme aşınma, donma-çözülme ve su emme deneyleri yapıldı.

Reaktif pudra beton (RPB) karışım oranları için uygulanan yöntemlerden birisi Mooney'in süspansiyon viskozite modelidir [29, 30]. Mooney'in süspansiyon viskozite modeline dayalı yaygın olarak kullanılan karışım tasarımları Tablo 2'de görülmektedir [31].

**Tablo 2.** RPB karışım oranları

| Malzemeler                                     | RPB200 |       |       |       |
|------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|
|                                                | Lifsiz | Lifli | Lifli | Lifli |
| PC (Portland çimentosu)                        | 1      | 1     | 1     | 1     |
| SF (Silis dumanı)                              | 0,25   | 0,23  | 0,25  | 0,23  |
| Kum (0,15–0,6 mm)                              | 1,1    | 1,1   | 1,1   | 1,1   |
| Kırılmış kuvars<br>(d <sub>50</sub> = 0,01 mm) | -      | 0,39  | -     | 0,39  |
| Süperakışkanlaştırıcı (SP)                     | 0,016  | 0,019 | 0,016 | 0,019 |
| Çelik lif (L = 12 mm)                          | -      | -     | 0,175 | 0,175 |
| Çelik lif (L = 3 mm)                           | -      | -     | -     | -     |
| Çelik agrega (< 0,8 mm)                        | -      | -     | -     | -     |
| Su                                             | 0,15   | 0,17  | 0,17  | 0,19  |

Tablo 3, Tablo 2'deki RPB200 sütunundaki lifsiz karışım oranları dikkate alınarak oluşturuldu. Bu çalışmada, tüm beton tipleri için su/bağlayıcı oranı 0,35 olarak alındı. Bir çalışmada 0,25'lik silis dumanı/çimento oranının maksimum beton dayanımı sağladığı ifade edilmektedir [31]. Bu nedenle bu çalışmada, balastsız üst yapı reaktif ponza pudra beton karışımlarının silis dumanı/bağlayıcı oranı 0,25 alınmıştır. Tablo 3'deki su/bağlayıcı oranı hesaplanırken hem

Portland çimentosu hem de silis dumanı bağlayıcı olarak birlikte değerlendirmeye alındı. Bağlayıcı miktarı, beton karışımındaki Portland çimentosu ve silis dumanının toplam miktarını ifade etmektedir. Bu ifade Tablo 2 üzerinden değerlendirilecek olursa, Tablo 2'deki su/bağlayıcı oranı  $= 0,15/(1+0,25) = 0,12$  olur.

**Tablo 3.** Balastsız üst yapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu karışım oranları

| Malzemeler                   | Lifsiz |
|------------------------------|--------|
| Portland çimentosu (PC)      | 1,00   |
| Silis dumanı (SF)            | 0,25   |
| Ponza agregası (0,15–0,6 mm) | 1,10   |
| Süperakışkanlaştırıcı (SP)   | 0,016  |
| Su                           | 0,438  |
| Toplam                       | 2,804  |

Tablo 3'de 1'lik birimler halinde verilen karıştırma oranları dikkate alındığında, balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton karışımında, toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki ilişki hesaplama kolaylığı açısından Denklem 1'de gösterilmiştir:

$$1 \text{ m}^3 \text{ beton karışım ağırlığı (kg)} = 2,804 \times 1 \text{ m}^3 \text{ beton çimento miktarı (kg)} \quad (1)$$

1 m<sup>3</sup> beton karışımı 2200 kg ağırlığında ise, bu karışımında kullanılacak çimento miktarı, Denklem 1'den  $2200 / 2,804$  oranı kullanılarak yaklaşık 785 kg olarak bulunur. 785 kg çimento miktarı bulunduktan sonra karışımında kullanılacak diğer malzemelerin miktarları karışım oranlarına göre belirlenir. Su/bağlayıcı oranı 0,35 olan balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton üretiminde, 1 birim silis dumanı çimentonun ağırlıkça %25'i, ponza pudra içeriği çimentonun ağırlıkça %110'u, süperakışkanlaştırıcı çimentonun ağırlıkça % 1,6'sı ve karıştırma suyu çimentonun ağırlıkça %43,8'i oranında kullanılmıştır.

