CERTIFICATE
OF PARTICIPATION

Kübra Ekiz Barış

participated at the **3rd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'23)** held on **March 15-18, 2023** and made a presentation (oral) entitled

Yapım ve Yıkım Atıklarının Jeopolimer Malzeme Teknolojisinde Değerlendirilmesi

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Assoc. Prof. Dr. M. Nuri SEYMAN
Head of Organizing Board

The paper has been reviewed, accepted and discussed during the symposium

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

3. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu

3rd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies

ISSRIS'23

Bildiriler Kitabı
Proceedings Book

15-18 Mart 2023
15-18 March 2023

ISBN: 978-605-73639-6-1

3. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu
3rd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies

15-18 Mart 2023/15-18 March 2023

Düzenleme Kurulu/ Organization Committe

Dr. Muhammet Nuri SEYMAN

Dr. Adem DALCALI

Bilim Kurulu/ Scientific Committe

- Dr. Feyzullah TEMURTAŞ
- Dr. Mehmet TEKTAŞ
- Dr. Osman YILDIZ
- Dr. Necmi TAŞPINAR
- Dr. İbrahim DEVELİ
- Dr. Muhammet Nuri SEYMAN
- Dr. Adem DALCALI
- Dr. Lianggui LIU
- Dr. Alexandre Jean Rene SERRES
- Dr. Recep ÇALIN
- Dr. Mahmut BÖYÜKATA
- Dr. Bojana B. LABAN
- Dr. Sandra GERİNGER
- Dr. Mustafa GÜNAY
- Dr. Zitaun CAI
- Dr. Ke-Lin DU
- Dr. Degan ZHANG
- Dr. Jianjun WANG
- Dr. Jue-Sam CHOU
- Dr. Hui CHEN
- Dr. Ahmed Kadhim HUSSEİN
- Dr. Hülya ÇİÇEK
- Dr. Ahmet TOPAL
- Dr. Ziyodulla YUSUPOV
- Dr. Selim ÖNCÜ
- Dr. Osman ÜNLÜ
- Dr. Emre ÇELİK
- Dr. Khairy Abdel-Maksoud ABADA
- Dr. Bing JİANG
- Dr. Sheila Amina BISHOP
- Dr. Abdullah YEŞİL
- Dr. Muharrem PUL
- Dr. Aşır ÖZBEK
- Dr. İsmail ŞAHİN
- Dr. Chia-Huei WU
- Dr. Shinwon KYUNG
- Dr. Shaobo LONG
- Dr. Bülent BÜYÜK
- Dr. Yunkai ZHANG
- Dr. Jestin NORDİN
- Dr. Serhat DUMAN
- Dr. Özgür SELVİ
- Dr. Sinan KOPUZLU
- Dr. M. Hanefi CALP
- Dr. Ning CAI
- Dr. Oye Nathaniel DAVID

- Dr. Neelamadhab PADHY
- Dr. Héctor F. MIGALLON
- Dr. Sasmita MOHAPATRA
- Dr. Harun ÖZBAY
- Dr. Rıdvan KOÇYİĞİT
- Dr. Mevlüt ARSLAN
- Dr. Oğuz Akın DÜZGÜN
- Dr. Ahmet AKKÖSE
- Dr. Mehmet Kerim GÜLLAP
- Dr. Taşkın EROL
- Dr. Kerem ÖZDEMİR
- Dr. Engin DEMİR
- Dr. Hanife DURGUN
- Dr. Şeyda CAN
- Dr. Qingfeng CHEN
- Dr. Tome Awshar MAPOTSE
- Dr. Muhammad Javed ASIF
- Dr. Hayri YAMAN
- Dr. İlyas ÖZER
- Dr. Rachid MASROUR
- Dr. Abhay Nanda SRİVASTVA
- Dr. Hasan ŞAHİN
- Dr. Abdullah ELEN
- Dr. Akif KARAFİL
- Dr. Elammaran JAYAMANI
- Dr. Joselia NEVES
- Dr. Moeketsi LETSEKA
- Dr. Serhat Berat EFE
- Dr. Mesut GÖR
- Dr. Rahim DEHKHARGHANİ
- Dr. Behnaz HASSANSHAHİ
- Dr. Asit Kumar GAIN
- Dr. Vandana ROY
- Dr. Öğr.Üyesi Yuan TIAN
- Dr. Charles Z. LIU
- Dr. Tingting ZHAO
- Dr. Igor Simplice MOKEM FOKOU
- Dr. Yifang WEI
- Dr. Diego Real MAÑEZ
- Dr. Abdul QAYYUM
- Dr. Minh Trong HOANG
- Dr. Radu Emanuil PETRUSE
- Dr. Abdollah Doosti-AREF
- Dr. Mingxiong ZHAO
- Dr. Volodymyr Gennadievich SKOBELEV
- Dr. Mohammed Hassan DIGHIRI
- Dr. Quang Ngoc NGUYEN
- Dr. Kamarulzaman KAMARUDIN
- Dr. Marlon Mauricio Hernandez CELY
- Dr. Maxim A. DULEBENETS
- Dr. Alex Michailovic ASAVIN
- Dr. Farooque Hassan KUMBHAR
- Dr. Serdar AYKUT
- Dr. Cemil OCAK
- Dr. David PORTER
- Dr. Xue BAI
- Dr. Lorretta NTOIMO
- Dr. Rainer BISCHOFF
- Dr. Kirk CHANG
- Dr. Thouqan Saleem MASADEH
- Dr. Norashikin MAHMUD
- Dr. Laura ALHO
- Dr. Ramesh SUBBIAH
- Dr. Rolf MAHLBERG
- Dr. Aldo OLIVEIRA
- Dr. Ningna ZHOU
- Dr. Yohei YAMADA
- Dr. Khaled J. HABIB
- Dr. Ramoshweu Solomon LEBELO
- Dr. Khuram ALI
- Dr. Nikita GOLUBEV
- Dr. Erica DIANI
- Dr. Rajiv JANARDHANAN
- Dr. Qinghe MENG
- Dr. Berna KÖKTÜRK DALCALI
- Dr. Cennet GÖLOĞLU DEMİR
- Dr. Meng GAO
- Dr. Junfeng WANG
- Dr. Achmad Fachruddin SYAH
- Dr. Anan ZHANG
- Dr. John Manyimadin KUSIMI
- Dr. Alcides Nobrega SIAL
- Dr. Ezzedine SAÏDİ
- Dr. Ramesh Man TULADHAR
- Dr. Mohamed M. OMRAN
- Dr. Qingquan LIU
- Dr. Luigi COPPOLA
- Dr. Brian GUO
- Dr. Li ZHANG
- Dr. Mahmut ÜNVER
- Dr. Honghong WU
- Dr. Aderson Martins Viana NETO
- Dr. Jamal NOURİNEZHAD
- Dr. Osman ÇAMLIBEL
- Dr. Yuying QIAO
- Dr. Yonghong YAO
- Dr. Ümit YIRTICI
- Dr. Ismail Gabulla ISMAILOV
- Dr. Artur PORTELA
- Dr. Hisam AHYANI
- Dr. Ali Mohammed QAID
- Dr. Aykut DİKER
- Dr. Rüstem YILMAZEL
- Ramazan Ülkü ÇETİN
- Zeynep KİLCİ
- Merve Begüm NARLI
- Nilay KORKMAZ

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

3. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu

3rd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies

ISSRIS'23

Bildiriler Kitabı
Proceedings Book

15-18 Mart 2023
15-18 March 2023

ISBN: 978-605-73639-6-1

BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS BOOK

3. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu
3rd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies

15-18 Mart 2023/15-18 March 2023

3. ULUSLARARASI BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR SEMPOZYUMU
3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATIVE STUDIES

15-18 MART 2023/15-18 MARCH 2023

ISBN: 978-605-73639-6-1

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Lenfoma (Diffüz Büyük B Hücre Tipli) Tanılı Bireyin Henderson Hemşirelik Kuramı'na Göre Değerlendirilmesi: Olgu Sunumu 1

Obezite ve Kanser Arasındaki İlişkiler 13

Kamusallığın Yeni Mekansal Araçları 19

Bir Derleme: Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Geliştirilen MAC Protokolleri 29

Protein Ağırlıklı Beslenme Sosyobilimsel Konusuyla İlgili OBYM Ders Planının Geliştirilmesi ve Uygulanması 35

Pamuk/Poliester Karışımı Kumaşlar İçin Poliesterin Boya Banyosunda Pamuğun Ağartılması 39

Kanal İstanbul ve İçme Suyu Havzaları'nın Etkileşimi: Terkos Havzası İncelemesi 50

Yalan Haberle Mücadele Yolları ve Etik Temellendirme 62

Identifying the Problems Associated with the Implementation of the ICT Subject in Pre-University Education 77

Dünden Bugüne Tanzimat Fermanı 85

Analysis of Two Political Speeches With Special Considaration of Metaphors 94

Scalable Asset Inventory Crawler - KHIPU 104

Monte Carlo Analysis of the Impact of Metallic Biomaterials Used in Medicine on Radiation Dose 110

A New HPLC Method For Determination of Some Antifungal Drugs 115

Sürfaktanların ve Çözücülerin Hekzagonal Bor Nitrürün Tabakalarına Ayrılmasına Etkisi 120

Reflective Teacher and Reflective Student Paradigms in The Contemporary Education System 131

JayaX Algoritmasında Kullanılan Değişim Oranı Değerinin Kafes Sistem Optimizasyonu Üzerinden Araştırılması 139

Kafes Kemer Çatı Kirişlerinin Basitleştirilmiş Karınca Koloni Algoritması ile Şekil ve Boyut Optimizasyonu 147

Yetişkin Hemofilik Bireylerde Sağlık ile İlişkili Yaşam Kalitesinin Gözden Geçirilmesi 155

Yeni Dünya Düzeninde Siber Saldırılar: Bir Siber Saldırı Senaryosu 161

İstanbul'un Çiçek Hastalığı ile Mücadelesi 171

Real Estate Price Prediction Using Machine Learning Combined with Feature Selection 184

Yenilenebilir Kaynaklarla Elektrik Üretiminde Güç Yönetim Sistemi Tasarımı 192

İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan, Eklemeli İmalata Uygun Bir Yakıt Eşanjörünün Tasarımı için Deneysel ve Nümerik Metot Geliştirilmesi 204

Geçmişten Günümüze Veri Madenciliğinin Farklı Sektörlerde Kullanımı 219

Kazanım Temelli Dijital Oyunların Okul Öncesi Sınıf Yönetimine Etkisinin İncelenmesi 224

1858 Tarihli Osmanlı Ceza Kanununda Kasten Öldürmeye Teşebbüs Suçu ve Cezası: Prizren Sancağı'ndaki Bazı Davalar Üzerine Bir İnceleme 230

Wettability and Biodegradation Analysis of PCL Nanofiber Conjugated with QK Peptide 243

Makine Tasarımlarında Kullanılan Malzeme İndislerinin İncelenmesi 250

Prediction of the Solar Radiation by using Machine Learning Algorithms 258

Bataryaların ve Batarya Soğutma Tekniklerinin İncelenmesi 269

Tuning of the PID Controller Parameters based on the Time Specifications via Improved-GWO Algorithm for Buck Converter 279

Türkiye ve Dünya'da Dijital Hizmet Vergisi ve Değerlendirilmesi 288

Mutluluk Ekonomisinin Oluşturulmasında Kamu Bütçesinin Rolü ve Önemi 298

Corank 2 Singularities of Planar 3-PRR Parallel Robots 306

Okul Öncesi Eğitimde İnce Kas Becerileri Gelişmemiş Çocukların Haptik Kol ile Eğitsel Oyun Kullanımı 315

Kanser Tedavisinde Bakteriyoterapötik Yaklaşım 326

Elections and Stock Returns: Evidence from Borsa Istanbul 336

Tekstil Sektöründe Makine Öğrenmesi Temelli Kestirimci Bakım Uygulanması 346

Hastalıkların, İlaçların ve Kozmetik Ürünlerinin Parmak İzi Gelişim Düzeyine Etkileri 354

Yapım ve Yıkım Atıklarının Jeopolimer Malzeme Teknolojisinde Değerlendirilmesi 372

A Review on the Development of Glass Technology in the Last 20 Years 388

A Review of Glass Printing Techniques, History and Future 398

Cryptocurrency Sentiment Analysis using Automatically Labeled Dataset 406

M-219 Transonik Kavite Akışının Türbülans Modeli ve Ağ Yapısı Yönünden Aeroakustik İncelenmesi 417

Measuring Driver Sleepless Level with Machine Learning for Traffic Safety 430

Magnetic Bearing Jet Engine Design 436

Mobilya Tasarımlarının Renk Uyumu Açısından Değerlendirilmesini Sağlayan Bilgisayar Destekli Bir Yaklaşım 442

Yapısal Hafif Betonların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi 450

Automatic Amazon Customer Review Classification Using Word2Vec and Machine Learning Algorithms 460

Analysis of Cylindrical Superconducting Magnetic Gear System based on h-Formulation 466

