

Geopolimer Tuğla Üretiminde Atık Kullanımı Üzerine Yapılan Akademik Çalışmalar
Academic Studies On The Use Of Waste In Production Of Geopolymer Brick

Shahad Nadiyah Abbas Al Amara¹, Arzu Çağlar²

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler ABD, Kırşehir

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kırşehir

Doi: 10.51764/smutgd.1205987

Geliş Tarihi :16.11.2022

Kabul Tarihi :22.11.2022

ÖZET

Son zamanlarda yapı malzemesi alanında, sürdürülebilir ve enerji tasarrufu sağlayan malzemeler üzerinde çalışmalar artmaya başlamıştır. İnşaat alanında en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olan tuğla, üzerinde çalışılması gereken malzemelerden biridir. Tuğlanın atık malzemeler kullanılarak özelliklerinin iyileştirilmesi atıkların bertaraf edilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada 2017-2022 yılları arasında geopolimer tuğla üzerine yapılan akademik çalışmaların irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda atık malzemeler kullanılarak üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda endüstriyel atıkların geopolimer tuğla üretiminde olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca atıkların geopolimer tuğla üretiminde belli oranlarda kullanımında herhangi bir sıkıntı olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık, tuğla, geopolimer tuğla, endüstriyel atık

ABSTRACT

Recently, the studies on sustainable and energy-saving materials have started to increase in the field of building materials. Brick, one of the most widely used building materials in construction, is one of the materials that need to be studied. Improving the characteristics of brick by using waste materials has importance in terms of waste disposal. In this study, the aim is to analyze the academic studies between 2017-2022 on geopolymer brick. In this context, the changes in the physical and mechanical characteristics of bricks produced using waste materials are intended to be analyzed. In the studies, it has been determined that industrial waste has a positive impact on geopolymer brick production. Also, it has been understood that the use of waste in geopolymer brick production in certain proportions will not cause any problem.

Key Words: Waste, brick, geopolymer brick, industrial waste

Shahad Nadiyah Abbas Al Amara, Orcid: 0000-0003-0553-1989, mail: shahad.nadiyah.96@gmail.com

Arzu Çağlar, Orcid: 0000-0003-3928-8059,mail: arzu.caglar@ahievran.edu.tr

1. GİRİŞ

İnşaat endüstrisindeki en önemli unsurlardan biri olan ve geçmişten günümüze kadar varlığını sürdürmeyi başarmış, tuğla (Rahman et al., 2018) ve imalatı, M.Ö 8000'den bu yana devam eden en eski endüstrilerden biridir (Houben & Guillaud, 1994). Tuğla, bir fırında kilin yakılmasından sonra elde edilen yanmış bir bloktur (Niroumand, Zain & Alhosseini, 2013). Binalarda genellikle dış ve iç duvarların yapımında kullanılan (Shakir, Naganathan, Mustapha, 2013) tuğlalar, özellikle konut binaları için tüm dünyada yapı taşı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahmad & Rasid, 2022)

Artan dünya nüfusu, teknolojik gelişmeler ve bir hammaddenin birçok alanda kullanımı küresel kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesine neden olmaktadır. Bu durum hammadde kullanımı ile birlikte meydana gelen atık maddelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Büyük oranda oluşan atık maddeler, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri yanı sıra çevre sorunlarına ve negatif yönde finansal etkilere sahip olmaktadır. Bu etkilerin ciddi bir şekilde takip edilmesi ve gerekli önlemler alınarak zararlarının en aza indirilmeye çalışılması gerekmektedir. Atık maddelerin zararlarını ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için geliştirilen yöntemlerden bazıları atıkların toplanması, geri kazanılması veya depolanmasıdır (Turan, 2019)

Bazı araştırmacılar tuğla malzemesinin özelliklerini iyileştirmek için farklı ikame malzemeleri kullanmaktadırlar (Madani, Ramezaniapour, Shahbazinia & Ahmadi, 2020). İkame malzemesi seçilirken atıkların tercih edilmesi, hem atıkların bertaraf edilmesi hem de sürdürülebilirlik açısından oldukça önemli bir çözümdür. Atıkların tuğla üretimi için hammadde olarak kullanılması, ekonomik ve çevresel faydaları olan bir çözüm sağlayabilmektedir (Gencel et al., 2013).