Bu hesaplamalara göre balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton karışım miktarı Tablo 4'de görülmektedir.

**Tablo 4.** Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu karışım miktarı

| Malzemeler              | Miktar (kg) |
|-------------------------|-------------|
| Çimento                 | 785         |
| Silis dumanı            | 196         |
| 0,15–0,6 mm ponza pudra | 862         |
| Süperakışkanlaştırıcı   | 13          |
| Su                      | 344         |
| Toplam                  | 2200        |

## 2.2. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton yarmada çekme deney yöntemi

Yarmada çekme deneyi ilgili sonuçlar Denklem 2, Denklem 3, Denklem 4 ve Denklem 5 yardımıyla hesaplandı [32].

$$S = L \times t \quad (2)$$

S: Kırılma alanı, mm<sup>2</sup>

L: Kırılma kesit uzunluğu, mm

t : Numune kalınlığı, mm

$$T = 0.637 \times k \times P / S \quad (3)$$

T: Dayanım, MPa

P: Kırılma yükü, N

k: Düzeltme katsayısı

$$k = 1,3 - 30 \times \left(0,18 - \frac{t}{1000}\right)^2 \quad (4)$$

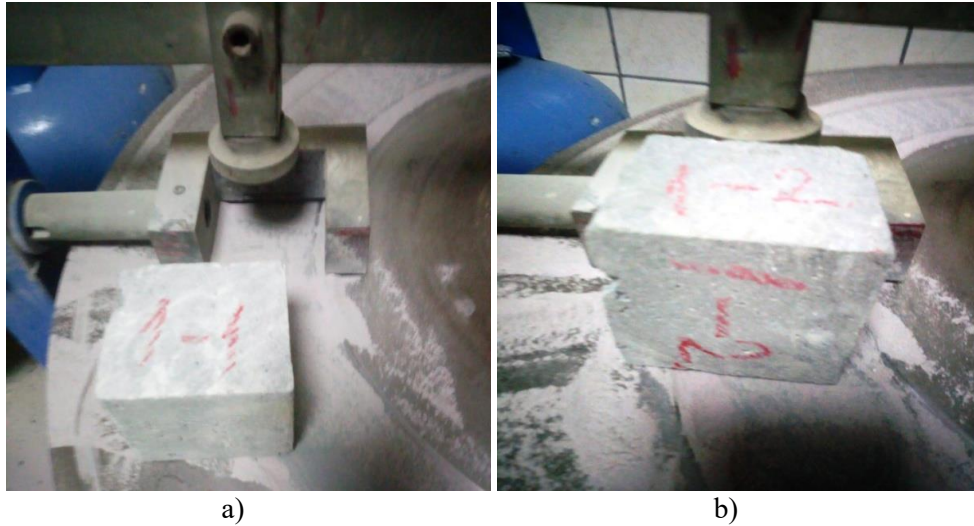
$$F = P / L \quad (5)$$

F: Birim alan başına kırılma yükü, N/mm

Bu çalışmada, numune boyutları 165×200×80 mm alındı. Tüm numuneler için L=200 mm, t=80 mm, S=16000 mm<sup>2</sup> ve k=1,00 olarak hesaplandı. Standarda uygun olarak 8 adet numune üretildi ve kırıldı.

### 2.3. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton Bohme aşınma deney yöntemi

Tüm numunelerin aşınma deneyi standarda uygun olarak yapıldı. Malzemenin aşınmaya karşı direnci Bohme aşınma deneyi ile tespit edildi. Küp numuneler kenar uzunlukları 71±1,5 mm boyutlarında hazırlandı. Aşınma deneyinde numune görünümleri Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Bohme aşınma deneyinde numune görünümleri a) standart su kürü sonrası aşınma deneyi (PNZ-S) b) kombine kür sonrası aşınma deneyi (PNZ-K)

Numunelere, her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulandı. 16 çevrim sonunda aşınma; numunenin hacmindeki azalma  $\Delta V$  olarak Denklem 6 yardımıyla hesaplandı [32].