Kadın İstihdamını Artırmada Uzaktan Çalışmanın Rolü ve COVID-19 Tecrübesi 473

Ankastre Elektrikli Ocaklarda Kullanılan Elektronik Kart Sabitleme Ayakları İçin Farklı İki Tasarımın Mekanik Analizi.....484

Image Quality Assessment of High-Frequency Ultrasonic Facial Skin Images by BiT Method 489

Hekim ve Hemşirelerin Manevi/Dini İçerikli Sağlık Müdahalelerine İlişkin Görüşleri 497

Mevcut Konteyner (Yük) Limanlarının Potansiyel Deniz Üstü Rüzgar Enerji Sistemlerine CBS-BAHP Metodu ile Hizmet Edilebilirlik Analizi: Güney Marmara Çalışma Alanı 504

Dalgacık Tabanlı Optimize Edilmiş K-En Yakın Komşular Ve Aşırı Gradyan Artırma Algoritmaları İle Yüzey Buharlaşmasının Modellenmesi: Meteorolojik Girdi Kombinasyonlarının Değerlendirilmesi.....506

Meteorolojik Parametrelerin Akış Tahminine Etkisinin Veri Madenciliği Teknikleri Kullanılarak Değerlendirilmesi: Munzur Nehri Vaka Çalışması 508

Farklı Teorik Modeller Yardımıyla Nükleer Reaksiyonların Tesir Kesiti Analizi 510

Pandemi Döneminde Teknoloji Bağımlılıkları ve Sanal Bulaşı 512

Yem Bitkilerinin Kraliçesi.....514

Öğretmen Adaylarının Arttırılmış Gerçeklik Temelli Okuma Ortamlarına Yönelik Görüşlerinin İncelenmesi 518

4. Sınıf Öğrencilerinin Sosyal Bilgiler Dersindeki Temel Kavramları Anlama Düzeyleri ve Kavram Yanılgıları.....520

Leylâ Hanim'in Rubailerinde "Mevlânâ" 522

Vücut Ağırlığı Denetimi ve Obezite Tedavisi.....524

V-Şekilli Mikrohavza ve Teraslarda Yapraklı Ağaç Fidanlarının Büyüme Performansı.....526

Potasyum İyonunun İşitme Üzerindeki Etkileri.....528

Otomotiv Endüstrisinde Ana Üretim Çizelgeleme Problemleri üzerine bir Literatür Araştırması 530

$Sm_2Ru_3Sn_5$ Bileşiğinin Kuramsal İncelenmesi 532

Konutlarda Farklı Yalıtım Malzemeleri ve Kalınlıkları için Maliyet Optimum Enerji Verimliliği Seviyesinin Hesaplanması: Bursa Örneği 533

Laboratuvar Etkinliklerinde Kullanılan Farklı Öğretim Yöntem Ve Tekniklerinin Öğretmen Adaylarının Bilimsel Süreç Becerilerinin Gelişimine Olan Etkisi.....535

Cilt Kanserine Karşı Aşı Formülasyonunun Geliştirilmesi 537

HeLa Hücreleri Kullanılarak Rahim Ağzı Kanserine Karşı Aşı Formülasyonunun Geliştirilmesi.....539

Sodyum Borohidrür Elektrooksidasyonu İçin Geliştirilmiş Karbon Nanotüp Destekli Monometalik Katalizörler.....541

Geliştirilen Bir Derin Öğrenme Modeli ile Akıllı Tarım Uygulaması 543

Kültürel Entegrasyon, Sosyal Medya ve Sosyal Penetrasyon Modeli 545

Correlation of Accuracy and Load Factor for Performance Measurement of Industrial Robot.....547

Elit Olan ve Elit Olmayan Masa Tenisi Oyuncularından Görsel ve İşitsel Reaksiyon Zamanına Etkisinin Karşılaştırması 548

İnşaat Sektöründe Ölümlü İş Kazalarının Proje Maliyetine Etkisi 550

Batı Karadeniz Bölgesi'nde Gömülü Maksiller Kanin Dişlerin Maloklüzyonla İlişkisinin İncelenmesi: Retrospektif Çalışma.....552

Implementing Nature-Based Solutions for the Mitigation of Greenhouse Gases from Wastewater Treatment Plants.....554

Herbal Macerates as Alternative to Nasal Decongestants: Effect of Some Plant Oils on the Livid Nasal Mucosa 556

Valorization of Waste Potato Peel Biomass in the Purification of Phenol-Contaminated Waters.....558

Antioxidant and Antimicrobial Activity of Black Pepper (Piper nigrum L.) Oleoresin.....560

Türkiye'nin Bazı Büyük Şehirlerindeki Mevcut Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi 561

Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Kullanılması ile Uçak İtki Değerinin Tahmin Edilmesi.....563

Beslenme Okuryazarlığı 565

SnO_2 kaplı TiO_2 Heteroyapıların Fotovoltaik Özelliklere Etkisi.....567

Yeşil Finans Kapsamında Yeşil Tahvillerin Önemi.....569

Termal Su İçi Egzersizlerinin Bel Ağrısı Üzerine Etkileri.....571

Uzay Uydularında Kullanılan Li-Ion Batarya Gereksinimleri 573

Uluslararası Uçuşlar için Yakıt ve Emisyon Analizi 575

TiO_2 kaplı ZnO Heteroyapıların Fotovoltaik Uygulamalarda İncelenmesi.....577

Sertlik Gideriminde Yenilikçi Bir Yaklaşım: Elektrokimyasal Arıtım 579

Fenolik Bileşiklerin Arıtımına Elektrokimyasal Bir Bakış.....581

The Magnificent Seven (1960, 2016) Filmlerinin Politik Doğruluk Bağlamında Karşılaştırmalı Analizi 583

Kant Düşüncesinde Küreselden Yerele Ahlâk, Siyaset ve Adalet İlişkisi 585

Sağlık Çalışanlarında Sağlık Okuryazarlık Düzeyinin Belirlenmesi Bursa İli Özel Hastaneler Örneği 587

Kanser Tedavisinde Naringenin Yüklü Polimerik Nanopartiküller 589

Sürdürülebilir Rekabet Avantajı Sağlamak için Bir Strateji: Bilinçli Farkındalık 591

Türkiye'de Tarım Sigortaları Uygulamaları, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri 593

Yeme Tutumu ve Yeme Bozuklukları.....595

Heterojen Katalizör Kullanılarak Biyodizel Üretim Sürecinin Simülasyonu.....597

İşletmelerde Dijital Olgunluk ve Strateji.....599

Fransız Elçisinin Kabul Görmeyen Eşi: Anne Duvivier, Comtesse De Vergennes.....601

Hepatoselüler Karsinoma Hücre Hatlarında CENPA.....603

İnmeli Bireylerde Dansla Tedavinin Etkileri Üzerine Bir Çalışma 606

Spesifik Olmayan Dirsek Ağrısında Tetik Noktanın Ağrı Şiddeti, Fonksiyon ve Kavrama Kuvvetine Etkisi.....608

Çelik Paletli Yürüyüş Sistemi Zincir Baklasının Yapısal Analizi.....610

Sosyal Bilgiler Eğitimi Bakımından Akademik Ahlak: Sosyal Bilgiler Eğitimcilerinin Görüşleri.....612

Havayolu Verimliliklerinin Karşılaştırılması: Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik 615

Covid-19 Survivor Conversations: Let the Experience Speak.....617

Turn-taking in Unstructured Peer Talk in L2 618

Tezkire Yazarının Penceresinden ''Selîs/Selaset'' Kavramı.....619

Depresyonlu Kadınlarda Yüz Yüze İle Çevrim İçi Bilişsel Davranışçı Terapinin Karşılaştırılması 621

Matematik Sembol Bilgisi ve Kullanımı 623

Dikkat Tabanlı Klasifikasyon Modelleri İle Multispektral Uydu Görsellerinin Tarımsal Olarak İncelenmesi 625

Konut Fiyatları ve Alternatif Finansman Önerisi: Maliye Politikası Bir Çözüm mü? 627

Tip 1 Diyabetli Çocuklarda Fiziksel Aktivite.....629

Gıda Güvencesi Kavramına Genel Bir Bakış 631

Kavuzsuz Arpa ve Yulaf ile Zenginleştirmenin Ekmeğin Bazı Beslenme ve Ürün Özellikleri Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi 633

Vakum Hattı Gövde Modüller Çerçeve Kalıp Tasarımı Ve Antişok (Hips) Hammadde Kullanımının Azaltılması 636

Güzelçamlı Plajı (Kuşadası/Aydın)'nın Mikroplastik Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi.....638

Akciğer ve Kolon Kanseri Hücreleri Üzerinde Yeni Sentezlenen Benzimidazol-Hidrazon Türevi Bileşiklerin Antiproliferatif ve Apoptotik Etkinliğinin Araştırılması.....640

Davutlar Sahili (Davutlar/Aydın)'nin Mikroplastik Kirliliği.....642

Koagülasyon/Flokülasyon Prosesi ile Otomotiv Endüstrisi Atıksuyunun Fizikokimyasal Arıtımı: Ön Çalışma....644

Dijital Röntgen Sistemlerinde X-Işın Parametreleri ve Sistem Bileşenlerinin Görüntü Kalitesi ve Hasta Maruz Kalma Dozuna Etkileri.....646

İkili Münavebe Koşullarında Farklı Azot Uygulamalarının Genotiplerin Verimi Ve Proteini Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....648

Dijital Halkla İlişkilerde Ölçümleme Aracı Olarak Duygu Analizi.....650

Kompozit Malzemelere Genel Bir Bakış.....652

Implementation Of an Ergonomics Program for The Reduction of Postural Risk Reduction in Office Workers of a Property Security Company.....654

Investigating the Barriers to Artificial Intelligence Adoption in Building Construction Projects.....656

Rüzgar Türbin Kanat Atıkları İçin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle En Uygun Bertaraf Metodu Belirlenmesi: Bandırma Örneği.....658

Hegzagonal Bor Nitrür Sentezi Üzerine Farklı Isıl İşlem Sıcaklık ve Sürelerinin Etkisi.....660

Çöküntü Alanları Üzerinde Uygulanan Kentsel Dönüşüm Projelerinin İncelenmesi; Fikirtepe, Sulukule,Tarlabaşı Örneği.....662

Doğal Sit Alani Gürün Gökpinar Gölü'nün Koruma Ve Kullanmasinin Uluslararasi Ve Ulusal Çerçevede İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi.....664

Socio-economic Evaluation of Settlements with Machine Learning Approaches: The Case Study of Istanbul.....666

İstanbul'da Kentsel Dönüşüm: Tozkoparan Mahallesi.....667

Gelişmiş Sabit Biyofilm Aktif Çamur Prosesi ile Nütriyent Giderimi.....669

Ağrısız Dokunsal Uyaranlara Karşı Oluşan Zaman Algısı: Ön Bulgular.....672

Çocuk Gelişimi Programındaki Öğrencilerin Okul Öncesi Eğitimde Drama Dersine Karşı Tutumlarının İncelenmesi.....674

The Effect of Victorian London and The Social Climate in Victorian Literature.....676

Avrupa Birliği Çevre Politikaları Bağlamında Döngüsel Ekonomi ve Türkiye'de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi.....678

Graphene Plasmonic Dual-Band Antenna 680

Removal of Oxytetracycline Hydrochloride from Aqueous Solutions by Using Supramolecular Photocatalysts 682

Dijital Çağda Enformasyon Kapitalizmi ve Veri Madenciliği 683

Bisiklet Paylaşım Sistemlerinin İncelenmesi: Üniversite Kampüs Örneği 685

Treatment Of Laundry Wastewater of Domestic Origin by The Method of By the Electrocoagulation Method 687

Yeni Nesil Poli(akrilikasit) Temelli kompozit Elektrotların Hazırlanması ve Süperkapasitör Uygulamaları 688

Üniversite Öğrencilerinde Sosyal Medya Bağımlılığının Uyku Kalitesi Ve Anksiyete Düzeylerinin İlişkisinin İncelenmesi 690

Türkiye'de Vergi Harcaması Uygulamalarının Vergiye Uyum, Vergi Adaleti ve Gelir Dağılımı Olguları Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi 692

İşletmelerde Yalın Yönetim Uygulamalarının Çalışanların Performansına ve Örgütsel Değişim Direncine Etkisi 694

Özel Yetenekliler Eğitiminde Öğretmen ve Yöneticiler İçin Hayat Boyu Öğrenme Ölçeğinin Geliştirilmesi: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması 696

Termal Otel İşletmelerinde İş Güvenliği Kültürü 698

The Mediating Role of Green Information Systems in The Relationship Between Green Supplier-Customer Knowledge and Organizational Green Performance: An Empirical Analysis in The Textile Industry 700

ZnO tohumlama tabakasının CdS ve MgZnO/CdS İnce Filmleri Üzerine Etkisi 702

Üniversite Öğrencilerinin Metaverse (Sanal Evren) Bilgi Düzeyleri: Batman Üniversitesi Örneği 704

Velilerin Okul İklimi Ve Aile Katılımı Algısının Çocuklarının Öğrenim Kademelerine Göre İncelenmesi 706