Bu çalışmada 2012-2022 yılları arasında geopolimer tuğla üzerine yapılan akademik çalışmaların irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda atık malzemeler kullanılarak üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda endüstriyel atıkların geopolimer tuğla üretiminde olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca atıkların geopolimer tuğla üretiminde belli oranlarda kullanımında herhangi bir sıkıntı olmadığı görülmüştür.

2. GEOPOLİMER TUĞLA

Geopolimer, alüminosilikat malzemelerin alkali aktivasyonunun bir sonucu olarak inorganik polikondenzasyondan kaynaklanan bir malzemedir (Madani, Ramezaniapour, Shahbazinia & Ahmadi, 2020). Geopolimer, üç boyutlu ağ yapılı amorftan yarı kristalli alümino-silikat malzemelerden oluşan yeni bir sınıftır. Geopolimerler, kaolin, metakaolin veya puzolanlar gibi alümino-silikat reaktif malzemelerin güçlü bir şekilde karıştırılmasıyla sentezlenebilmektedir (İbrahim, Hussin & Abdullah, 2015).

Geopolimerizasyon, pişirilmiş kil bünyesinde yer alan alüminantlar ve silikatların, oksijen atomu elektronlarını paylaşmasıyla kovalent bağlı bileşik oluşturması sentezine denilmektedir. (Horel, 2012).

Geopolimer tuğlalar, düşük enerji talebi ve önemli miktarda atık içermesi nedeniyle avantajlı görünmektedir. Puzolanik veya alüminosilikat bakımından zengin malzemelerden jeopolimer üretimi çok yaygındır. Bununla birlikte, jeopolimer üretimi için hammadde olarak agrega endüstrilerinin atık malzemeleri gibi daha az aktif malzemeler üzerinde çok az çalışma yapılmıştır. (Madani, Ramezaniapour, Shahbazinia & Ahmadi, 2020).

Geopolimer tuğla, dünya da ilk defa 1980'li yılların başında, Fransa'da, kırmızı topraktan, düşük ısıli geopolimer yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Araştırmacılar ağırlıkça % 5 oranında NaOH, KOH ve kırmızı kil toprağının yaklaşık 70 °C'de sentezlenmesiyle ürettikleri geopolimer tuğlanın, 900 °C'de pişirilen tuğlaların basınç dayanımından daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Geopolimer kırmızı kil tuğlaların bünyelerinde su tutma özelliğinden dolayı binada nem oluşumu engellenmektedir. Üretimi sırasında çok daha az enerji kullanımı ve tek katlı binalarda kullanılmasında herhangi bir sakınca olmaması, bu tuğlaların Afrika ülkelerinde yaşanan barınma problemini çözmede çok iyi bir yol olduğu bildirilmiştir (Zeybek, 2009).

3. GEOPOLİMER TUĞLA ÜRETİMİNDE ATIK KULLANIMI ÜZERİNE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Abbas vd., (2017), yapmış oldukları çalışmada, termik santrallerden alınan uçucu kül ve geleneksel toprak malzemeler kullanarak tuğla üretmişlerdir. Tuğla üretiminde uçucu külü %0-%25 arasında kullanmışlardır. Çalışmada sonuç olarak; uçucu kül içeren tuğlaların basınç dayanımının, uçucu kül içermeyen kil tuğlalara kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, %20'ye kadar uçucu kül içeren tuğlaların basınç dayanımı, Pakistan İnşaat Yönetmeliğinin minimum gerekliliklerini karşıladığını, uçucu kül tuğlalarında ağırlıkta azalma meydana geldiğini, bu durumun binanın toplam ağırlığında azalmaya neden olacağını ifade etmişlerdir. Ayrıca uçucu kül içeren tuğlalarda daha az çiçeklenme gözlemlendiğini, bu nedenle, uçucu kül içeren kil tuğlaların, ekonomik çözüme yol açan daha sürdürülebilir tuğlaların üretilmesine yardımcı olabileceği sonucuna varmışlardır.

Çimen vd., (2020), yapmış oldukları çalışmada perlit ve bor atığının tuğla yapı malzemesi özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında tuğla bünyesine %5 perlit malzemesini sabit tutup, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında bor atığı ikame ederek tuğla numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri 900 °C'de pişirmişlerdir. Pişirilen tuğlalara fiziksel (özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, porozite ve donma-çözünme deneyleri) ve mekanik (basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri) deneyler uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; perlit ve bor atığı katkısının uygun oranlarda tuğla üretiminde kullanılabileceği, kullanılması durumunda tuğla özelliklerine herhangi bir sakıncası olmadığı ve olumlu yönde etki sağladığı tespit etmişlerdir.

Kumarasamy vd., (2021), yapmış oldukları makalede, tuğla imalatında uçucu külün optimum kullanım oranını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, uçucu külün tuğla özelliklerini iyileştirdiği ve optimum katkı oranının %20 olduğunu tespit etmişlerdir.

Prathyusha ve Ramujee (2020), yapmış oldukları makalede, cam elyafı ve hindistan cevizi lifi gibi farklı elyaflarla %1 ve %2 (uçucu külün ağırlığına göre) ikame edilen uçucu kül tuğlalarının basınç dayanımı, su emme ve dayanıklılık gibi özellikleri üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Elyaf takviyeli uçucu kül tuğlalarının üretiminde, %60 uçucu kül, %10 sıradan portland çimentosu ve %30 taş ocağı tozu kullanmışlardır. Elyaf takviyeli uçucu kül tuğlaların sırasıyla 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, su emme, darbe dayanımı ve çiçeklenme belirlenmişlerdir. Çalışma sonucunda elyaf ve uçucu kül kullanımının tuğla özelliklerini iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Waheed vd., (2022), yapmış oldukları çalışmada, pişmemiş uçucu kül katkılı tuğlaların mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geleneksel tuğlalarla kıyaslamıştır. Çalışmayı iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk

aşamada, agrega tipinin (ince kum, kaba kum, taş tozu ve taş agregası) ve şekillendirme yönteminin (presle şekillendirme ve vibro-sıkıştırma) küçük ölçekli silindirik uçucu külün basınç dayanımı ve su emmesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Aşama I'de buldukları en iyi agrega türü ve şekillendirme yöntemini (kaba kum ve presle şekillendirme) kullanarak, II. aşamada tam boyutlu yanmamış uçucu kül tuğlaları hazırlanmış ve performansları mekanik (basınç dayanımı ve basınç modülü) ve dayanıklılık (çiçeklenme, su emme, ilk su emme oranı ve sülfat direnci) açısından değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, yanmamış uçucu kül tuğlalarının, geleneksel yanmış kil tuğlalara alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Çağlar, (2021), yapmış olduğu çalışmada, bor atığı ve uçucu kül kullanarak tuğla üretmiştir. Ürettiği numunelere fiziksel ve mekanik deneyler uygulamıştır. Çalışma kapsamında ürettiği tuğlalarda %10 oranında bor atığı sabit tutmuş, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullanmıştır. Çalışmayı üç aşamada gerçekleştirmiştir. Birinci aşamada, %100 oranında killi toprak kullanarak tuğla üretmiş ve referans numune olarak adlandırmıştır. İkinci aşamada katkılı tuğla üretimi gerçekleştirmiştir. Ürettiği numuneleri 800, 900 ve 1000 °C'de pişirmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise üretilen tuğla numunelerine fiziksel ve mekanik deneyler uygulamıştır. Sonuç olarak; uçucu kül ve bor atığının tuğla üretiminde herhangi bir sakınca olmadığı ve optimum sıcaklık 900 °C olduğunu tespit etmiştir.

Ahmed vd., (2021) yapmış oldukları çalışmada, ferrosilikon cürufu ve alümina atığı kullanarak ısı yalıtımlı jeopolimer tuğlalar hazırlamışlardır. Geopolimer tuğlaları karakterize etmek için numunelere basınç dayanımı, kütle yoğunluğu, soğuk ve kaynar su absorpsiyonu, görünür gözeneklilik, termal iletkenlik ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi deneyleri uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; alümina içeriğinin artırılmasının jeopolimer özelliklerini geliştirdiğini ancak hazırlanan jeopolimerin basınç dayanımını azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, alümina atığının eklenmesi hazırlanan geopolimer tuğlaların ısı iletkenliğini azalttığını bildirmiştir.

Ranjitham vd., (2021), yaptıkları çalışmada, uçucu kül içeren geopolimer tuğlanın özelliklerini incelemiştir. Uçucu kül %0, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında geopolimer tuğla üretimine katmışlardır. Sodyum dumanı çözeltilisini 1/2 oranında su ilave ederek hazırlamışlardır. Üretim aşamasında bir alkali aktivatör görevi gören sodyum dumanı çözeltilisine bağlayıcı görevi gören NaOH çözeltilisi eklemiştir. Çalışma sonucunda; uçucu kül katkılı tuğla özelliklerinin geleneksel tuğlaya göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Kang vd., (2021), çalışmalarında, uçucu kül ve arduvaz atığı kullanılarak geopolimer tuğla üretimi gerçekleştirmişlerdir. Arduvaz atığının yanı sıra, tuğla kalitesini iyileştirmek için geopolimerizasyon yoluyla hammaddelere uçucu kül ve metakaolin karışımları eklemiştir. Geopolimer tuğlanın mekanik performansı, fiziksel özellikleri, mikro yapı ve geopolimerizasyon süreçleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Çalışma sonucunda; farklı ST içeriklerinde, basınç dayanımındaki değişimlerin, gözenek doldurma ve geopolimer jelleşmenin birleştirme etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Daha yüksek alkalin aktivatör/katı oranı ve uzun kütleme süresi genellikle daha yüksek mukavemet ve kütle yoğunluğu sağlarken su emme oranını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Optimum koşulların, %50 arduvaz atığı kullanımı, %14 alkali içeriği ve 28 gün şekillendirme süresi ile elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Bu koşullar altında, tuğla numunelerinin basınç dayanımının 20.47 MPa, su emmesi oranının %13.4 ve diğer fiziksel özelliklerinin Çin Sinterlenmemiş Atık Tuğla Standardına (JC/T 422-2007) uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Singh ve Sengupta, (2022) yapmış oldukları çalışmada, gerçek duvar işlerinde kullanıma uygun standart boyuttaki geopolimer tuğlaları endüstriyel ölçekte üretmişlerdir. Çalışma sonucunda, basınç dayanımının alkali

çözelti / kütleme süresinin molaritesinden etkilendiğini bildirmişlerdir. 16 molar NaOH ile hazırlanan tuğlaların mukavemeti daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Madani vd., (2020) yapmış oldukları çalışmalarda, agrega endüstrilerinde kum ve çakıl yıkama işleminden kaynaklanan atık malzemeleri kullanarak jeopolimer tuğlaların üretim fizibilitesini araştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla sodyum hidroksit konsantrasyonu (4, 8 ve 12 M), kalsiyum hidroksit içeriği (%5, %10 ve %15) ve kütleme sıcaklığı (70 °C ve 105 °C) olmak üzere üç parametrenin etkisini, jeopolimer tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri, basınç dayanımı, SEM mikrografları, XRD analizi, su emme ve kütle yoğunluğunu kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, daha yüksek sodyum hidroksit konsantrasyonunun daha az gözenekli ve daha amorf bir mikro yapı oluşturmaya neden olduğunu ve daha yüksek mukavemet ve daha düşük su absorpsiyonu sağladığını tespit etmişlerdir. Kalsiyum hidroksit içeriği daha yüksek olan karışımlar daha yüksek basınç dayanımlarına (sırasıyla kuru ve ıslak koşullarda 75 MPa ve 36 MPa'ya kadar) ve daha kararlı bir mikro yapıya sahip olduğunu bildirmişlerdir. Fakat kalsiyum hidroksitin %20'den daha yüksek seviyelerde dahil edilmesiyle, daha düşük yoğunluklara, daha yüksek su emme oranına ve daha düşük basınç dayanımlarına neden olduğunu bildirmişlerdir. Kütleme sıcaklığının 70 °C'den 105 °C'ye yükseltilmesi, basınç dayanımını önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir.

Amin vd., (2017) yapmış oldukları çalışmada, seramik karo imalatında püskürtmeli kurutucuya bağlanan siklonlardan çıkan ince toz atıklarını, jeopolimer tuğla üretiminde kullanmışlardır.

Çalışmada, %1 NaOH seviyesinde kostik soda, %6 ila %10 arasında değişen Ca(OH)₂ oranında sönmüş kireç kullanmışlardır. Çalışmada sonuç olarak, atık hammaddelerin kullanımı (kostik soda hariç) ile, tuğlaların tahmini üretim maliyetinde önemli bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

2. SONUÇLAR

Bu çalışmada son 5 yılda jeopolimer tuğla üretiminde atık kullanımı üzerine yapılan akademik çalışmalar incelenmiş, elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur;

- ✓ Geopolimer tuğla üretiminde genellikle endüstriyel atıkların kullanıldığı görülmüştür.
- ✓ Geopolimer tuğla üretiminde endüstriyel atık kullanılması bol miktarda bulunan bu atıkları bertaraf etmenin etkili bir yolu olabilmektedir.
- ✓ Atıkların tuğla üretiminde kullanılması verimli toprak gibi doğal kaynakların korunmasına ve tuğlaların özelliklerinin iyileştirilmesine yol açabilmektedir.
- ✓ Geopolimer tuğlalar, endüstriyel atıkları azaltmak ve daha çevre dostu bir üretim yapmak için hammadde olarak kullanılabilir.

3. KAYNAKLAR

Rahman, M. E., Ong, P. J., Nabinejad, O., Islam, S., Khandoker, N. A. N., Pakrashi, V., Shorowordi, K. M., 2018, Utilization of blended waste materials in bricks, Technologies, 6(1), 20.

Houben, H. and Guillaud, H., 1994, Earth construction: A Comprehensive Guide, London.

Niroumand, H., Zain, M.F.M., Alhosseini, S.N., 2013, The influence of nano-clays on compressive strength of earth bricks as sustainable materials. Procedia Social and Behavioral Sciences, (89), 862– 865.

Shakir, A. A., Naganathan, S. K., Mustapha, K. N. B., 2013, Development of bricks from waste material: A review paper. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(8), 812-818.

Ahmad, M. and Rasid, K., 2022, Novel approach to synthesize clay-based geopolymer brick: Optimizing molding pressure and precursors' proportioning. Construction and Building Materials, 322 (2022),

- Turan, E., 2019, Bor Atığı Kil Pestillerinin Mühendislik Özellikleri Ve Yüksek Plastisiteli Kilin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Madani, H. Ramezaniapour, A.A., Shahbazinia, M., Ahmadi, E., 2020, Geopolymer bricks made from less active waste materials, *Construction and Building Materials*, 247 (2020), 118441.
- Gencel, O., Sütçü, M., Erdoğan, E., Koc, V., Çay, V.V., Gök, M.S., 2013, Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite, *Journal of Cleaner Production*, 59 (2013), 111–119.
- Ibrahim, W.M.W., Hussin, K., Abdullah B.M.M., 2015, A review of fy ash-based geopolymer lightweight bricks, *Applied Mechanics and Materials*, 452–456.
- Horel, C., 2012, Sodyum Hidroksit ve Soydum Silikat ile Aktive Edilmiş Taban Külünün Çimentoya Etkisi ve Geopolimerik Tuğla Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Lisans Tezi, Afyon.
- Zeybek, O., 2009, Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Tuğla Üretimi, Yüksek Lisans, Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S.M.S. ve Munir, M. J., (2017). Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: mechanical and durability properties. *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14.
- Çimen, S., Çağlar, H., Çağlar, A., Can, Ö., 2020, Effect of Boron Wastes on the Engineering Properties of Perlite Based Brick. *Turkish Journal of Nature and Science*, 9(2), 50-56.
- Kumarasamy, V., Sampath, R., Kandasamy, S., 2021, Experimental Study on Hardened Mechanical and Durability Properties of Industrial Ash Bricks. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-8.
- Prathyusha, P., Ramujee, K., 2020, The Development and Study of Fiber Reinforced Fly Ash Bricks. *Advances in Civil Engineering, Conference*, 177-187.
- Waheed, A., Azam, R., Riaz, M.R., Zawam, M., 2022, Mechanical and durability properties of fy ash cement sand composite bricks: an alternative to conventional burnt clay bricks, *Innovative Infrastructure Solutions*, (2022), 7-24.
- Çağlar, H., 2021, Investigation of the effect of fly ash and boron waste additive on brick structure material, *Turkish Journal of Nature and Science*, 10(1), 137-143.
- Ranjitham, M., Vishvapriya, M., Pavya, K., 2021, Experimental Investigation on Geopolymer Bricks, *Advances in Civil Engineering, Conference*, 97-106.
- Kang, X., Gan, Y., Chen, R., Zhang, C., 2021, Sustainable eco-friendly bricks from slate tailings through geopolymerization: synthesis and characterization analysis, *Construction and Building Materials*, 278, (2021), 122337.
- Singh, B.K. and Sengupta, S., 2022, An overview of fly ash utilization in production of geopolymer bricks and various factors influencing its strength, *Innovative Infrastructure Solutions*, 7 (283), 1-13.
- Madani, H. Ramezaniapour, A.A., Shahbazinia, M., Ahmadi, E., 2020, Geopolymer bricks made from less active waste materials, *Construction and Building Materials*, 247 (2020), 118441.
- Amin, S.K., Sherbiny, AboEl-Magd, S.E.A., Belal, A., Abadir, M.F. (2017). Fabrication of geopolymer bricks using ceramic dust waste, *Construction and Building Materials*, 157 (2017), 610-620.