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r} \quad (6)$$

$\Delta V$ : 16 çevrimden sonra hacim kaybı, cm<sup>3</sup>

$\Delta m$ : 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g

$\rho r$ : Numunenin yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>

#### 2.4. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton donma-çözülme deney yöntemi

Tüm numunelerin donma-çözülme deneyi standarda uygun olarak yapıldı. Küp numuneler kenar uzunlukları  $100 \pm 1,5$  mm boyutlarında hazırlandı. Numunenin birim alanı başına kütle kaybı (L), Denklem 7 yardımıyla hesaplandı [32].

$$L = M / A \quad (7)$$

M: 28 gün devam eden çevrimlerden sonra deney numunesinden ayrılan malzemenin toplam kütlesi, kg

A: Deney numunesinin donma-çözülme etkisine maruz bırakılan yüzey alanı,  $m^2$

L: Numunenin birim alanı başına kütle kaybı,  $kg/m^2$

#### 2.5. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton su emme deney yöntemi

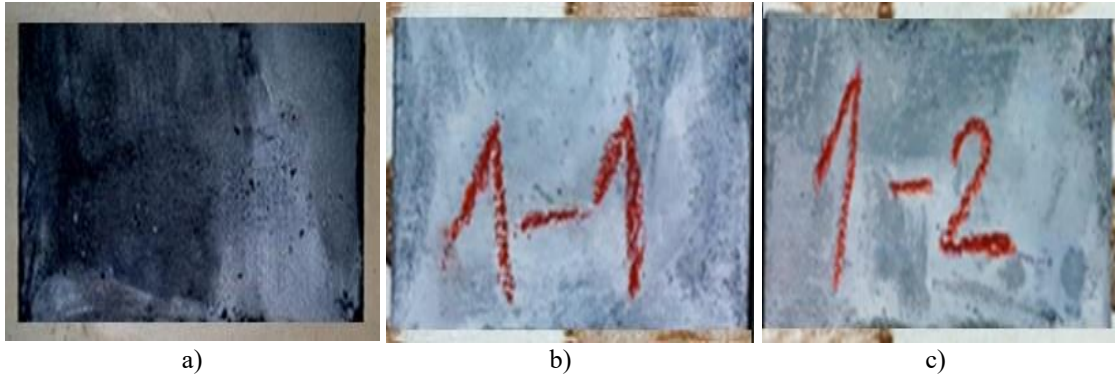
Tüm numunelerin su emme değerleri standarda uygun olarak yapıldı. Çalışmada, numuneler 3 gün boyunca sabit ağırlığa erişinceye kadar  $20^\circ C$  sıcaklıkta kür havuzuna bırakıldı. Daha sonra numuneler havuzdan çıkarılarak kurulandı ve tartıldı. Bu şekilde deney numunelerinin ilk ağırlığı ( $M_1$ ) bulundu. Daha sonra numuneler, etüv içerisine yerleştirildi ve 3 gün boyunca  $105^\circ C$  sıcaklıkta sabit kuru ağırlığa ( $M_2$ ) erişinceye kadar kurutuldu. Her bir numunenin ağırlıkça su emmesi ( $W_a$ ), ağırlıkça yüzde cinsinden Denklem 8 yardımıyla hesaplandı [32].

$$W_a = [(M_1 - M_2) / M_2] \times 100 \quad (8)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra betonu yarmada çekme deney sonuçları

Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu görünüşleri Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu görünüşleri a) kür öncesi görünüm b) standart su kürü sonrası görünüm (PNZ-S) c) kombine kür sonrası görünüm (PNZ-K)

Standart su kürü sonrası balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu (PNZ-S) yarmada çekme deney sonuçları Tablo 5'de görülmektedir.