Kültür Ekonomisi Bağlamında Balıkesir'de Kolonya ve Kolonyacılık 708

On The Innovation Context in The Developing World 710

Hikâye Temelli Etkinliklerin 60-72 Aylık Çocukların Duygu Düzenleme Becerilerine Etkisi 712

Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü Öğrencilerinin Bilimsel Araştırma Yapmaya Yönelik Tutumlarının ve Kaygı Düzeylerinin İncelenmesi 714

Afet Haberciliği Bağlamında Kahramanmaraş Depremi Haberlerinin Eleştirel Söylem Çözümlemesi: sabah.com.tr ve sozcu.com.tr Örneği 718

Afet Bağlantılı Akıllı Şehirler 720

Bir Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İçin Çeşitli Bulanık Matematiksel Programlama Yaklaşımlarının Karşılaştırılması 722

Complex Network-Based Link Prediction in Computer Science Publications in Iraq 724

Geriye Yürüme Eğitiminin Multipl Skleroz Hastalarında Denge ve Yürüme Üzerine Etkileri 726

Diğer Kapsamlı Gelir Unsurları ve Muhasebeleştirilmesi 728

Investigating the Drivers and Barriers of Dams based on Environmental and Economic Aspects Using the AHP 730

Ters Akışlı İç İçe Borulu Isı Değiştiricide Bakır Oksit/Su Nano Akışkanın Hidrodinamik ve Isı Transfer Karakteristiklerinin İncelenmesi 732

Akran Zorbalığının Ergenlerde Psikososyal Gelişime Etkisi 734

Karadeniz Bölgesindeki Liman Devleti Denetimlerinde Kirlilik Önleme Kaynaklı Eksiklik Kategorilerinin İncelenmesi 736

Farklı Pirol Türevleri ve Politiyofen Kullanılarak Kalem Ucu Grafit Elektrot Yüzeyine Elektrokimyasal Yöntemle Sentezlenen Kompozit Elektrot Malzemelerinin Süperkapasitör Performanslarının İncelenmesi 738

Nikel Köpük Üzerine PEDOT-(NiOH)2 Kompozit Elektrotların Tek Basamakta Hidrotermal Sentezi ve Süperkapasitör Uygulamaları 740

The Relationship Between Value Perceptions and Attitudes to Nursing Profession of Individuals from Different Generations: Istanbul Sample 742

Oran Haritası Gösterimine Dayalı Derin Öğrenme ile Aksan Tanıma 743

Mimari Tasarım Stüdyosunda Müşterek Mekân Tartışması 745

Yapım ve Yıkım Atıklarının Jeopolimer Malzeme Teknolojisinde Değerlendirilmesi

Evaluation of Construction and Demolition Wastes in Geopolymer Materials Technology

Kübra Ekiz Barış[1], Rukiye Tüter[*,2], Cansel Özkan[3], Leyla Tanaçan[3]

[*]: tuter18@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5220-1694
[1]: *Mimarlık ve Tasarım Fakültesi/ Mimarlık Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye*
[2]: *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*
[3]: *Mimarlık Fakültesi/ Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*

Özet: Jeopolimer malzemeler, önemli ölçüde enerji tüketimine ve CO_2 emisyonlarına neden olan çimentoya alternatif bir bağlayıcı malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikleri, üretim koşulları ve endüstriyel ölçekte üretim faaliyetleri yıllardır geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu araştırmada binalarda kullanılan beton, pişmiş kil malzemeler ve cam gibi inorganik yapım atıklarının geri dönüştürülerek jeopolimer bağlayıcı bileşen olarak kullanılma olanakları araştırılmaktadır. Araştırma sonucunda beton, pişmiş kil ve cam esaslı yapım ve yıkım atıklarının jeopolimer malzemelerin üretiminde alüminosilikat kaynağı olarak kullanılması açısından başarılı olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu atıkların alüminosilikat kaynağı olarak kullanılabilmesi için öğütme ve toz haline getirme dışında ilave bir enerji tüketimi yoktur, bu da üretimden kaynaklanan enerji miktarının ve dolayısıyla CO_2 emisyonlarının azalmasına katkı sağlar. Ayrıca bu atıklar çeşitli dane boyutlarına ayrılarak agrega olarak kullanılabilmekte ve böylece doğal agrega kullanımının önüne geçilmektedir. Pişmiş kil atıklarındaki yüksek Al_2O_3 miktarı ısıya karşı direnci artırdığından, yüksek sıcaklık yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir; yüksek miktarda SiO_2 ve alkali içeren atık cam, yüksek üretim ısısı gerektiren sodyum silikat yerine alkali aktivatör olarak kullanılma olanağı sunmaktadır. Beton esaslı atığın düşük aktivitesi ve yüksek kalsiyum içeriği nedeniyle sodyum silikat içeriğindeki artış, jeopolimerlerin basınç dayanımı gelişimi üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir. Bu atıkların jeopolimer bağlayıcı üretiminde değerlendirilmesi ile yüksek enerji tüketimi, maliyet ve çevreye olan nispeten olumsuz etkileri azaltılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Jeopolimer, Yapım ve yıkım atığı (YYA), Seramik kökenli yapı malzemesi atığı.*

Abstract: Geopolymer materials emerge as an alternative binding material to cement which causes significant energy consumption and CO_2 emissions. Their properties, production conditions and industrial-scale production activities have been tried to be developed for years. In this research, the possibilities of using inorganic construction wastes such as concrete, fired clay materials and glass used in buildings by recycling as geopolymer binder component are investigated. As a result of the research, it has been determined that concrete, fired clay and glass-based construction and demolition wastes are successful in terms of being used as an aluminosilicate source in the production of geopolymer materials. In order for the said wastes to be used as an aluminosilicate source, there is no additional energy consumption other than grinding and pulverizing, which contributes to the reduction of the amount of energy resulting

from production and due CO_2 emissions. In addition, these wastes can be broken into various grain sizes and used as aggregate, thus preventing the use of natural aggregates. As high amount of Al_2O_3 in fired clay wastes increase resistance against heat, it can be used as a high temperature insulation material; waste glass containing high amounts of SiO_2 and alkali, offers the opportunity to be used as an alkali activator instead of sodium silicate, which requires high production heat. The increase in sodium silicate content due to the low activity and high calcium content of concrete-based waste has a significant positive effect on the compressive strength development of geopolymers. By evaluating these wastes in the production of geopolymer binders, high energy consumption, cost and relatively negative effects on the environment can be reduced.

Keywords: *Geopolymer, Construction and demolision waste (CDW), Ceramic based building materials waste.*

I. GİRİŞ

Kasım 2022 yılında Mısır'da gerçekleştirilen COP 27'de ülkeler, küresel ısınmayı sanayi öncesi seviyelere kıyasla 1.5°C altında tutmaya paralel olarak karbon emisyonlarını azaltma taahhütlerini teyit etmişlerdir. Buna göre pek çok ülke karbon salımlarını %25 azaltarak sıfır-karbon ya da karbon-nötr üzerine çözüm üretmeye çalışırken, 2030 yılıyla sektörlerden, küresel salımın %70'ine karşılık gelecek sıfır karbon salımı çözümleri beklenmektedir. 1990-2020 dönemi için ulusal sera gazı (GHG) emisyonu/tahliye tahminlerini içeren Ulusal Envanter Raporu (NIR), Türkiye'nin 2020 yılı için GHG emisyonlarının 523.9 Mt CO_2 eq. (LULUCF-arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği ve ormancılık hariç) olduğunu ve bunun %70.2'sini enerji sektörünün, %14'ünü tarımın, %12.7'sini endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı (ESÜK) sektörünün, %3.1'ni atık sektörünün oluşturduğunu belirtmektedir [1]. ESÜK kapsamında 2020 yılında çimento, kireç, demir/çelik ve diğer kireç kullanan endüstri faaliyetleri ile ozon tabakasını incelten maddelere alternatif olan PFC ve HFC kullanan ürünlerden çıkan CO_2 salımları özellikle kilit önem taşımaktadır. Yapı malzemelerinin ve binaların toplam karbon salımını azaltmak yönünde benimsenen *"Engelle, dönüştür ve iyileştir"* stratejisi döngüsel üretim ve tüketim kalıplarını dikkate alan yaklaşımla daha az, daha düşük karbonlu malzemeyle, daha uzun ömürlü, kaliteli bina tasarımını; yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesinde polimer, beton, çelik gibi yüksek enerji ve karbon içeriğine sahip geleneksel malzemelerin salımlarının azaltılmasını; ve mevcut bileşenlerin yeniden iyileştirilerek kullanılmasını önermektedir [2]. Karbon salımının azaltılması küresel iklim değişikliği ile mücadele için önemli bir parametre gibi gözükmesine rağmen dünyada eskiyen altyapının sürdürülebilirliği de önemle üzerinde durulan bir konudur. Dünyada üretilen katı atığın %25-30 oranını yapım atığı oluşturmaktadır [3]. Öte yandan, ülkemiz gibi deprem riski olan bölgelerde deprem kuvvetlerine karşı gerek uygun olmayan tasarımdan kaynaklanan gerek riskin olağan dışı seviyelere ulaşmasıyla oluşan yıkım kaynaklı oluşan molozun bu çerçevede ele alınarak yeniden değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Nitekim, 6 Şubat 2023 tarihinde yaşadığımız Kahramanmaraş ve Hatay merkezli deprem afeti ile ilgili olarak İstanbul Teknik Üniversitesi'nin hazırladığı ön inceleme raporuna göre toplam deprem atıkları miktarının ~50 milyon ton ile ~110 milyon ton aralığında olacağı öngörülmüştür. Bu atıklar için kısa vadede gerekli geçici ve nihai depolama alanı ihtiyacı kadar, orta ve uzun vadede yapıya tekrar yapı malzemesi olarak geri kazandırılması yukarıda verilen gerekçelere dayanarak bir gereklilik olarak görünmektedir.

Dünya genelindeki CO_2 emisyonlarının yaklaşık %7'sinin çimento endüstrisinden kaynaklandığı bilinmektedir [4]. Ayrıca, 2030 yılına kadar küresel ölçekte çimento talebinin %216 artması beklenmektedir [5]. Bundan dolayı, uzun yıllardır dünya genelinde kaynak ve enerji-etkin, daha az CO_2 salımına yol açan ve çimentoya alternatif bağlayıcı malzeme üretimine yönelik araştırmalar sürmektedir. Alkali aktive edilmiş malzemeler; bileşiminde

çimento bulunmaması, amorf silis ve alümin içeren herhangi bir alüminosilikat hammaddeden üretilebilmesi, üretim sırasında yüksek sıcaklıklarda uygulanan kalsinasyon işlemi gerektirmemesi ve ortam koşullarında veya nispeten yüksek sıcaklıklarda (60-90°C) sertleşebilmesi gibi olumlu özelliklerinden dolayı çimentonun kaynak ve enerji-etkin alternatiflerinden biri olarak kabul edilmektedir.

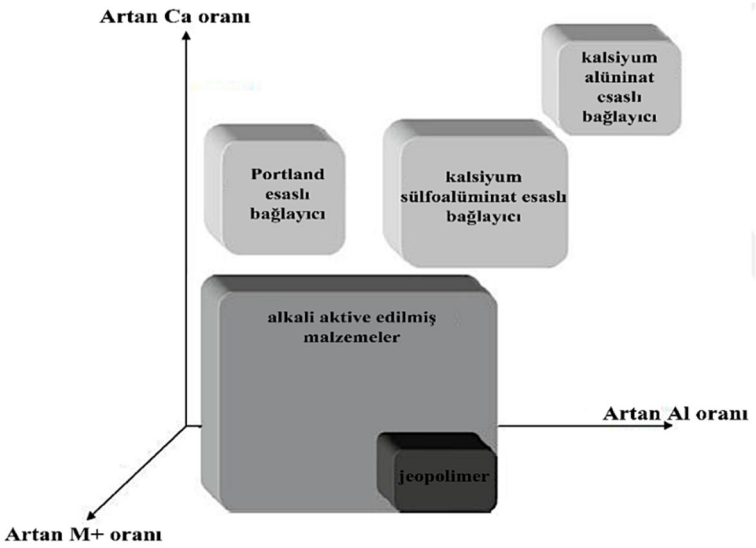
Alkali aktive edilmiş malzemelerin üretiminde alkali aktivatör olarak yüksek konsantrasyonlu alkali hidroksit ya da alkali silikat çözeltileri kullanılmaktadır. Alüminosilikat kaynağı olarak ise çeşitli doğal malzemeler, tarımsal, endüstriyel ve kentsel atık malzemeler kullanılabilmektedir [6]. Özellikle gelişmekte olan ve ekonomik olarak mücadele eden ülkelerde sağlık, ekonomi ve çevre açısından olumsuz etkilere sahip yapım ve yıkım atıkları ile başa çıkmak için yenilikçi ve etkili yolların geliştirilmesi gerekmektedir. Yapım ve yıkım atıklarının jeopolimer üretiminde alüminosilikat kaynağı olarak yeniden kullanılması, çimentonun ekolojik etkilerini azaltmak için sürdürülebilir çözümler sunabilmektedir [7].