**Tablo 5.** Standart su kürü sonrası balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu (PNZ-S) yarmada çekme deney sonuçları

| Num.<br>No | P (kN) | T (MPa) | F (N/mm) | Şartname Limiti            |              |
|------------|--------|---------|----------|----------------------------|--------------|
|            |        |         |          | T (MPa)                    | F (N/mm)     |
| 1          | 112,8  | 4,5     | 560      | T ≥ 2,9 MPa                | F ≥ 250 N/mm |
| 2          | 115,3  | 4,6     | 570      |                            |              |
| 3          | 113,6  | 4,5     | 560      |                            |              |
| 4          | 117,2  | 4,7     | 580      |                            |              |
| 5          | 115,1  | 4,6     | 570      |                            |              |
| 6          | 116,4  | 4,6     | 580      |                            |              |
| 7          | 114,8  | 4,6     | 570      |                            |              |
| 8          | 116,2  | 4,6     | 580      |                            |              |
| Ortalama   |        | 4,6     | 571      | T <sub>ort</sub> ≥ 3,6 MPa |              |

Kombine kür sonrası balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu (PNZ-K) yarmada çekme deney sonuçları Tablo 6’da görülmektedir.

**Tablo 6.** Kombine kür sonrası balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu (PNZ-K) yarmada çekme deney sonuçları

| Num.<br>No | P (kN) | T (MPa) | F (N/mm) | Şartname Limiti            |              |
|------------|--------|---------|----------|----------------------------|--------------|
|            |        |         |          | T (MPa)                    | F (N/mm)     |
| 1          | 118,1  | 4,7     | 590      | T ≥ 2,9 MPa                | F ≥ 250 N/mm |
| 2          | 121,1  | 4,8     | 600      |                            |              |
| 3          | 120,9  | 4,8     | 600      |                            |              |
| 4          | 119,7  | 4,8     | 590      |                            |              |
| 5          | 123,2  | 4,9     | 610      |                            |              |
| 6          | 120,5  | 4,8     | 600      |                            |              |
| 7          | 122,3  | 4,9     | 610      |                            |              |
| 8          | 123,7  | 4,9     | 610      |                            |              |
| Ortalama   |        | 4,8     | 601      | T <sub>ort</sub> ≥ 3,6 MPa |              |

### 3.2. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton Bohme aşınma deney sonuçları

Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra betonların Bohme aşınma deney sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

**Tablo 7.** Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu Bohme aşınma deney sonuçları

| Beton<br>Tipi | Yoğunluk<br>$\rho_r$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Kütle Kaybı<br>$\Delta m$<br>(g) | Aşınma<br>$\Delta V$<br>(cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ) | Şartname Limiti<br>(cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| PNZ-S         | 1,989                                        | 18,6                             | 9,3                                                            | $\Delta V \leq 18$                                        |
| PNZ-K         | 1,988                                        | 22,6                             | 11,3                                                           | $\Delta V \leq 18$                                        |

### 3.3. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton donma-çözülme deney sonuçları

Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu donma-çözülme deney sonuçları Tablo 8’de verilmiştir.

**Tablo 8.** Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu donma-çözülme deney sonuçları

| Beton Tipi | Yüzey alanı A (mm <sup>2</sup> ) | Kütle kaybı M (g) | Birim alan kütle kaybı I (kg/m <sup>2</sup> ) | Şartname limiti (kg/m <sup>2</sup> ) |
|------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| PNZ-S      | 9600                             | 3,55              | 0,37                                          | I≤1                                  |
| PNZ-K      | 9600                             | 4,22              | 0,44                                          | I<1                                  |

### 3.4. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton su emme deney sonuçları

Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu su emme deney sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9.** Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu su emme deney sonuçları

| Beton Tipi | Birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> ) | M <sub>1</sub> (g) | M <sub>2</sub> (g) | W <sub>a</sub> (%) | Şartname Limiti (%) |
|------------|------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| PNZ-S      | 1,790                                    | 4066               | 3905               | 4,1                | W <sub>a</sub> ≤6   |
| PNZ-K      | 1,720                                    | 4066               | 3905               | 4,1                | W <sub>a</sub> ≤6   |

Numunelerin karakteristik silindir basınç dayanım değerleri Denklem 9 yardımıyla hesaplandı [33].

$$\sigma_c = 0,525 \times \sqrt{F_{ck}} \quad (9)$$

$\sigma_c$ : Betonun yarmada çekme dayanımı, MPa

$F_{ck}$ : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa

Beton numunelerin eğilme dayanım değerleri Denklem 10 yardımıyla hesaplandı [33].

$$\sigma_e = 0,7 \times \sqrt{F_{ck}} \quad (10)$$

$\sigma_e$ : Betonun eğilme dayanımı, MPa

Standartlara göre balastsız üstyapı karakteristik beton basınç dayanımı minimum 35 MPa olmalıdır [34, 35]. Balastsız üstyapı betonu minimum eğilme dayanımı 5,5 MPa olmalıdır [36]. Balastsız üstyapı reaktif ponza pudra beton basınç ve eğilme dayanımı hesaplama sonuçları Tablo 10’da görülmektedir.