Bu araştırmada, binalarda yaygın olarak taşıyıcı/koruyucu sistemde ve bölücü elemanlarda kullanılan seramik kökenli farklı türde malzemeyi oluşturan beton, pişmiş toprak, cam gibi inorganik yapım atıklarının jeopolimer bağlayıcı bileşeni olarak geri dönüştürülerek kullanılması olanakları araştırılmaktadır. Konu, bu farklı malzeme kökenindeki atıkların jeopolimer bağlayıcı oluşumunda yer alırken birlikte kullanılan diğer alüminasilikat öncülleri, alkali tipi ve amaçlanan jeopolimer yapı malzemesi olarak başarımı açısından analiz edilerek değerlendirilmektedir.

II. JEOPOLİMERLERDE REAKSİYON MEKANİZMASI

Çimento içermeyen alkali aktive edilmiş malzemeler, amorf ya da camsı alüminosilikat kaynağının çeşitli alkali aktivatörler ile reaksiyonu sonucunda elde edilmektedir [8]. Bu malzemeler, yüksek basınç dayanımı sağlama, basınç dayanımını erken dönemde kazanma (4 saat içinde nihai basınç dayanımının % 70'ine ulaşabilme) ve 1200 °C sıcaklıklara kadar ısıl kararlılığa sahip olabilme, yani yangına dayanıklılık, gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca, bu malzemelerin üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonu çimento üretiminden kaynaklanan emisyona nazaran % 60-80 daha düşüktür [9].

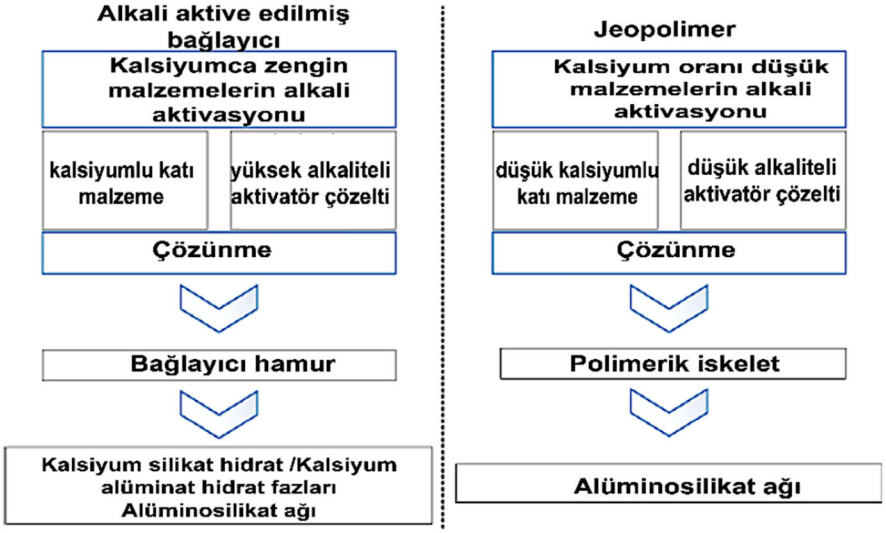
Literatürde "alkali-aktive edilmiş malzeme" terimine ilave olarak "jeopolimer" terimiyle de karşılaşılmaktadır. Alkali kimyasallarla aktive edilen malzemeler, kullanılan alüminosilikat kaynağının kalsiyum içeriğine göre düşük ve yüksek kalsiyumlu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 1). Kalsiyum bakımından zengin alüminosilikat kaynaklarının (örn. yüksek fırın cürufu veya C tipi uçucu kül) alkali aktivasyonu sonucunda üretilen bağlayıcı "*alkali-aktive edilmiş malzeme*" olarak tanımlanmaktadır. Diğer yandan, kalsiyum oranı düşük malzemelerin (örn. metakaolin, F tipi uçucu kül, çeşitli doğal puzolanlar) alkaliler ile reaksiyonu sonucunda oluşan ürün "*jeopolimer*" olarak adlandırılmaktadır. Yüksek alüminyum (Al) ve düşük kalsiyum (Ca) oranlarıyla jeopolimerler, alkali aktive edilmiş malzemelerin bir alt kümesi olarak tanımlanmaktadır [10].



Şekil 1. Alkali aktive edilmiş malzemeler ve jeopolimerlerin M (alkali metaller), alüminyum ve kalsium bileşenine bağlı olarak içerikleri [10].

Yüksek kalsiyumlu ve düşük kalsiyumlu olmak üzere iki farklı gruba ayrılan alkali bağlayıcı ve jeopolimer malzemelerin reaksiyon mekanizması çözünme - topaklaşma (jelleşme) - yoğunlaşma (polikondansasyon) aşamalarından oluşmaktadır. İlk aşama, yüksek pH derecesine sahip alkali çözeltinin, alüminosilikat kaynağındaki kovalent bağlı Si–O–Si ve Al–O–Si gruplarını çözmesiyle başlamaktadır ve çözünen bu gruplar kolloid bir faza dönüşmektedir. Bu aşamada, aktivatör olarak kullanılan alkali silikat ya da hidroksitler, matrise K^+ ya da Na^+ gibi pozitif yüklü iyonlar sağlayarak karışımın negatif yüklü iyonlarını nötralize etmektedir [11]. Daha sonra, çözünmüş ürünler birbirleriyle etkileşime geçerek topaklaşmış bir yapı oluşturmakta ve monomerlerin birbiriyle birleşmesiyle oligomerler oluşmaktadır (jelleşme). Son aşama olan polikondansasyonda ise oligomerler birbirine çapraz bağlarla bağlanmakta ve sertleşmiş bir strüktür meydana gelmektedir [12].

Yüksek ve düşük kalsiyum içeren malzemelerin reaksiyonu sonucunda üretilen sonuç ürünler birbirinden farklıdır. Yüksek kalsiyum içeren (örn. yüksek fırın cürufu) malzemelerin reaksiyonları sonucunda üretilen reaksiyon ürünü kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jel olup portland çimentonun hidratasyon ürününe benzerdir. Bu yapı, bileşimine az miktarda Al alarak C-A-S-H jeli olarak da bulunabilir [8]. Bu yapı literatürde "alkali aktive edilmiş bağlayıcı" olarak adlandırılmaktadır. Diğer yandan, metakaolin, uçucu kül, doğal puzolan gibi düşük kalsiyum içeren malzemelerin reaksiyonları sonucundaki temel reaksiyon ürünü üç boyutlu inorganik bir alkali polimer (polimerik iskelet), yani N-A-S-H (ya da alkali aluminosilikat hidrat) jel olup zeolit öncüsü olarak kabul edilebilmektedir [13-15]. Bu jel, Davidovits tarafından "jeopolimer" ya da "inorganik polimer" olarak adlandırılmaktadır [16]. Şekil 2, alkali aktive edilmiş bağlayıcının ve jeopolimerin genel reaksiyon mekanizmalarını ve sonuç ürünlerini ifade etmektedir. Düşük kalsiyumlu öncül malzemelerin aktive edilmesinde reaksiyonu başlatabilmek için pH değeri nispeten yüksek alkali aktivatörler gereklidir. Aksine yüksek kalsiyum içeren öncül malzemeler örneğin yüksek fırın cürufu ya da beton molozu gibi çok daha düşük pH değerine sahip alkali aktivatörler ile aktive edilebilir.



Şekil 2. Alkali aktive edilmiş bağlayıcının ve jeopolimerin reaksiyon mekanizmaları [17].

Bu malzemelerin özelikleri kullanılan alüminosilikat hammadde (precursor) kaynağının ve alkali aktivatörün türüne, alüminosilikatın fiziksel ve mineralojik özeliklerine, alkali aktivatörün molar konsantrasyonuna, karışım oranına ve kür koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

Puzolanik aktiviteye sahip herhangi muhtemel bir alüminosilikatlı malzeme jeopolimer üretiminde hammadde kaynağı (precursor) olarak kullanılabilir [18]. Bundan dolayı, son yıllarda, yapım ve yıkım atıklarının jeopolimer alüminosilikat kaynağı olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmalar hız kazanmıştır [19]. Bu atıklar mikron boyutunda öğütülerek çeşitli alkali aktivatörlerle aktive edilmektedir. Sonuçlar, jeopolimerizasyon işlemi için gerekli olan silis, kalsiyum ve alüminyum gibi ana bileşenlerin yüksek içeriğine sahip olduklarından, bu tür atık malzemelerden (örneğin tuğla, seramik karo, beton ve cam) yararlanma olasılığının yüksek olduğunu göstermiştir. Ancak, bu tür jeopolimerlerden elde edilen özellikler, kullanılan malzemelerin bileşimine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir. Örneğin, atık tuğlalardan ve seramik tozundan üretilen jeopolimerler, yalnızca atık beton içerenlere kıyasla çok daha yüksek mekanik özellikler sergilemektedir. Bu performans farklılığı, alüminosilikat hammaddenin özellikle silis, alümin, kalsiyum, demir ve magnezyum gibi kimyasal bileşimlerinin değişmesine bağlıdır. Farklı araştırmalardan toplanan alüminosilikat öncüllerinin (atık ve atık olmayan) kimyasal bileşim aralıkları Tablo I' de sunulmaktadır [7].

TABLO I. Farklı alüminosilikat mineralleri için kimyasal bileşim aralıkları [7].

Bileşim (wt. %)	**BW**	**CW**	**TW**	**GW**	**FA-C**	**FA-F**	**GGBFS**	**MK**	**OPC**
SiO_2	53-70	23-42	57-70	70-75	35-47	38-65	26-40	45-61	16-25
Al_2O_3	11-20	4.0-10	10-18	1.0-2.5	15-20	24-50	5-17	35-52	2.9-5.1
CaO	0.5-11	20-31	2.9-8.7	8-12	20.96	0.7-5.2	34-54	0.02-0.1	60-66
Na_2O	0.2-2.5	0.6-1.7	0.5-1.4	11-15	4.0-4.9	0.05-0.9	0.03-0.5	0.15-0.25	0.2-0.4
MgO	1.1-5.2	1.5-8.4	0.42-3.1	0.15-1	4.5-5.0	0.3-1.8	4.0-10.9	0.03-0.4	1.5-1.8
Mn_2O_3	0.05-0.15	0-0.1	0.06-0.2	0-0.1	0.03-0.1	0.0-0.7	0.3-0.6	0.0-0.1	0.3-0.45
Fe_2O_3	5.5-8.2	2.9-12	1.1-5.2	0.15-1	5.0-6.1	2.0-13	0.6-0.2	0.35-2.6	4.0-8.2
K_2O	2-4.5.0	0.7-2.3	1.1-2.3	0.08-2	0.5-0.9	0.1-3.0	0.05-1.0	0.2-1.3	0.05-0.1
TiO_2	0.8-1.1	0.2-0.3	0.8-1.5	0.07	1.0-1.9	0.5-2.0	0.3-0.6	0.8-2.0	0.2-0.3
Kızdırma Kaybı	0.4-2.0	0.7-8.2	1.6-2.1	0.2-1.2	0.25-1.5	0.03-7.7	0.02-2.05	0.5-2.4	0.5-2.0

Not: BW= Tuğla Atığı; CW=Beton Atığı; TW= Kiremit Atığı; GW=Cam Atığı; FA-C= C tipi Uçucu Kül; FA-F= F tipi Uçucu Kül; GGBFS: ince öğütülmiş yüksek fırın cürufu; MK= Metakaolin; OPC=Normal Portland Çimentosu

SiO_2 oranı yalnızca %23-42 ve Al_2O_3 oranı % 4–10 olan atık betonla karşılaştırıldığında, hem tuğlalarda hem de kiremitlerde yüksek miktarda SiO_2 (%50–70) ve Al_2O_3 (%10–20) bulunmaktadır. Yani, yüksek Al ve Si iyonları içeriği, aktivasyon işlemi sırasında, çözünme aşamasında, kolayca stabilize edilebilir ve daha sonra Si–O–Al bağlarının oluşumuna katılabilir. Böylece malzemenin mekanik özelikleri artar. Öte yandan, yalnızca atık beton yüksek miktarda CaO içerirken, diğer atıklar (örneğin tuğlalar ve kiremitler) düşük oranlarda kalsiyum içerir. Atık betondaki yüksek CaO içeriği, beton dayanımının düşmesiyle ilişkilidir. [7].

III. BETON ATIĞININ JEOPOLİMER BAĞLAYICIDA KULLANILMA OLANAKLARI

Costes ve diğ. (2007) betonun kırıldıktan ve 700 °C de 4 saat ısıtıldıktan sonra kuru olarak kum ve agregadan çeşitli elektrostatik ve manyetik işlemlerle ayrıştırılması ile %85 saflıkta elde edilebilen hidrate çimentonun yeniden çeşitli katkılarla ya da katkısız olarak 1400°C'de 30 dakika klinkerleşme sürecinden geçirildikten sonra orijinal kalitede çimentonun veya yüksek fırın cürufu PÇ'nin üretilebileceğini saptamıştır [20]. Ancak, tüm işlem belirli bir enerji tüketimi ve dolayısıyla sera gazı salımına neden olmaktadır. Buna göre, atık betonun jeopolimer üretiminde geri dönüştürülmesi cazip bir olanak sunmaktadır.