**Tablo 10.** Balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu basınç ve eğilme dayanım sonuçları

| Beton Tipi | Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı (MPa) | Eğilme Dayanımı (MPa) | Şartname Limiti Basınç Dayanımı (MPa) | Şartname Limiti Eğilme Dayanımı (MPa) |
|------------|----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| PNZ-S      | 76,77                                        | 6,13                  | 35                                    | 5,5                                   |
| PNZ-K      | 83,59                                        | 6,40                  | 35                                    | 5,5                                   |

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, ponza tozu atıklarının balastsız demiryolu üstyapı beton üretiminde kullanılabilirliği araştırıldı. Araştırmada, yeni bir demiryolu balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonu oluşturuldu. Sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- PNZ-S betonlarında yapılan deneyler sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 4,6 MPa, Bohme aşınma kaybı 9,3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, donma-çözülme birim alan kütle kaybı 0,37

kg/m<sup>2</sup> ve su emme değeri %4,1 deneysel olarak bulundu. Bulunan değerler şartname limitlerini sağlamaktadır.

- PNZ-S betonlarının basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla 76,77 MPa ve 6,13 MPa olarak hesaplandı. Hesaplanan değerler şartname limitlerini sağlamaktadır.
- Elde edilen bulgular, standart su kürü sonrası elde edilen balastsız ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonunun (PNZ-S) demiryolu balastsız üstyapı betonu olarak kullanılabilirliğini gösterdi.
- PNZ-K betonlarında yapılan deneyler sonucunda, ortalama yarmada çekme dayanımı 4,8 MPa, Bohme aşınma kaybı 11,3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, donma-çözülme birim alan kütle kaybı 0,44 kg/m<sup>2</sup> ve su emme değeri %4,1 olarak bulundu. Bulunan değerler şartname limitlerini sağlamaktadır.
- PNZ-K betonların basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla 83,59 MPa ve 6,40 MPa olarak hesaplandı. Bulunan değerler şartname limitlerini sağlamaktadır.
- Elde edilen bulgular, kombine kür sonrası elde edilen balastsız üstyapı ponza ile üretilmiş reaktif pudra betonunun (PNZ-K) demiryolu balastsız üstyapı betonu olarak kullanılabilirliğini gösterdi.
- Demiryolu balastsız üstyapılarda, PNZ-S betonu yerinde dökme beton olarak uygulanmalıdır. PNZ-K betonu ise kombine kürden dolayı 2 gün 200±3°C ısıtma işlemi gerektirdiğinden, yerinde dökümü mümkün olmayıp prefabrik olarak uygulanmalıdır.

### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde verdikleri destekten dolayı Batman Üniversitesi Rektörü ve çalışanlarına, Vangölü Yapı Kalite Kontrol Laboratuvarı İnş. San. Tic. Ltd. Şti.'e şükranlarımızı sunarız.