Ahmari ve diğ. (2012), F sınıfı uçucu kül ile karıştırılmış öğütülmüş atık betondan (GWC) ve geri dönüştürülmüş beton agregalarından jeopolimerik bağlayıcı üretimini incelemiş; karışıma, sodyum hidroksit (NaOH) (N) ve sodyum silikat (SS) çözeltisi olarak katılan alkali çözeltinin bileşimi ve konsantrasyonu ile SS/N oranlarının jeopolimerik bağlayıcının serbest basınç dayanımı (UCS) üzerindeki etkisini araştırmıştır. GWC'nin dahil edilmesi, belirli bir GWC oranına kadar jeopolimer bağlayıcının UCS'sini iyileştirmeye yardımcı olurken GWC içeriğinin daha fazla artırılması UCS'nin azalmasına neden olmuştur. 5 ve 10 M NaOH ile ve SS/N=1 ve 2 olduğunda optimum GWC içeriği olarak %50 bulunmuştur. İyileşmenin nedeni, CSH ve jeopolimer jelinin oluşumunda etkili olan Ca (kalsiyum) ve Si (Silisyum)'un harçta yer almasıdır. Özellikle jeopolimerik sistem içinde Ca'nın varlığı ile çözünme reaksiyonları ve sertleşme, sağladığı çekirdeklenme bölgeleri nedeniyle hızlanmıştır. Öğütülmüş beton atığı ve uçucu kül karışımının Ca/Si oranı (en yüksek UCS'deki Ca/Si oranı) düşüktür (0.15-0.25), bu da jeopolimer sistemde düşük kalsiyumlu (düşük-Ca) CSH jel oluşumunu göstermektedir. Artan NaOH konsantrasyonu, özellikle %50'den az GWC içeriğinde daha yüksek UCS ile sonuçlanmıştır. SS'nin eklenmesi de, ilave SiO_2 sağlanması ve priz gecikmesi nedeniyle UCS'yi iyileştirmiştir. GWC/FA jeopolimer bağlayıcı için optimum başlangıç Si/Al (en yüksek UCS'deki Si/Al oranı) yaklaşık 3.38'dir. SEM/EDX, XRD ve FTIR analizleri, GWC'deki Ca'un jeopolimer jel ile bir arada bulunan düşük Ca'lu yarı-kristal CSH jel oluşumunu ve yük dengeleyici katyon olarak Ca^{+}'nın jeopolimer ağına katılması ile mukavemeti arttırdığını doğrulamaktadır. GWC/FA jeopolimer bağlayıcısındaki jeopolimer PSD (poly-sialate-disiloxo)'ye yakındır ve dolayısıyla PSS (poly-sialate-siloxo)'ye yakın olan saf uçucu kül (FA) esaslı jeopolimer bağlayıcıdaki jeopolimerden daha güçlüdür. Sonuçlar, GWC'nin FA ile birlikte kullanılmasının jeopolimerik bağlayıcının UCS'sini %50 GWC içeriğine kadar artırabileceğini göstermektedir. GWC'nin daha da artması jeopolimerik bağlayıcının UCS'sini azaltmaktadır. Dolayısıyla, GWC ve FA'nın uygun kombinasyonu ile gerekli mukavemete sahip jeopolimerik bağlayıcı üretilebilir [21].

Ren ve Zhang (2019), jeopolimer çimentoda öncül malzeme olarak öğütülmüş beton atığı (WCF) ve F tipi uçucu kül (FA) ve agrega olarak geri dönüştürülmüş beton agregası (RA) (hem kaba hem de ince) kullanılarak jeopolimer beton (GPC) üretimini araştırmaktadır. %25 WCF ve %75 FA ve alkali reaktif olarak sodyum hidroksit (NaOH) (N) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) çözeltisi (SS) kullanılmıştır. Araştırma, NaOH konsantrasyonunun, Na_2SiO_3 çözeltisinin NaOH çözeltisine (SS/N) oranının, çimento/agrega oranının (C/A), su/çimento oranının (W/C) ve kürleme sıcaklığının GPC'nin priz başlama süresi ve serbest basınç dayanımı (UCS) üzerindeki

etkisini sistematik olarak incelemiştir. Karşılaştırma için doğal agrega (NA) kullanılarak da GPC üretilmiş ve benzer koşullarda çalışılmıştır. Yapılan çalışmaya göre, çimento+uçucu kül bağlayıcı/ agrega oranı (C/A) 0.29 olan RA katılmış jeopolimer beton (GPC), C/A oranı 0.22'ye kıyasla daha uzun priz başlama süresi ve daha düşük serbest basınç dayanımına sahiptir. Bunun nedeni, RA'nın daha yüksek oranda su emiciliğine bağlı olarak beton serbest suyunu kolaylıkla emmesidir. 10 NaOH konsantrasyonundaki RA bazlı GPC, 14 NaOH konsantrasyonundakinden daha kısa priz başlama süresine ve daha yüksek UCS'ye sahiptir. Harç, SS/N=1.1'e kadar olan oranda, daha uzun priz başlama süresine ve daha yüksek UCS elde edilmesine yol açmakta; SS/N>1.1'den sonra tersine eğilim nedeniyle optimum SS/N değerinin 1.1 olduğunu göstermektedir. Tüm koşullar aynı olduğunda, RA tabanlı GPC, NA tabanlı GPC'den daha kısa priz başlama süresi ancak daha yüksek UCS'ye sahiptir. 35°C'lik yüksek kürleme sıcaklığı jeopolimerizasyon sürecini desteklemekte ve 23°C'lik ortam kürleme sıcaklığına kıyasla GPC'nin daha yüksek mukavemete sahip olmasına yol açmaktadır. Hem atık beton kırma işleminden elde edilen WCF hem de RA iyi mekanik özelliklere sahip GPC üretmek için kullanılabilir ve böylece atık beton, yapısal beton üretimi için NA kullanmadan, jeopolimerizasyon teknolojisi ilkeleriyle tamamen geri dönüştürülebilir [22].

Ilcan ve diğ. (2022), gerçek sürdürülebilir yapım uygulamalarına ulaşmak için, malzemeyle ilgili atılımların yanı sıra, ileri üretim teknolojilerini kullanan üretim yöntemleriyle ilgili atılımların yapılmasının gerektiğini vurgulayarak, 3 boyutlu eklemeli üretim (3-dimensional additive manufacturing-3D-AM) için uygun reolojik özeliklere sahip tamamen yapım ve yıkım atığı (CDW) esaslı ortamda kürlenmiş jeopolimer harçlar geliştirmiştir. Jeopolimer bağlayıcıların geliştirilmesi için CDW bazlı delikli tuğla (HB), kırmızı kil tuğla (RCB), kiremit (RT), beton molozu (C) ve cam (G) kullanılırken, ince agrega olarak sadece (C) kullanılmıştır. Kil esaslı alüminasilikat öncülerinde yer alan temel oksitler jeopolimerleşme reaksiyonu için önemli olan SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 iken, beton ve camdaki temel oksitler SiO_2, Na_2O ve CaO'dur. Karışımlar, alkali aktivatörler olarak sodyum hidroksit (NaOH), kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) ve sodyum silikatın ($Na_2 SiO_3$) farklı kombinasyonları ile aktive edilmiştir. Reolojik değerlendirmeler, akış tablası, kanatlı kesme ve modifiye mini çökme testlerini içeren ampirik test yöntemlerine dayalı olarak yapılmıştır. Basınç dayanımı ölçümleri de yapılmıştır. Son olarak, düşük ve yüksek viskoziteli iki temsili harç karışımı laboratuvar ölçekli bir 3D yazıcı aracılığıyla basılmış ve reolojik özellikler jeopolimer harçların baskı davranışıyla ilişkilendirilmiştir. Genel olarak çalışma, 3D-AM için uygun reolojik özelliklere sahip herhangi bir kimyasal katkı maddesi içermeyen tamamen CDW bazlı jeopolimer harçların başarıyla üretilebileceğini göstermiştir. Tasarlanan yeterli basınç dayanımına sahip tamamen CDW bazlı jeopolimer harçların 3D-AM ile herhangi bir kusur/süreksizlik olmadan ekstrüzyon yapabildiği, ardışık üst katmanların ağırlığının etkisi altında ilk şeklini koruyabildiği ve tasarlanan basılı yapıyla tamamen uyumlu olduğu gösterilmiştir [23].

Huo ve diğ. (2021), jeopolimer üretmek için geri dönüştürülmüş atık beton tozu (RWCP) kullanımının fizibilitesini araştırmıştır. Bu makalede, RWCP silika-alümina hammaddesi olarak kullanılmış, sodyum silikat (WG) ve sodyum hidroksit (NH) çözeltisi alkali aktivatör olarak karıştırılarak jeopolimer malzemeler hazırlanmıştır. NaOH çözeltisi (NH) molar konsantrasyonu, WG/NH oranı, alkali aktivatör/ katı kütle (L/S) oranı ve kürleme koşulları (kürleme sıcaklığı, kürleme süresi ve kürleme yöntemi) dahil olmak üzere çeşitli sentez parametreleri, jeopolimerizasyon derecesini ve bunlardan oluşan jeopolimerlerin serbest basınç dayanımı (UCS) gelişimi üzerindeki etkilerini anlamak için deneysel olarak araştırılmıştır. Nihai ürünlerin bileşimi minerolojisi ve mikroyapısı XRD, SEM ve EDS analizleri ile karakterize edilmiştir. RWCP bazlı jeopolimerlerin mekanik özellikleri karmaşıktır ve alkali aktivatör konsantrasyonu, WG/NH oranı, L/S oranı, kürleme koşulları ve tamamlanmamış jeopolimerizasyon ve yan reaksiyonları içeren belirsizlik gibi birçok faktörden etkilenir. NaOH çözeltisi konsantrasyonu arttıkça, RWCP bazlı jeopolimerlerin UCS'si önemli ölçüde artmış ve daha sonra hafifçe azalmıştır. Ayrıca NaOH çözeltisi konsantrasyonu 14 mol/L olduğunda, 7

günlük UCS en yüksek değer olan 13.72 MPa'a ulaşmıştır. Alkali aktivatördeki sodyum silikat (WG) içeriğinin artması, jeopolimerlerin UCS'sinin gelişimi üzerinde önemli bir olumlu etkiye sahiptir, ancak optimum bir dozaj vardır. WG/NH oranı, RWCP bazlı jeopolimerlerin mukavemet gelişimi için uygun bir aralık olan 1.0 ila 2.0 aralığında değişmiştir. WG/NH oranı 1.5 olduğunda, 7 günlük UCS maksimuma ulaşmıştır. Ancak, bu oran 2.5'a çıkarıldığında UCS önemli ölçüde azalmıştır. L/S kütle oranı, oluşturulan jeopolimerlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir. L/S kütle oranı, reaksiyon sisteminin viskozitesini ve kütle aktarım kabiliyetini belirler ve ayrıca jeopolimerlerin temel özelliklerini ve mukavemetini etkiler. Bu deneyde, 7 günlük UCS ilk başta artmış ve daha sonra L/S oranının artmasıyla azalmıştır. Optimum L/S kütle oranı 0.4 olarak bulunmuştur. Kürleme sıcaklığının iyileştirilmesi ve kürleme süresinin uzatılması, jeopolimer numunelerinin UCS'sini geliştirmeye yardımcı olan jeopolimerizasyonun hızını ve derecesini önemli ölçüde hızlandırabilir. Bununla birlikte, çok yüksek kürleme sıcaklığı veya çok uzun kürleme süresi jeopolimerin yapısal bütünlüğünü etkileyebilir ve basınç dayanımının gelişmesine yardımcı olmaz. Buna ek olarak, yüksek sıcaklıkta kürleme koşulu altında ıslak kürleme, basınç dayanımının gelişmesine daha elverişlidir. Bu çalışmada, NaOH çözeltisi konsantrasyonu 14 mol/L, WG/NH oranı 1.5 ve L/S kütle oranı 0.4 olduğunda, jeopolimerlerin 7 günlük UCS'si 70 °C'de 24 saat boyunca ıslak kürlemeden sonra 14.32 MPa'a ulaşmıştır. XRD ve SEM-EDS analizleri, RWCP bazlı jeopolimerlerin sentezinden elde edilen ana jel ürünlerinin amorf bir yapıya sahip hidrate kalsiyum silikat ve hidrate alüminyum silikat jelleri olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, RWCP'nin düşük aktivitesi ve yüksek kalsiyum içeriği nedeniyle, ana malzemedeki kristalli fazların çoğu ve bazı reaksiyona girmemiş fazlar, nihai ürünlerde aktif olmayan dolgu maddeleri şeklinde mevcuttur ve bu da sentezlenen jeopolimerlerin nispeten düşük UCS'sine neden olmuştur [24].