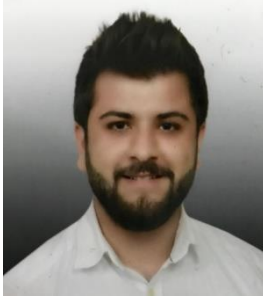
### Kaynakça

- [1] M. Kozak, "Demiryolu balastının ve özelliklerin araştırılması," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 13, pp. 86–96, Ocak 2021, doi: 10.47072/demiryolu.831684.
- [2] E. Kahraman ve N. Yapıcı, "Kurtpınar (Ceyhan) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 16, ss. 14–22, Temmuz 2022, doi: 10.47072/demiryolu.1082366.
- [3] C. Ceylan, "Demiryolu hatlarında balastsız üstyapı kullanılması," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 6, ss. 34–36, Aralık 2017.
- [4] P. E. Gautier, "Slab track: Review of existing systems and optimization potentials including very high speed," *Construction and Building Materials*, vol. 92, pp. 9–15, 2015, doi: /10.1016/j.conbuildmat.2015.03.102.
- [5] C. Shi, Y. Zhou, L. Xu, X. Zhang, and Y. Guo, "A critical review on the vertical stiffness irregularity of railway ballasted track," *Construction and Building Materials*, vol. 400, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132715.
- [6] M. Sol-Sánchez, and G. D'Angelo, "Review of the design and maintenance technologies used to decelerate the deterioration of ballasted railway tracks," *Construction and Building Materials*, vol. 157, pp. 402–415, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.007.
- [7] J. Ren, W. Liu, J. Lai, W. Ye, S. Deng, X. Liu, and B. Tan, "Performance deterioration and structural state diagnosis of slab tracks for high-speed railways: A review," *Engineering Failure Analysis*, vol. 158, 2024, Doi: 10.1016/j.engfailanal.2024.107955.
- [8] X. Zhang, D.J. Thompson, Q. Li, D. Kostovasilis, M.G. Toward, G. Squicciarini, and J. Ryue, "A model of a discretely supported railway track based on a 2.5d finite element approach," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 438, pp. 153–174, 2019, doi: 10.1016/j.jsv.2018.09.026.
- [9] Y. Zhang, L. Gao, Y. Zhong, J. Wang, and Y. Huang, "Interlayer damage evolution of CRTS III slab track under passenger and freight train loads," *Construction and Building Materials*, vol. 436, 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136944.

- [10] X. Y. Zhang, Z. H. Lu, Y. G. Zhao, and C. Q. Li, "Optimum maintenance strategy for CRTS II slab track based on time-dependent system reliability," *Structures*, vol. 50, pp. 387–399, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.02.038.
- [11] M. Su, H. Xie, C. Kang, and S. Li, "Determination of the interfacial properties of longitudinal continuous slab track via a field test and ANN-based approaches," *Engineering Structures*, vol. 246, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113039.
- [12] W. Chen, Y. Zhang, D. Li, Z. Pan, and P. Lou, "Research on crack propagation of CRTS III track slabs under train load," *Engineering Failure Analysis*, vol. 157, 2024, doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107896.
- [13] C. Kang, M. Bode, M. Wenner, and S. Marx, "Experimental and numerical investigations of rail behaviour under compressive force on ballastless track systems," *Engineering Structures*, vol. 197, 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109413.
- [14] C. Kang, S. Schneider, M. Wenner, and S. Marx, "Experimental investigation on the fatigue behaviour of rails in the transverse direction," *Construction and Building Materials*, vol. 272, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121666.
- [15] J. Sun, G. Zhao, J. Han, Y. He, Y. Yao, and H. Guo, "Comprehensive vibration and noise reduction characteristics of particle damping fastener systems using in prefabricated assembled ballastless track," *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 2025, doi:10.1177/14613484251357345.
- [16] J. Tan, M. Koohmishi, G. Jing, S. Kaewunruen, and Y. Guo, "Circular economy applications in railway infrastructure: A comprehensive evidence-based review," *Transportation Geotechnics*, 2025, doi: 10.1016/j.trgeo.2025.101677.
- [17] T. S. Hoshitha, T. C. S. Rao, and S. Ricci, "Performance Evaluation Of Geopolymer Concrete For Railway Superstructure Applications," *Transportation Research Procedia*, Vol. 90, pp. 115-122, 2025, doi: 10.1016/j.trpro.2025.06.040.
- [18] Z. Jin, W. Zhang, Y. Li, and X. Geng, "Numerical studies of ballastless track-embankment vibrations considering track irregularities," *Transportation Geotechnics*, Vol. 51, 2025, doi: 10.1016/j.trgeo.2025.101536.
- [19] I. Robertson, C. Masson, T. Sedran, F. Barresi, J. Caillau, C. Keseljevic, and J. Vanzenberg, "Advantages of a new ballastless trackform," *Construction and Building Materials*, vol. 92, pp. 16–22, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.099.
- [20] R. Zufarihsan, A. Tambusay, P. Suprobo, B. Suryanto, and O. Laghrouche, "Recent developments in high-speed railway in Indonesia: Superstructure construction and track infrastructure," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vo. 31, 2025, doi: 10.1016/j.trip.2025.101385.
- [21] F. Grutzmacher, C. Kang, and S. Marx, "Historical development of ballastless track systems in Germany," *Construction and Building Materials*, Vol. 458, 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139564.
- [22] H. Yazici, M. Y. Yardimci, S. Aydin, and A. S. Karabulut, "Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes," *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 3, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.003.
- [23] U. Gundesli, "A literature review on the use of fly ash, silica fume and blast - furnace slag in concrete and cement as an additive," Master dissertation, Dept. Civil Eng., Cukurova Univ., Adana, Turkey, 1993
- [24] H. Yazici, H. Yigiter, A. S. Karabulut, and B. Baradan, "Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete," *Fuel*, vol. 87, no. 12, 2008, doi: 10.1016/j.fuel.2008.03.005
- [25] H. Yigiter, "The toughness property of high performance concretes," Master dissertation, Dept. Civil Eng., Dokuz Eylul Univ., Izmir, Turkey, 2002
- [26] T. Efe, "Investigation of applicability of Edremit travertine and pumices outcropping north of Van Lake in cement sector," Master dissertation, Dept. Geological Eng., Yuzuncu Yil Univ., Van, Turkey, 2011
- [27] Limak, "Cimento," 2024. [Online]. Available: <https://www.limakcimento.com/urunler-ve-hizmetler/cimento> [Accessed December 31, 2024]
- [28] Iksa, "Beton Katkilari," 2024. [Online]. Available: <http://www.iksa.com.tr/urun.html> [Accessed December 31, 2024]
- [29] F. C. D. Larrard, and T. Sedran, "Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model," *Cement and Concrete Research*, vol. 24, no. 6, 1994, doi: 10.1016/0008-8846(94)90022-1