Alhawat ve diğ. (2022)'nin yaptığı literatür taramasında beton atığının alüminasilikat öncülü (precursor) olarak kullanılması durumunda, metakaolin veya uçucu kül ilavesinin, yüksek miktarda SiO_2 içerdikleri için sonuçları geliştirebileceği; atık betondan yapılan jeopolimerlerin mukavemetinin, daha iri parçacıklar (400 μm) yerine daha ince parçacıklar (190 μm) kullanıldığında iki katına çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca, beton atıklarının atık tuğlalara kıyasla daha küçük yüzey alanına sahip olması ve dolayısıyla atık tuğlaların reaksiyona girmemiş partikülleri için fazladan suya ihtiyaç duyulması ve karışımların taze harç özeliklerinde bir değişikliğe neden olması nedeniyle iki malzemenin fiziksel ve kimyasal özeliklerindeki farklılığının bir sonucu olarak, tuğla atığı yerine atık beton tozu miktarının artırılmasıyla daha yüksek akışkanlık elde edilebileceği açıklanmıştır. Bununla birlikte, akışkanlığın kullanılan öncüllerin içeriğinden ziyade Na_2O/SiO_2 ve SiO_2/Al_2O_3 oranlarındaki değişimden etkilendiğini belirtmiştir. Tuğla tozundan yapılan jeopolimerlerin, beton ve kiremitten yapılanlara kıyasla yüksek sıcaklık karşısındaki ayrışmaya karşı yüksek direnç gösterdiği tespit edilmiş; bu durum, tuğladaki fazla Al_2O_3 içeriği nedeniyle ısıtma altında fazladan kristal fazların oluşumuyla ilişkilendirilmiştir. Tuğla ve seramik gibi silika ve alümina bakımından zengin CDW bazlı malzemelerin kullanımı atık betondan daha iyi mekanik performansla sonuçlanmıştır; ancak, aktivatörlerin ve ısıl kürlemenin oranlarının farklı olması halinde farklı CDW esaslı malzeme kaynakları kullanılarak daha üstün performans elde edilebilir [7]. Beton atığının jeopolimer bağlayıcıda kullanılma olanaklarının araştırıldığı çalışmalar özet halinde Tablo II'de yer almaktadır.

TABLO II. Beton atığının jeopolimer bağlayıcıda kullanılma olanaklarının değerlendirildiği araştırmalar.

Referans	Alüminosilikat türü	Alkali aktivator türü	Araştırma sonucu
Ahmari ve diğ. (2012)	F sınıfı uçucu kül + Öğütülmüş atık beton	NAOH + Na_2SiO_3	• Öğütülmüş atık betonun belirli bir orana kadar jeopolimer bağlayıcının UCS'sini iyileştirdiği, daha fazla artırılması durumunda UCS'nin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. • Dayanımın gelişimi CSH ve jeopolimer jelinin oluşumunda etkili olan Ca (kalsiyum) ve Si (Silisyum)'un harçta yer alması ile ilişkilidir. • GWC'nin FA ile birlikte kullanılmasının jeopolimerik bağlayıcının UCS'sini %50 GWC içeriğine kadar artırabileceği tespit edilmiştir.
Ren ve Zhang (2019)	Öğütülmüş beton atığı (%25) + F sınıfı uçucu kül (%75)	NAOH + Na_2SiO_3	• Tüm koşullar aynı olduğunda, RA tabanlı GPC, doğal agrega (NA) tabanlı GPC'den daha kısa priz başlama süresine ancak daha yüksek UCS'ye sahiptir. • Hem atık beton kırma işleminden elde edilen ince atık beton parçacıkları WCF hem de RA iyi mekanik özelliklere sahip GPC üretmek için kullanılabilir ve böylece atık beton, yapısal beton üretimi için NA kullanmadan, jeopolimerizasyon teknolojisi ilkeleriyle tamamen geri dönüştürülebilir.
Ilcan ve diğ. (2022)	Delikli tuğla (HB), Kırmızı kil tuğla (RCB), Kiremit (RT), Cam (G)	NAOH $Ca(OH)_2$ Na_2SiO_3	• 3D-AM için uygun reolojik özelliklere sahip herhangi bir kimyasal katkı maddesi içermeyen tamamen CDW bazlı jeopolimer harçların başarıyla üretilebileceği tespit edilmiştir.
Huo ve diğ. (2021)	Geri dönüştürülmüş atık beton tozu	NAOH + Na_2SiO_3	• Sodyum silikat içeriğinin artması, jeopolimerlerin UCS'sinin gelişimi üzerinde önemli bir olumlu etkiye sahiptir. • RWCP bazlı jeopolimerlerin sentezinden elde edilen ana jel ürünlerinin amorf bir yapıya sahip hidrate kalsiyum silikat ve hidrate alüminyum silikat jelleri olduğunu göstermiştir. • RWCP'nin düşük aktivitesi ve yüksek kalsiyum içeriği nedeniyle, ana malzemedeki kristalin fazların çoğu ve bazı reaksiyona girmemiş fazlar, nihai ürünlerde aktif olmayan dolgu maddeleri şeklinde mevcuttur ve bu da sentezlenen jeopolimerlerin nispeten düşük UCS'sine neden olmuştur.

UCS: Serbest basınç dayanımı, GWC: Öğütülmüş atık beton, FA: Uçucu kül, RA: Geri dönüştürülmüş beton agregası, NA: Doğal agrega, GPC: Jeopolimer beton, CDW: yapım ve yıkım atığı, RWCP: Geri dönüştürülmüş atık beton tozu

IV. PİŞMİŞ TOPRAK ATIĞININ JEOPOLİMER BAĞLAYICIDA KULLANILMA OLANAKLARI

Yapım ve yıkım atığının yaklaşık %45'ini seramik malzemeler oluşturmaktadır. Bu atık miktarı, sadece yapım üretim sürecinden değil aynı zamanda tuğla ve kiremit endüstri atığından oluşur. Seramik malzeme atıkları çimento katkıları ve beton agregası gibi farklı şekillerde kullanılabilse de; çimentonun sadece bir kısmı ile ikame edildiği için (genellikle %10 ila 35 arasında) efektif bir yeniden kullanım söz konusu değildir. Bunun yerine alkali aktivasyon işlemi ile tamamen atık malzemelerin kullanıldığı bağlayıcıların geliştirilmesi gereklidir. Pişmiş toprak yapı malzemelerinin önceden 800-1000°C'lerde pişirildiği ve yapı içinde bulundurdukları kil minerallerinin hidroksil gruplarının 600-900°C'lerde kaybolarak kristal yapıları bozulduğu için jeopolimer öncüsü olarak puzolanik özeliğe sahip olmaları beklenmektedir.

Bu bağlamda Reig ve diğ. (2013)'nin seramik atığının jeopolimer harcı olarak üretilmesi olanaklarını araştırdığı çalışmada alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat kullanılmıştır. Alüminasilikat öncüsü olarak iki farklı seramik atığı kullanılmıştır. Bunlar kırmızı kil tuğla (B) ve porselen seramiktir (P). Ortalama dane boyutu 20 mikron inceliktedir. 65°C'de 7 gün kürlenen numunelerden elde edilen sonuçlara göre çözeltideki sodyum konsantrasyonu ve su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 22-41 MPa aralığında basınç dayanımı elde edilmiştir. Porselen seramiğin üretiminde 1190-1220 °C'lerde kalsine edilmesinden kaynaklı

olarak yapısında eksik olan CaO içeriği nedeniyle jeopolimer üretiminde (P)'nin bir kısmının %2 oranında $Ca(OH)_2$ ile değiştirilmesi bir gereklilik olarak belirtilmiştir. Çözünebilen kalsiyum kürlemeden sonra daha kararlı bir yapı kazanmış ve 30 MPa basınç dayanımı elde edilebilmiştir. Buna karşın kırmızı kil tuğla jeopolimerinde $Ca(OH)_2$'in varlığı gerekli değildir. (B) tozu ile yapılan jeopolimerde, bir kg kırmızı kil atığı için Na/bağlayıcı ve SiO_2/bağlayıcı oranlarındaki molalite Na^+ için 3.15 mol ve SiO_2 için 2.53 mol sabit tutulduğunda en iyi basınç dayanımı elde edilirken bu değer sodyum konsantrasyonu arttıkça düşmüştür. Aktivatör/katı kısım oranı sabitken su/ bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.35'e düşürüldüğünde basınç dayanımı %40 artmıştır [25].

Puertas ve diğ. (2006) çalışmalarında altı farklı ince öğütülmüş seramik atığını $CaOH_2$ ile birlikte kullanarak ürettikleri harçları 40 °C'de ve 8 gün boyunca kürledikten sonra puzolanik olarak aktif olduklarını saptamış ardından, iki tür alkali ile (NaOH ve sodyum silikat) ve farklı konsantrasyonlarda aktive etmişlerdir. Elde edilebilen en yüksek basınç dayanımı 14 MPa'dır. Aktive edilmiş harçlarda amorf fazdan ziyade feldispatlı fazların çözünmeye daha fazla uğradığı ve çözeltilerle daha fazla reaksiyona girdiğini tespit etmişlerdir [26].

Tuyan ve diğ. (2018)'nin alkali aktivatör konsantrasyonun ve kür koşullarının; atık tuğla tozu kullanılarak üretilen jeopolimer kompozitlerin mukavemeti ve kıvam üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmasında 20 farklı aktivatör konsantrasyonuna sahip jeopolimer harçlar üretilmiş, ideal alkali aktivatör konsantrasyonuna sahip harç karışımları için farklı kür koşulları test edilmiştir. Sonuç olarak; optimum alkali aktivatör konsantrasyonunun (SiO_2/Na_2O) 1.6 oranında olduğunu ve bağlayıcının ağırlığına göre %10 Na_2O içeriğine karşılık geldiğini tespit etmişlerdir. 5 gün süreyle 90°C'de %40 bağıl nemde kürlenen numunelerde 36.2 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Daha yoğun malzeme strüktürünün daha yüksek basınç dayanımı sağladığı tespit edilmiştir [27].

Komnitsa ve diğ. (2015) çalışmalarında; beton, tuğla ve kiremit olmak üzere üç farklı yapım atığını; NaOH ve Na_2SiO_3 çözeltileri ile karıştırarak ürettikleri jeopolimer harçlarının performansını araştırmışlardır. Tuğla ve kiremit atıklarının, yüksek SiO_2 ve Al_2O_3, düşük CaO içerikleri nedeniyle kolaylıkla jeopolimer üretiminde kullanılabildikleri belirtilerek bu atıkları kullanarak ürettikleri jeopolimer harçlarda sırası ile 49.5 MPa ve 57.8 MPa basınç dayanımı elde etmişlerdir. Buna karşın beton kullanılarak üretilen jeopolimer harç ise daha düşük bir basınç dayanımı (13 MPa) sağlayabilmiştir: 150 mikrondan daha ince öğütüldüğünde basınç dayanımının arttığı belirtilmiştir. Pişmiş toprak atığı, olasılıkla Al_2O_3 içeriği nedeniyle yüksek sıcaklık etkisi altında dağılmamış ve bu amaçla yapıda kullanılabilirliği önerilmiştir. Üretilen jeopolimerler, 2 ay süreyle haftalık donma çözülme döngülerinden ve su etkisinden önemli ölçüde etkilenmiş olmakla birlikte donma çözülmenin etkisi su etkisinden daha düşük olmuştur. 800°C'de sıcaklık etkisinden sonra tuğla, kiremit ve betonun dayanımı sırasıyla 37.15 ve 3 MPa elde edilmiştir [28].

Sun ve diğ. (2013) çalışmalarında seramik atık kullanılarak üretilen jeopolimerlerin mekanik ve ısıl özelliklerini incelemişlerdir. Seramik atık malzemelerin aktivasyonu için sodyum silikat çözeltisi ile (SiO_2/Na_2O=3.2) ile sodyum ve potasyum hidroksit kullanılmış sonuçta elde edilen jeopolimer harçların 28 günlük basınç dayanımlarının 71.1 MPa'a ulaştığı gözlenmiştir. Çalışmada 1000 °C'de 2 saat ısıl işleme tabi tutulan jeopolimer harçlarının 75.6 MPa basınç dayanımı ile ısı etkisine karşı iyi bir davranış sergilediği ortaya konmuştur. Nedeni ise viskoz sinterleme ve yüksek sıcaklıkta daha fazla jeopolimerizasyon reaksiyonunun tamamlanmasıdır. Seramik atığı kullanılarak üretilen jeopolimer harçların yanmaz (fireproof) bir malzeme olarak da kullanılabileceği belirtilmiştir [29].

Pişmiş kil tuğla hurdası ve beton molozunun uçucu kül esaslı jeopolimerler üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada her iki katkıyla üretilen numuneler basınç dayanımı, yoğunluk, ısı iletkenlik katsayısı gibi özelikler üzerinden değerlendirilerek bu atıkların jeopolimer matrisi üretimi için yeterli düzeyde uygun olduğu, hatta farklı sertleşme ve mukavemet kazanma mekanizmaları nedeniyle farklı malzeme özeliklerinin belirlenebildiği tespit edilmiştir. Alkali

aktivatör olarak karışıma katılmadan 24 saat önce hazırlanan sodyum silikat (%85.46 ağ.) ve NaOH (%14.54 ağ.) çözeltisi kullanılmıştır. Jeopolimerde uçucu külün tuğla hurdası ile ikame edilmesi görünür yoğunluk ve dolayısı ile ısıl iletkenliği azaltmış; beton molozu ile ikame edilmesi ise görünür yoğunluğu ve ısıl iletkenliği arttırmıştır [3]. Pişmiş toprak atığının jeopolimer bağlayıcıda kullanılma olanaklarının araştırıldığı çalışmalar özet halinde Tablo III'de yer almaktadır.

TABLO III. Pişmiş toprak atıklarının jeopolimer bağlayıcıda kullanılma olanaklarının değerlendirildiği araştırmalar.

Referans	Alüminosilikat türü	Alkali aktivatör türü	Araştırma sonucu
Reig ve diğ. (2013);	Kırmızı Kil Tuğla Atığı	NAOH Na_2SiO_3 *(+%2 $Ca(OH)_2$ porselen atığına eklenmiştir)*	• Kırmızı kil tuğla atığı kullanılarak üretilen harçlarda sodyum konsantrasyonu arttıkça elde edilen basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. • Aynı zamanda su/bağlayıcı oranının da basınç dayanımını büyük oranda etkilediği görülmüştür. • Porselen seramiğin aktive edilmesinde %2 oranında $CaOH_2$ katılması bir gereklilik olarak belirtilmiş ve basınç dayanımı 30 MPa elde edilirken, kırmızı kil tuğla atığında alkali molariteleri Na^+ için 3.15 mol ve SiO_2 için 2.53 mol olduğunda en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir.
	Porselen Seramik Atığı		
Puertas ve diğ. (2006)	Öğütülmüş Fayans Atığı	NAOH Na_2SiO_3	• Puzolanik özeliğe sahip öğütülmüş fayans atığının jeopolimer üretimi için kullanılabilecek uygun mineralojik ve kimyasal yapıya sahip olduğu görülmüştür. Elde edilebilen en yüksek basınç dayanımı 14 MPa'dır.
Tuyan ve diğ. (2018)	Atık Tuğla Tozu	NaOH Na_2SiO_3	• Yüksek mukavemet ve düşük maliyet açısından yaklaşıldığında optimum alkali aktivatör konsantrasyonu (SiO_2/Na_2O) 1.6 oranındadır ve bu da bağlayıcının ağırlığına göre %10 Na_2O içeriğine karşılık gelmektedir. • 90°C'de 5 gün %40 bağıl nemde kürleme optimum kür seçeneği olarak belirlenmiştir. • Numunelerde 36.2 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir
Komnitsa ve diğ. (2015)	Beton Atığı	NaOH Na_2SiO_3	• Tuğla ve kiremit atıkları, yüksek SiO_2 ve Al_2O_3, düşük CaO içerikleri nedeniyle kolaylıkla jeopolimer üretiminde kullanılabilirler. • Üretilen jeopolimerlerin basınç dayanımı aralığı 49.5 MPa ve 57.8 MPa'dır. • Buna karşın beton kullanılarak üretilen jeopolimer harç ise daha düşük bir basınç dayanımı (13 MPa) sağlayabilmiştir Pişmiş toprak atığı, olasılıkla Al_2O_3 içeriği nedeniyle yüksek sıcaklık etkisi altında dağılmamıştır. • Jeopolimer donma çözülme döngülerinden ve su etkisinden önemli ölçüde etkilenmiş olmakla birlikte donma çözülmenin etkisi su etkisinden daha düşük olmuştur.
	Tuğla Atığı		
	Kiremit Atığı		
Sun ve diğ. (2013)	Atık Fayanslar, Bloklar vb.	Na_2SiO_3 KOH / NaOH	• 28 günlük basınç dayanımlarının 71.1 MPa bulunmuştur • 1000°C de 2 saatlik kalsinasyonla, daha yüksek 75.6 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Nedeni ise viskoz sinterleme ve yüksek sıcaklıkta daha fazla jeopolimerizasyon reaksiyonunun tamamlanmasıdır. • Seramik atığı kullanılarak üretilen jeopolimer harçlar yangına dayanıklıdır.
Kugler ve diğ. (2023)	Pişmiş Kil Tuğla Hurdası + Ucucu Kül	NaOH (%14.54) + Na_2SiO_3 (%85.46)	• Jeopolimerde uçucu külün tuğla hurdası ile ikame edilmesi görünür yoğunluk ve dolayısı ile ısıl iletkenliği azaltmıştır. Beton molozu ile ikame edilmesi ise görünür yoğunluğu ve ısıl iletkenliği arttırmıştır.
	Beton Molozu +Ucucu Kül		

V. CAM ATIĞININ JEOPOLİMER BAĞLAYICIDA KULLANILMA OLANAKLARI

Atık camın gerek dane gerek toz halde puzolanik aktivite için gerekli olan yüksek oranda amorf silis içermesi nedeniyle, beton ve jeopolimer üretiminde agrega, çimento ya da ek çimentolaştırıcı olarak kullanıldığını gösteren pek çok araştırma mevcuttur. Cam içinde silikanın yanısıra yüksek oranda alkali metal oksitler (Na_2O ve CaO) bulunmaktadır. Bu nedenle alkali ile aktive edilmiş kompozitlerde katı silika parçacıklarının çevresinde jel çekirdeklenmesi oluşturur.

Cyr ve diğ. (2012), hurda haldeki soda-kireç camını alkali çözelti ile aktive ederek jeopolimer üretmiştir. Cam atık halde olduğundan söz konusu bağlayıcının üretimi sırasında, camı toz hale getirmek için öğütme dışında, herhangi bir enerji harcanmamıştır. Çalışmada, harç üretmek için standard kum ve alkali aktivatör olarak potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Araştırmada üç farklı cam inceliği (özgül yüzey alanı) kullanılmış olup en büyük özgül yüzey alanına sahip camın mekanik özelikleri en iyi geliştirdiği tespit edilmiştir. Numunelerin dayanım gelişimi hem jeopolimerizasyon sürecinden hem de matrisin kohezyonuna katkıda bulunan C-S-H türü hidrat oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bu hidrat molekülleri camın kendi bileşiminde bulunan (%12) kalsiyumun sayesinde oluşmuştur [31].

Jeopolimerlerin üretilmesinde sıklıkla kullanılan bir aktivatör türü olan sodyum silikat (sucamı) yaklaşık 1300°C'de üretilmektedir. Bu üretim sürecinin çevreye verdiği olumsuz etkileri azaltmak amacıyla, Torres-Carrasco ve Puertas (2015), bir silis kaynağı olan atık camı, uçucu kül esaslı jeopolimerin aktivasyonunda sodyumsilikat yerine kullanım olanaklarını araştırmıştır. Çalışmada 10M NaOH+%15 ticari sucamı (SS) ile üretilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımı (37 MPa), 10M NaOH+%15 atık cam ile üretilen numunelerde de elde edilmiştir. Yani, atık camın, jeopolimer üretmek için yaygın olarak kullanılan ticari sodyum silikatın yerine kullanılabilir bir ikame olduğu kanıtlanmıştır [32].

Vafaei ve Allahverdi (2017), alümin içermeyen atık cam tozunun alüminosilikat kaynağı olarak kullanım olanaklarını değerlendirmiştir. Alümin kaynağı olarak kalsiyum alüminat çimentosu karışıma farklı oranlarda (%8, 16, 24) eklenmiştir. Çalışma sonucunda eklenen kalsiyum alüminat çimentosu oranı %24 iken numunelerin en yüksek basınç dayanımına ulaştığı (87 MPa) tespit edilmiştir. Karışımın bileşiminde uygun miktarda reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 bulunmasının, daha fazla miktarda reaksiyon ürünlerinin (N-A-S-H jeli) oluşumunu sağladığı belirlenmiştir. Çimento eklenmesi matrise CaO sağlamış ve jeopolimer ağ yapısının dışında, ek olarak CSH jeli oluşumunu ve basınç dayanımı artışını sağlamıştır [33].

Xiao ve diğ. (2020), soda-kireç cam şişelerini öğüterek elde ettiği atık cam tozundan jeopolimer üretimi için hammadde olarak kullanımını araştırmıştır. Atık cam tozu ve C sınıfı (yüksek kalsiyumlu) uçucu kül farklı oranlarda karıştırılmış ve NaOH ile aktive edilmiştir. Çalışmada mukavemetin jeopolimerizasyondan mı yoksa sodyum silikat hidrattan mı (CSH) kaynaklandığını anlamak için yalnızca suyla aktive edilen karışımlar da hazırlanmıştır. Bu numunelerde OPC hidrasyon ürünlerine atfedilen basınç mukavemetinin çok düşük (1.82 MPa) olduğu tespit edilmiştir. Yani, bu çalışmada jeopolimerlerin mukavemet gelişiminde, OPC olduğu gibi, CSH jelinin baskın olmadığı, ancak kalsiyumun varlığından dolayı CSH oluşumunun mukavemet kazanımını desteklediği belirlenmiştir. Atık camın 14 günden önce bağlayıcı içerisinde dolgu görevi yaptığı, 14-60. günler arasında jeopolimerleşme reaksiyonlarına katıldığı tespit edilmiştir. Bu durum, atık camın çözünme hızının uçucu külden çok daha yavaş olduğunu göstermektedir [34].

Ulugöl ve diğ. (2021), dolu tuğla, kiremit, delikli tuğla ve cam gibi atıklardan jeopolimer malzeme geliştirmiştir. Genel olarak, daha belirgin bir amorf yapı, daha küçük tanecik boyutu ve yüksek miktarlarda silis/alümin oksitler içeren hammaddelerin daha iyi jeopolimerize olması beklenir. Bu çalışmada ise en büyük tanecik boyutuna ve kristalli yapıya sahip olan delikli tuğlanın en yüksek basınç dayanımı değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Yani, jeopolimerleşme reaksiyonları için en önemli oksitler olan SiO_2 ve Al_2O_3 miktarı en yüksek delikli tuğladadır ve bu dayanım gelişimdeki en önemli parametrenin kimyasal bileşim olduğunu kanıtlamaktadır.

Cam atık esaslı numuneler yüksek amorf yapıya sahip olmasına rağmen en düşük basınç dayanımı değerlerine sahiptir. Bu sonuç ise atık camın en büyük tanecik boyutuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır [35]. Cam atığının jeopolimer bağlayıcıda kullanılma olanaklarının araştırıldığı çalışmalar özet halinde Tablo IV'de yer almaktadır.

TABLO IV. Cam atığının jeopolimer bağlayıcıda kullanılma olanaklarının değerlendirildiği araştırmalar.

Referans	Alüminosilikat türü	Alkali aktivatör türü	Araştırma Sonucu
Cry ve diğ. (2012),	Hurda haldeki soda-kireç camı	5M KOH / NaOH	• Hurda haldeki camın alüminosilikat kaynağı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. • Dayanım gelişimi hem jeopolimerleşme (NASH jeli), hem de hidratasyon (CSH jeli) reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır.
Torres-Carrasco ve Puertas (2015)	Uçucu kül	10 M NaOH+%15 SS 10 M NaOH+%10AC 10 M NaOH+%15AC 10 M NaOH+%25AC	• Atık camın, jeopolimer üretmek için yaygın olarak kullanılan ticari sodyum silikatın yerine kullanılabilir bir ikame olduğu belirlenmiştir.
Vafaei ve Allahverdi (2017)	AC+ %8 CAC AC+%16CAC AC+%24CAC	NaOH+ SS	• Jeopolimerde uygun miktarda reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 bulunması, daha fazla NASH jeli oluşturmaktadır. • Çimento eklenmesi matrise CaO sağlamış ve jeopolimer ağ yapısının dışında, ek olarak CSH jeli oluşumunu ve basınç dayanımı artışına neden olmuştur.
Xiao ve diğ. (2020)	AC+FC (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100)	10 M NaOH	• Jeopolimerlerin mukavemet gelişiminde, NASH jeli baskındır. Ancak kalsiyumun varlığından dolayı CSH oluşumu mukavemet kazanımını desteklemektedir. • Atık cam 14 günden önce bağlayıcı içerisinde dolgu görevi yapmakta, 14-60. günler arasında jeopolimerleşme reaksiyonlarına katılmaktadır. • Atık camın çözünme hızı uçucu külden çok daha yavaştır.
Ulugöl ve diğ. (2021)	Dolu tuğla Kiremit Delikli tuğla Atık cam	12.4, 14.9, 18.6 M NaOH	• Delikli tuğla en iyi özeliklere sahip jeopolimer oluşumuna imkan vermektedir. Yani, jeopolimerleşmenin gelişiminde en önemli etken hammaddenin kimyasal bileşimidir (SiO_2 ve Al_2O_3 oranı). • Atık camdaki yüksek tanecik boyutu, jeopolimerleşmenin gelişimini engellemiştir.

SS: Sodyum silikat, AC:Atık cam, CAC: Kalsiyum alüminat çimentosu, FC:C sınıfı uçucu kül

VI. SONUÇ

Dünya genelinde çimento-kaynaklı karbon salımının azaltılması ve yeryüzünde bulunan doğal kaynakların daha etkin kullanılması amacıyla, yapı malzemesi üretiminde yapım ve yıkım atıklarından yararlanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada, beton, pişmiş toprak ve cam kökenli yapım ve yıkım atıklarının jeopolimer üretiminde kullanılması olanakları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

- Beton, pişmiş toprak ve cam kökenli yapım ve yıkım atıkları, çeşitli alkali çözeltiler ile aktive edilerek jeopolimer malzeme üretiminde alüminosilikat kaynağı olarak değerlendirilme olanağı sunmaktadır.
- Beton, pişmiş toprak ve cam kökenli yapım ve yıkım atıklarının alüminosilikat kaynağı olarak kullanılabilmesi için öğütülerek toz haline getirilmesi dışında herhangi ek bir enerji tüketimi gerekmemektedir. Halbuki atık betonun geri dönüşümü, sertleşmiş çimentonun standart çimento fırını prosedürleri kullanılarak yeniden klinkere dönüşmesini gerektirir. Bu uygulama önemli miktarda enerji tüketimi ve CO_2 salınımına yol açmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu atık hammaddelerin sadece öğütülerek yeni bir malzeme üretiminde kullanılması, üretimden kaynaklanan enerji miktarının ve ortaya çıkan CO_2 salımının azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

- Yapım ve yıkım atıklarının kırma/parçalama işlemleriyle üretilen çeşitli dane boyutlarındaki agregaraların yeni jeopolimer malzeme içerisinde değerlendirilmesi, doğal agrega kullanımının önüne geçebilmektedir.
- Beton, pişmiş toprak ve cam kökenli yapım ve yıkım atıklarından üretilen jeopolimer malzemelerin fiziksel ve mekanik özelikleri, kullanılan hammaddelerin türü ve kimyasal bileşimi, alkali aktivatör konsantrasyonu, karışım oranları, kür koşulları gibi birçok faktörden etkilenmektedir.
- Jeopolimerleşme reaksiyonlarının etkili bir şekilde gelişebilmesi için jeopolimer öncüsü olarak kullanılan hammadde (alüminosilikat kaynağı) bileşiminin SiO_2 ve Al_2O_3 bakımından zengin olması gerekmektedir. Kil esaslı alüminasilikat öncülerinde yer alan temel oksitler jeopolimerleşme reaksiyonu için önemli olan SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 iken; beton ve camdaki temel oksitler SiO_2, Na_2O ve CaO'dur.
- Pişmiş toprak yapı malzemelerinin önceden 800-1000 °C'de pişirildiği ve yapı içinde bulundurdukları kil minerallerinin hidroksil gruplarının 600-900 °C'de kaybolarak kristal yapıları bozulduğu için puzolanik özeliğe sahip olmaları, SiO_2 ve Al_2O_3 bakımından zengin olmaları ve düşük miktarda CaO ihtiva etmeleri nedeniyle bu malzemeler, jeopolimer üretiminde elverişlidir.
- Kimyasal bileşimi SiO_2 ve Al_2O_3 bakımından zengin ancak CaO içeriği düşük olan hammaddelerin jeopolimerleşmesi sonucunda üretilen üç boyutlu alüminosilikat (NASH) jeli malzemenin sertleşerek dayanım kazanmasından sorumludur. Diğer yandan, kimyasal bileşimde eksik olan CaO içeriği, kalsiyum içeren çeşitli hammaddelerin belirli oranlarda karışıma katılmasıyla yükseltilmekte ve NASH jeline ek olarak, çimento hidratasyon ürünü olan kalsiyum silikat hidrat (CSH) jeli oluşmaktadır. Örneğin, yüksek sıcaklıkta sinterlenmiş porselen atığının yapısında eksik olan CaO içeriği nedeniyle atığın bir kısmının %2 oranında $Ca(OH)_2$ ile değiştirilmesi daha kararlı ve daha yüksek dayanımlı bir yapı elde etmek için bir gereklilik olmuştur.
- Pişmiş toprak esaslı jeopolimerlerin bünyelerinde yüksek miktarda Al_2O_3 içermesi ve 1000°C'ye kadar viskoz sinterleme ve yüksek sıcaklıkta daha fazla jeopolimerizasyon reaksiyonunun tamamlanması nedeniyle yangın yalıtım malzemesi olarak kullanım olanağı yaratmaktadır.
- Cam, bileşiminde yüksek oranda SiO_2 ve alkaliye sahip olması nedeniyle, herhangi bir alüminosilikat kaynağının jeopolimerleştirilmesinde alkali aktivatör olarak ticari sodyum silikat yerine kullanılabilmektedir. Böylece, yüksek üretim sıcaklığına (1300 °C) sahip sodyum silikat tüketimi, üretilen jeopolimer malzemelerin maliyeti ve çevre üzerindeki etkinliği azaltılabilmektedir.
- Beton, pişmiş toprak ve cam kökenli yapım ve yıkım atıkları kaynaklı jeopolimer bağlayıcıların yeterli basınç dayanımına sahip olması, bunların 3D-AM (3 boyutlu eklemeli üretim) tekniğinde herhangi bir kusur/süreksizlik olmadan ekstrüzyon yapabildiğini, ardışık üst katmanların ağırlığının etkisi altında ilk şeklini koruyabildiğini ve tasarlanan basılı yapıyla tamamen uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu tür harçlar ileri üretim teknolojilerinde de kullanılabilir sürdürülebilir olanaklar sunmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change 1990-2020.pdf: https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-ulusal-sera- gazi-emisyon-envanteri

[2] UN Environment Programme, 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: https://globalabc.org/sites/default/files/2022-11/FULL%20REPORT_2022%20Buildings-GSR_1.pdf

[3] F. Kugler, W. Krcmar, U. Teipel, "Influence of brick flour or concrete rubble on the mechanical properties of fly-ash-based geopolymers," ZI (Ziegelindustrie International), February 2023.
[4] F. Pacheco-Torgal, Z. Abdollahnejad, A. F. Camões, M. Jamshidi ve Y. Ding, "Durability of alkali-activated binders: A clear advantage over Portland cement or an unproven issue?" Construction and Building Materials, 30, 400–405, 2012.
[5] R. A. Robayo-Salazar ve R. Mejía de Gutiérrez, "Natural volcanic pozzolans as an available raw material for alkali-activated materials in the foreseeable future: A review." Construction and Building Materials, 189, 109–118, 2018.
[6] K. Z. Farhan, M. A. M. Johari ve R. Demirboğa, "Assessment of important parameters involved in the synthesis of geopolymer composites: A review," Construction and Building Materials, 264, 120276, 2020.
[7] M. Alhawat, A. Ashour, G. Yildirim, A. Aldemir, ve M. Sahmaran, "Properties of geopolymers sourced from construction and demolition waste: A review." Journal of Building Engineering, 50, 2022.
[8] I. Garcia-Lodeiro, A. Palomo, ve A. Fernández-Jiménez, "An overview of the chemistry of alkali-activated cement-based binders." In F. Pacheco- Torgal, J.A. Labrincha, C. Leonelli, A. Palomo, P. Chindaprasirt (Eds.), Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes (Vol. 2, pp.19-47), 2015a.
[9] Z. Zhang, J. L. Provis, A. Reid, ve H. Wang, "Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction," Construction and Building Materials, 56, 113–127, 2014.
[10] RILEM TC 224-AAM. (2014). State-of-the-Art Report, Alkali Activated Materials.
[11] J. Davidovits, "Properties of geopolymer cements," 1st International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Scientific Research Institute on Binders and Materials, Kiev, Ukraine, 131–149, 1994.
[12] F. Pacheco-Torgal, J. Castro-Gomes ve S. Jalali, "Alkali-activated binders: A review Part 1," Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products, Construction and Building Materials, 22, 1305–1314, 2008.
[13] A. Palomo, M. W. Grutzeck ve M. T. Blanco, "Alkali-activated fly ashes - A cement for the future," Cement Concrete Research, 29 (8), 1323– 1329, 1999.
[14] P. Duxson, A. Fernández-Jiménez, J. L. Provis, G. C. Lukey A. Palomo ve J. S. J. Van Deventer, "Geopolymer technology: The current state of the art," Journal of Material Science, 42, 2917–2933, 2007.
[15] J. L. Provis ve J. S. J. Van Deventer, "Geopolymers: structure, processing, properties and industrial aplications." Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2009.
[16] J. Davidovits, "Chemistry of geopolymeric systems, terminology," Geopolymer'99 International Conference, France, 1999.
[17] V. B. Thapa ve D. Waldmann, A short review on alkali-activated binders and geopolymer binders, 2018.
[18] J. G. S. Van Jaarsveld, J. S. J. Van Deventer, ve L. Lorenzen, "The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part I. Theory and applications." Minerals Engineering, 10(7), 659–669, 1997.
[19] O. Mahmoodi, H. Siad, M. Lachemi, S. Dadsetan, ve M. Sahmaran, "Development of normal and very high strength geopolymer binders based on concrete waste at ambient environment." Journal of Cleaner Production, 279, 2021.
[20] J. R. Costes, C. Majcherczyk ve I. P. Binkhorst. 2007. "Total recycling of concrete." Accessed June 1, 2015. http://omogine.blogspot.com/.
[21] S. Ahmari, X. Ren, V. Toufigh, ve L. Zhang, "Production of geopolymeric binder from blended waste concrete powder and fly ash." Construction and Building Materials, 35, 718–729, 2012.

[22] X. Ren ve L. Zhang, "Experimental Study of Geopolymer Concrete Produced from Waste Concrete." Journal of Materials in Civil Engineering, 31(7), 2019.
[23] H. Ilcan, O. Sahin, A. Kul, G. Yildirim ve M. Sahmaran, "Rheological properties and compressive strength of construction and demolition waste-based geopolymer mortars for 3D-Printing." Construction and Building Materials, 328, 2022.
[24] W. Huo, Z. Zhu, W. Chen, J. Zhang, Z. Kang, S. Pu ve Y. Wan, "Effect of synthesis parameters on the development of unconfined compressive strength of recycled waste concrete powder-based geopolymers." Construction and Building Materials, 292, 2021.
[25] L. Reig, M. M. Tashima, L. Soriano, M. V. Borrachero, J. Monzó ve J. Payá, "Alkaline Activation of Ceramic Waste Materials." Waste and Biomass Valorization, 4(4), 729–736, 2013.
[26] F. Puertas, A. Barba, M. F. Gazulla, M. P. Gómez, M. Palacios ve S. Martínez-Ramírez. "Ceramic wastes as raw materials in portland cement clinker fabrication: characterization and alkaline activation." Materiales de Construccion, 56(281), 73–84, 2006.
[27] M. Tuyan, Ö. Andiç-Çakir ve K. Ramyar, "Effect of alkali activator concentration and curing condition on strength and microstructure of waste clay brick powder-based geopolymer." Composites Part B, 135, 242–252, 2018.
[28] K. Komnitsas, D. Zaharaki, A. Vlachou, G. Bartzas ve M. Galetakis, "Effect of synthesis parameters on the quality of construction and demolition wastes (CDW) geopolymers." Advanced Powder Technology, 26(2), 368–376, 2015.
[29] Z. Sun, H. Cui, H. An, D. Tao, Y. Xu, J. Zhai ve Q. Li, "Synthesis and thermal behavior of geopolymer-type material from waste ceramic." Construction and Building Materials, 49, 281–287, 2013.
[30] W. Dong, W. Li, ve Z. Tao, "A comprehensive review on performance of cementitious and geopolymeric concretes with recycled waste glass as powder, sand or cullet." Resources, Conservation & Recycling, 172, 2021.
[31] M. Cyr, R. Idir ve T. Poinot, "Properties of inorganic polymer (geopolymer) mortars made of glass cullet." Journal of Materials Science: Full Set - Includes `Journal of Materials Science Letters', 47(6), 2782–2797, 2012.
[32] M. Torres-Carrasco ve F. Puertas, "Waste glass in the geopolymer preparation. Mechanical and microstructural characterisation." Journal of Cleaner Production, 90, 397–408, 2015.
[33] M. Vafaei ve A. Allahverdi, "High strength geopolymer binder based on waste-glass powder." Advanced Powder Technology, 28(1), 215–222, 2017.
[34] R. Xiao, Y. Ma, X. Jiang, M. Zhang, Y. Zhang, Y. Wang, B. Huang ve Q. He, "Strength, microstructure, efflorescence behavior and environmental impacts of waste glass geopolymers cured at ambient temperature." Journal of Cleaner Production, 252, 2020.
[35] H. Ulugöl, A. Kul, G. Yıldırım, M. Şahmaran, A. Aldemir, D. Figueira ve A. Ashour, "Mechanical and microstructural characterization of geopolymers from assorted construction and demolition waste-based masonry and glass." Journal of Cleaner Production, 280, 2021.