- [30] M. Ipek, “Effects of pre-setting pressure applied during setting phase to mechanical behaviors of reactive powder concrete,” Ph.D. dissertation, Dept. Civil Eng., Sakarya Univ., Sakarya, Turkey, 2009
- [31] P. Richard, and M. Cheyrezy, “Reactive powder concretes with high ductility and 200–800 MPa compressive strength, concrete technology: past, present and future,” in *Proc. Of V. M. Malhotra Symp*, Zilina, USA, 1994, pp. 507–518
- [32] *Concrete paving blocks-requirements and test methods*, TS 2824 EN 1338/AC, TSE, Ankara, 2006
- [33] *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*, TS 500/T3, TSE, Ankara, 2014
- [34] *Test Method for Railway applications-Track-Concrete sleepers and bearers-Part 1: General requirements*, TS EN 13230-1, TSE, Ankara, 2016.
- [35] F. Yıldızhan, H. E. Yücel, & M. Günel, “Atık tuğla, atık mermer ve PP lif içeren sürdürülebilir ECC'lerin travers ve balastsız üstyapı olarak kullanımının değerlendirilmesi,” *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 22, pp. 132–146, Temmuz 2025, doi: 10.47072/demiryolu.1729747.
- [36] O. Sahin, “Analysis of track stiffness and its effects on railways,” Master dissertation, Dept. Civil Eng., Istanbul Teknik Univ., Istanbul, Turkey, 2011

### Özgeçmiş



#### Furkan KINAY

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2020 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Halen Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda (Ulaştırma) Doktora eğitimine devam etmektedir.  
E-Posta: kinayfurkan@hotmail.com



#### Abdulrezzak BAKIŞ

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1991 yılında mezun oldu. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 1995 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı'nda 2015 yılında doktora eğitimini tamamladı. Halen Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde (Ulaştırma) Doçent olarak çalışmaktadır.  
E-Posta: abdulrezzak.bakis@batman.edu.tr

### Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Furkan KINAY: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama İnceleme. Abdulrezzak BAKIŞ: Görselleştirme, Yazma-orijinal taslak hazırlama İnceleme, Kontrol, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme.