



Geopolimer esaslı ahşap kompozitleri

Geopolymer based wood composites

Sebnem Sevil ARPACI^{1*}, Ergün GÜNTEKİN¹

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye.

Sorumlu yazar:

Sebnem Sevil ARPACI

E-mail:

sebnem.arpaci@btu.edu.tr

Gönderim Tarihi:

20/03/2023

Kabul Tarihi:

27/04/2023

Bu makaleye atıf vermek için:

Arpacı, Ş.S., Güntekin, E. 2023. Geopolimer Esaslı Ahşap Kompozitleri. Ağaç ve Orman, 3(2), 6-13.

Özet

Ahşap esaslı kompozitler, yapısal veya yapısal olmayan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu malzemelere olan talep nüfus artışına paralel olarak artmaktadır. İnorganik bağlayıcı ahşap esaslı levhaların diğer ahşap esaslı levhalara boyutsal kararlılık, yangına dayanım ve böcek/mantarlara karşı dayanım gibi avantajları bulunmaktadır. Son yıllarda çimentonun neden olduğu sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik yapılan araştırmaların sonucunda düşük CO₂ emisyonu, yüksek mekanik ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle, üçüncü nesil çimento olarak kabul edilen geopolimerler, Portland çimentolarına alternatif olarak kullanılabilir çevre dostu bir ürün olarak görülmektedir. Geopolimerlerin ahşap esaslı kompozitlerin üretiminde Portland çimentosu yerine alternatif olabileceği yapılan çalışmalarda görülmektedir. Geleneksel inşaat malzemelerine alternatif sürdürülebilir ve çevre dostu ürünler için yapılan çalışmaların sonucunda ortaya çıkan geopolimerler düşük karbon ayak izi malzemesi olarak büyük bir potansiyel sunmaktadır. Geopolimer esaslı ahşap kompozitlerin üretiminde kullanılan farklı parametrelere sahip olmaları kullanım alanlarını çeşitlendirebilir.

Anahtar kelimeler: Geopolimer, ahşap, kompozit

Abstract

Wood-based composites are widely used in structural or non-structural applications, and the demand for these materials is increasing in parallel with population growth. Wood-based boards with inorganic binders have advantages over wood-based boards, such as dimensional stability, fire resistance, and insect/fungal resistance. As a result of the research carried out to reduce greenhouse gas emissions caused by cement in recent years, geopolymers, which are accepted as third-generation cement due to their low CO₂ emission and high mechanical and durability properties, are developed as an environmentally friendly product that can be used as an alternative to Portland cement. Studies show that geopolymers can be an alternative to Portland cement in producing wood-based composites. Geopolymers, the result of studies for sustainable and environmentally friendly products alternative to traditional construction materials, offer great potential as a low carbon footprint material. Different parameters used in the production of geopolimer based wood composites can offer various utilization areas.

Keywords: Geopolymer, wood, composite.

1. Giriş

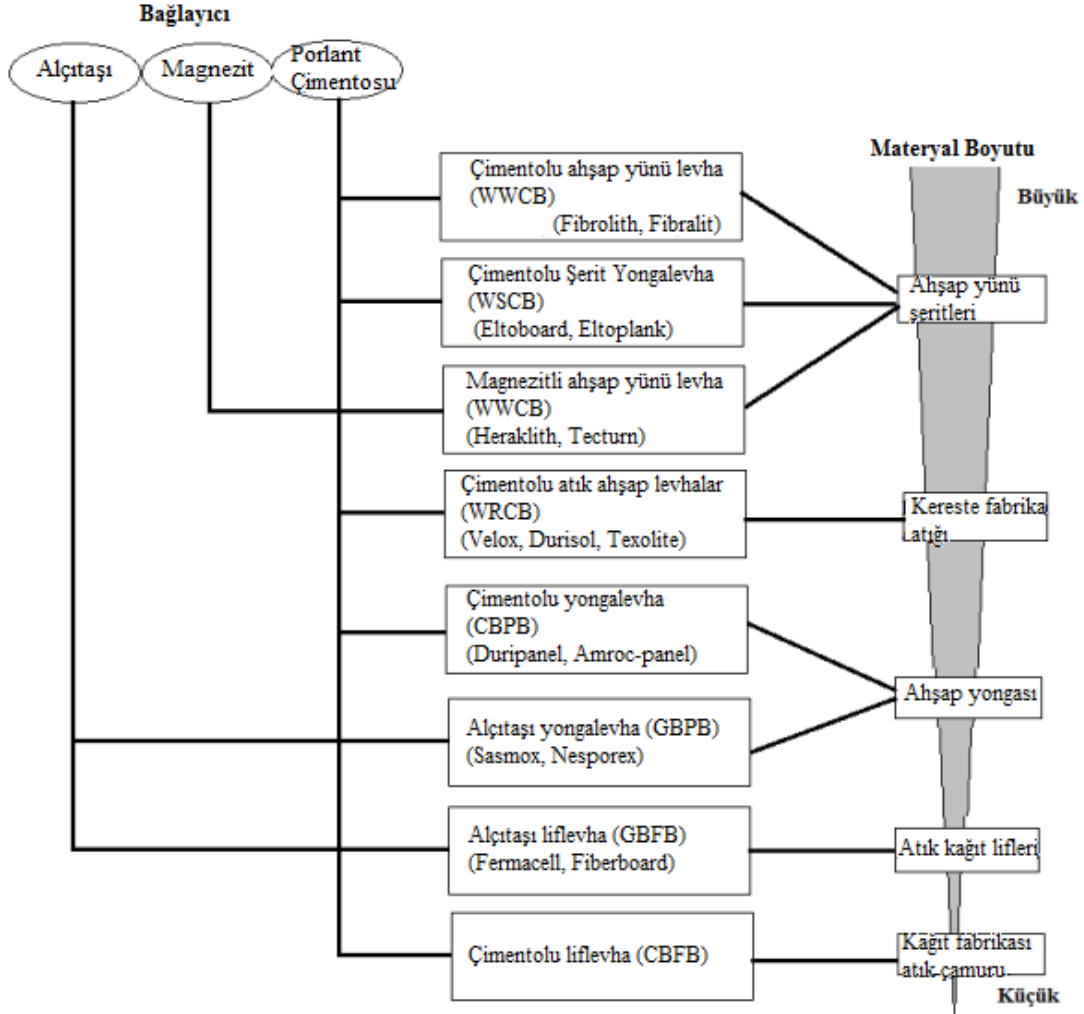
Ahşap yonga ve lifleri, mobilya endüstrisi, inşaat sektörü gibi pek çok alanda kullanılmak üzere, organik veya inorganik bağlayıcılar ile kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Ahşap esaslı kompozitlerin kolay işlenebilir olması, hafifliği, hammadde kaynağının sürdürülebilirliği, düşük üretim maliyeti gibi avantajları nedeniyle endüstriyel alanda sıklıkla tercih edilmektedir. Geleneksel olarak, ahşap esaslı kompozitlerin üretiminde sentetik yapıştırıcılara (üre-formaldehit, melamin-formaldehit, fenol-formaldehit vb.) ihtiyaç duyulmaktadır. Çeşitli monomerik organik maddelerin polimerizasyonu ile

üretilen bu yapıştırıcılar, ahşap levha üretiminde hakim durumdadır. Ancak artan çevre kirliliği ile formaldehit emisyonunun azaltılması ihtiyacı ortaya çıkmış, kullanılan ahşap bağlayıcılara alternatif malzemelere ilgi artmıştır. Araştırmacıların yaptığı çalışmalar sonucunda, alternatif bağlayıcı malzemeler; biyo bazlı ahşap yapıştırıcılar (Amini vd. 2013; Sulaiman vd. 2013), yapıştırıcıların kimyasal yapısının modifikasyonu (Liu ve Li 2002; Vitale vd. 2014) ve inorganik bağlı malzemeler olarak gruplandırılmaktadır (Al Rim vd. 1999; Gouny vd. 2014; Sarmin vd. 2014).

İnorganik esaslı ahşap kompozitler, ağırlıkça yüzde 10 ila 70 arasında ahşap yongaları/lifleri ve buna karşılık yüzde 90 ila

30 arasında inorganik bağlayıcı içeren kalıplanmış panellerdir. Bu malzemeler maliyet, yer, zaman ve işlenebilirlik açısından tasarruf sağlamanın yanı sıra yüksek darbe dayanımına sahip yüksek mukavemetli yapı malzemeleridir. Çoğu mantarlar, böcekler ve haşereler

tarafından bozulmaya karşı dayanımı yüksek ve en önemlisi ateşe ve suya dayanıklıdır. Bilinen başlıca inorganik bağlayıcı Portland çimentosu, ahşap-çimento levhalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. İnorganik esaslı ahşap kompozitlerin karşılaştırılması (Yel, 2015).

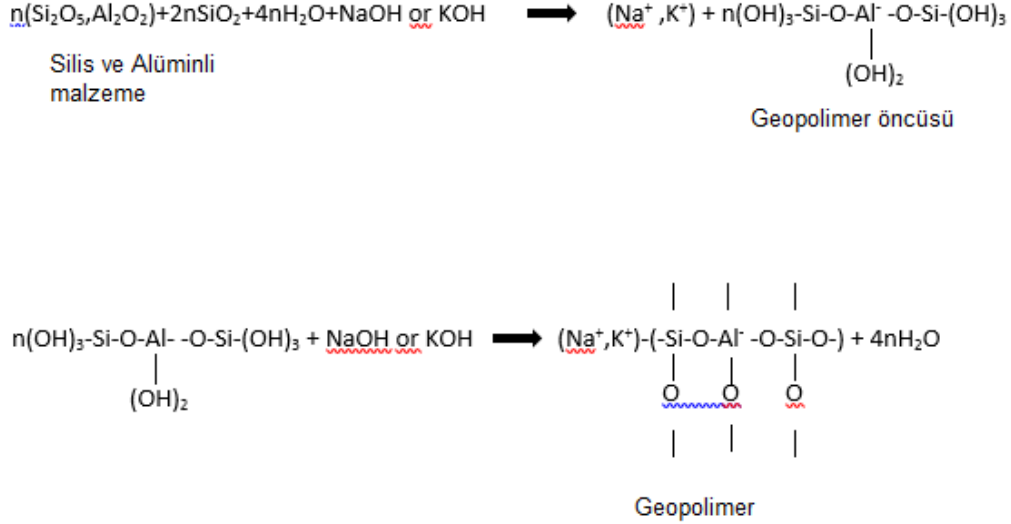
Figure 1. Comparison of inorganic wood-based composites (Yel, 2015).



Şekil 2. Çimentolu levha örneği.

Figure 2. An example of cement board

Çimentonun üretim ve kullanımlarının insan ve çevre üzerindeki etkilerine yönelik artan endişe nedeniyle, benzer veya daha üstün özelliklere sahip farklı alternatif bağlayıcılar geliştirilmektedir. Artan çevresel kaygılar ve çimento kullanımıyla ilgili diğer sorunları ele almak için, çimentolu malzemelere alternatif geopolimerler 1950'lerde Glushkovsky tarafından keşfedilmiş ve 1970'lerin sonlarında Davidovits tarafından geliştirilmiştir. Bu makale geopolimerizasyon sürecini açıklamakta ve sıradan inorganik bağlayıcı olarak bilinen çimentoya alternatif olarak geopolimer kullanarak inorganik bağlı ahşap kompozitler üretme potansiyeli üzerine hazırlanmıştır.



Şekil 3. Geopolimer malzemenin şematik oluşumu (Davidovits, 1998).

Figure 3. Schematic formation of geopolimer material (Davidovits, 1998).

1.2. Geopolimer üretiminde hammaddeler

Çoğunlukla Silikon (Si) ve Alüminyum (Al) içeren herhangi bir malzeme, geopolimer üretimi için olası bir hammaddedir. Bu malzemeler; yüksek fırın cürufu, metakaolin veya kalsine kaolin, zeolit, uçucu kül, pirinç kabuğu-kabuk külü gibi endüstriyel atıklar, maden atıkları, kağıt atıkları, seramik vb. doğal ve maliyeti düşük malzemelerdir. Bu malzemelerden geopolimer elde edilmesi, geçmiş yıllarda çalışılmış ve literatürde yerini almıştır (Davidovits 1999; Barbosa vd., 2000; Teixeira-Pinto vd., 2002, Swanepoel ve Strydom, 2002; van Jaarsveld vd., 2002; Cheng ve Chiu 2003).

Yapılan çalışmalar ışığında, çeşitli alanlarda kullanılan Portland çimentosu gibi geleneksel inorganik bağlayıcı malzemelerin yerine, üretilen geopolimerlerin alternatif bir bağlayıcı potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. Aynı zamanda hızlı kürlenme, yüksek asit ve yangına dayanım, agregalara mükemmel yapışma, daha düşük enerji kullanımı ve düşük CO₂ emisyonları gibi birçok avantaja sahip olduğu bildirilmektedir (Alomayri vd., 2013; Chen vd., 2014; Duan vd., 2016).

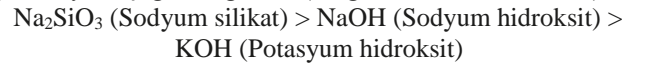
1.3. Alkali aktivatörler

Ana alkali aktivatörü sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, kalsiyum hidroksit ve sodyum silikattır. Sodyum hidroksit,

1.1. Geopolimerlerin tanımı

Davidovits (2013) göre, "geopolimer, aktif düşük kalsiyumlu siliko-alümina malzemenin bir alkalin aktivatör ile reaksiyonuyla hazırlanan, üç boyutlu bir ağ ile reaksiyona girmesiyle hazırlanan mekansal yapıya sahip bir tür inorganik siliko-alüminyum çimentolu malzemedir". Kısaca, amorf alüminosilikat malzemelerin oda sıcaklığında veya biraz yüksek sıcaklıklarda alkali aktivasyonu ile geliştirilmiştir (Olayiwola, 2021).

yüksek alkalitesinden dolayı üretiminde en çok tercih edilen aktivatördür. Kalsiyum hidroksit genellikle öncü malzemeleri puzolanik reaksiyon yoluyla aktive etmek için kullanılır. Geopolimer betonun dayanım özellikleri, başlangıç malzemelerinin kaynağı, aktivatörün türü, kür tekniği ve üretim değişkenleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Geopolimer reaksiyonu için kullanılan alkalilerin aktivasyon potansiyeli aşağıdaki gibidir (Sing ve Middendorf, 2020):



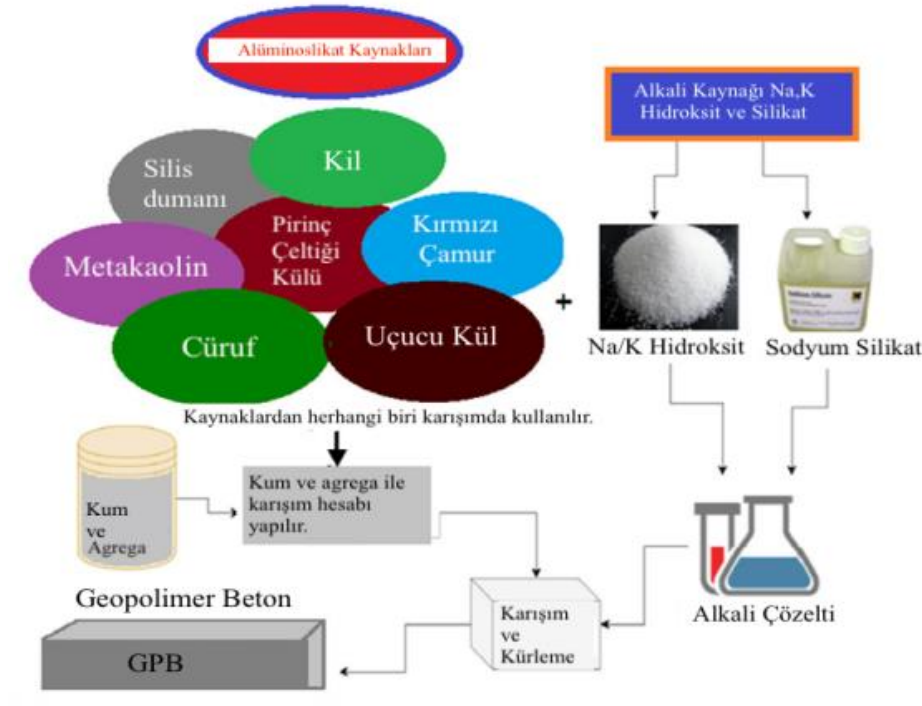
1.4. Geopolimer sentezi

Alkali aktivatör ve alümino-silikat tozu (kaynak malzeme) karışımı, geopolimer sentezinde önemli faktörlerden biridir. Genellikle karıştırıldıktan hemen sonra kalın bir jel oluştururlar. Daha önce yapılan araştırmalarda, geopolimer karışım bileşimlerinin tüm detaylarına açıklık getirilmemiştir. Geopolimer üretim süreci genellikle, kuru halde kaynak malzemelerin karıştırılmasını, ardından alkali çözeltinin eklenmesini ve daha sonra belirli bir süre daha karıştırılmasını içermektedir. Teixeira Pinto vd. (2002), bu işlem sırasında geopolimerin çok sert ve kuru hale geldiğini belirterek, malzemelerin karıştırılmasında gravite tipi karıştırıcı yerine cebri karıştırıcı tipinin kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca, karıştırma süresindeki artış, geopolimerlerin sıcaklığını arttırmış ve dolayısıyla

işlenebilirliği azaltmıştır. İşlenebilirliği geliştirmek için, viskoziteyi ve kohezyonu azaltan katkıların kullanılmasını gerekli görmüşlerdir. Öte yandan farklı bir metod uygulayan Cheng ve Chiu (2003), KOH ve metakaolinin önce on dakika karıştırarak, sonrasında sodyum silikat ve yüksek fırın cürufu ile beş dakika daha karıştırılmıştır. Bu işlem ile ıslak ve kuru malzemeleri ayrı ayrı karıştırarak farklı bir metod izlenebileceğini belirtmektedir.

Aynı zamanda, sertleşme süresi ve sıcaklık, geopolimerlerin nihai dayanım kazancının bağlı olduğu önemli faktörlerdir. Geopolimer hem oda sıcaklığında hem de 50°C ile 80°C arasındaki biraz yüksek sıcaklıklarda kürlenebilir. Literatüre göre, bu eşiğin ötesinde kürlenme, mukavemet özelliklerini azaltmaktadır. Mevcut araştırma bulgularında belirsizlik olduğundan, geopolimer üretimi için kürlenme tekniği

anlayışı henüz tam olarak gelişmemiştir. Kürlenme için, oda sıcaklığından yaklaşık 90°C'ye ve 1 saatten 24 saatin üzerine kadar değişen çok çeşitli sıcaklıklar ve kürlenme süreleri kullanılmaktadır. Metakaolin kullanılarak üretilen geopolimerlerin ortam sıcaklığında kısa sürede sertleştiği bildirilmiştir (Davidovits 1991). Yazar aynı çalışmasında, kür sıcaklığı ve kür süresinin uçucu kül gibi yan ürünlerin, elde edilen geopolimer malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynadığına vurgu yapmıştır. Palomo vd. (1999), kür sıcaklığındaki artışın uçucu külün aktivasyonunu hızlandırdığını ve daha yüksek basınç dayanımı ile sonuçlandığını gösteren farklı bir çalışma yapmıştır.



Şekil 4. Geopolimer prosesi (Sing ve Middendorf, 2020).

Figure 4. Process of Geopolymer (Sing ve Middendorf, 2020).

1.5. Geopolimer malzemenin işlenebilirliği

Başlangıç malzemesi/aktivatör oranı ve aktivatör konsantrasyonu, geopolimer ürünlerin mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkileyen kritik faktörlerdir (Petermann ve Saeed 2010). Hidrasyon işlemi, elde edilen ürünün mukavemetini doğrudan etkileyen önemli işlemdir. Hidrasyon işlemi, geopolimer betondaki alkali sıvı/uçucu kül oranı gibi birçok faktöre bağlıdır. Chanh vd. (2008), kür sıcaklığı arttıkça geopolimer betonun hidrasyon sürecinin azalacağını bildirmiştir. Sing ve Middendorf (2020), düşük sıcaklıkta uzun kürlenmenin mikro çatlaklara neden olabileceğini belirtmektedir. Antoni vd. (2017), çalışmasında NaOH molaritesindeki azalmanın hidrasyon süresini geciktirdiği raporlamıştır. Malkawi vd. (2016), geopolimer betonda cüruf oranının artmasıyla hidrasyon süresinin kısıllacağını belirtmişlerdir. Ancak, literatürde yer

alan çalışmalarda hidrasyon süresinin nasıl ölçüleceği hakkında pek fazla bilgiye rastlanmamaktadır. Cheng ve Chiu (2003), geopolimer malzemenin sertleşme süresinin Vicat iğnesi kullanılarak kantitatif olarak ölçülebileceğini yaptığı çalışmaların ardından bildirmiştir.

Basınç dayanımı bütün beton türleri için temel bir özellik olmakla beraber kürlenme süresi ve kür ısı gibi faktörlere bağlıdır. Hidrotasyon süresi ve sıcaklık arttıkça basınç dayanımı artar. Joseph ve Mathew (2012), 2,5:1 Na₂SiO₃/NaOH oranı ve 12 ML NaOH ile geopolimer betonu çalıştırmak için en yüksek basınç dayanımını elde etmiştir. Geopolimerler hem oda koşullarında hem de yüksek sıcaklıklarda kürlenebilir. Kürlenme sıcaklığı ve süresi gibi kürlenme koşulları, nihai ürünün dayanımını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu alanda yapılan çalışmalarda, yüksek sıcaklıkta kürlenen geopolimerlerin daha iyi dayanım özellikleri gösterdiği bildirilmiştir (Hardjito ve

Rangan, 2014). Atis vd. (2009) çalışmasında, NaOH ile aktifleştirilmiş uçucu kül kullanılarak üretilen geopolimer betonlarda 75°C'de farklı sürelerde kürlenmenin mekanik özellikleri önemli ölçüde artırdığı sonucuna varmıştır.

1.6. Geopolimer kullanım alanları

Geopolimer üretimi ve geopolimer teknolojisine yönelik hem endüstriyel alanda hem de akademik alanda çalışmalar bugün halen devam etmekte ve ilgi çekmektedir. Endüstriyel kullanım alanları;

- Isıya dayanıklı ahşap paneller
- İzolasyonlu panel ve duvarlar
- Dekoratif taş eserler
- Termal izolasyon için köpük geopolimer panel
- Düşük teknoloji inşaat malzemeleri
- Beton üretimi
- Isı dirençli ve yanmaz kompozitler

olarak özetlenmiştir (Davidovits, 2011).

Dünya genelinde farklı sektörde kullanılan malzemelere ikame olarak kullanılabilirliği üzerine ilgi artmıştır. Bununla birlikte; 1994 ve 1995 Formula 1 sezonlarında Benetton-Renault Formula 1 Sport Car takımı titanyum egzoz boru sistemi yerine termal korumalı karbon-geopolimer kompozit tasarlayıp şaside kullanmış, bu teknolojinin kazanılan başarıda destekleyici olduğu düşünülmüştür. Ayrıca, Amerikan Federal Havacılık İdaresi, kabin ve kargo bölümlerinde yaşanan kazalar sonucu çıkan yangınların, yanıcı olmayan laminat geopolimer kompozit malzemeler ile önlenebileceğini ön görmüş, üretilen kumaş kabin ve kargo bölümünün iç mekanlarında kullanılmıştır (Davidovits, 2011).



Şekil 5. 1994 yılında Benetton B194 modeli üzerinde uygulanan termal korumalı geopolimer-karbon kompozit tasarımı (Davidovits, 2006).

Figure 5. The thermally protected geopolymer-carbon composite design applied to the Benetton B194 model in 1994 (Davidovits, 2006).

Gourley ve Johnson (2005), kanalizasyon boruları, demiryolu traversleri ve duvar panelleri olmak üzere bazı ön dökümlü geopolimer beton ürünleri geliştirmiştir. Bu

sayede, geopolimer beton ve donatı kullanılarak çapları 375 mm ile 1800 mm arasında değişen kanalizasyon boruları üretilmiştir.



Şekil 6. Geopolimer betondan üretilmiş kanalizasyon borusu (1500mm çap) (Gourley ve Johnson, 2005).

Figure 6. Sewer pipe made of geopolymer concrete (1500 mm-diameter) (Gourley ve Johnson, 2005).

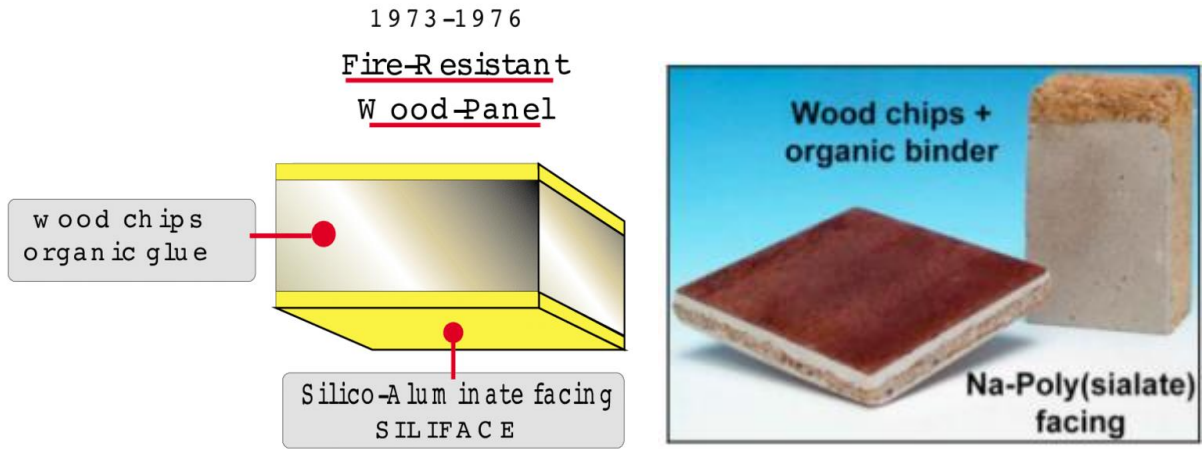
Geopolimer malzemelere ilgi arttıkça kullanım alanları çoğalmaktadır, son yıllarda inorganik bağlayıcılı ahşap kompozit alanında yoğun ilgi görmektedir.

1.7. Geopolimer ahşap kompozitleri

Portland çimentosu, 80 yılı aşkındır ahşap-çimento levhalarda kullanılan başlıca inorganik bağlayıcı iken, yeniden yapılandırılmış yonga levhalar, yönlendirilmiş geleneksel bağlayıcı olarak adlandırılan çimentonun yerine son yıllarda geopolimer kullanımı üzerine çalışmalar başlamıştır. Ahşap veya lignoselülozik lifler, düşük yoğunluklu ve yeterli mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle inorganik bağlı ahşap kompozit üretiminde, bir agrega veya bir takviye elemanı olarak rol oynamaktadır. Araştırmacıların, lif ve inorganik bağlayıcıların bir karışımı ile mukavemet geliştirme üzerine birçok çalışması vardır.

yonga levhalar, sunta, kontrplaklar ve lif levhalar üretiminde de kullanılmaktadır. Bu yapı malzemeleri, bölme, çatı kaplama, kaplama, yer karoları ve dış mekan mobilyaları gibi farklı iç ve dış mekan gibi pek çok kullanıma alanında değerlendirilmektedir. Ancak, üretim ve kullanımlarının insan ve çevre üzerindeki etkilerine yönelik artan endişe nedeniyle,

Bununla birlikte, bunların geopolimer matrisine dahil edilmesi hala araştırılmaktadır. Bu alanda ilk çalışmalar geopolimerin mucidi olan Davidovits tarafından yapılmıştır. Davidovits (1988) 1974-1978 yıllarında, siliface olarak adlandırdığı kaolinit/kuvars birleşiminden oluşturduğu geopolimer ile ahşap parçalarının iki tarafını kaplamıştır. İki SILIFACE kaplama ile kaplanmış yongalardan, yangına dayanıklı yonga levha gibi yapı ürünleri üreterek patent almıştır.



Şekil 7. Geopolimerik malzeme ile kaplanmış sunta paneller (Davidovits 2002).

Figure 7. Chipboards veneered with geopolymeric material (Davidovits 2002).

Ahşap-geopolimer kompozit malzeme, ahşap ve geopolimer olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Malzemedeki ahşap ve geopolimer oranına bağlı olarak özellikleri değişmektedir. Geopolimer-lif kombinasyonu olan malzemelerin, mekanik özellikleri iyileşebilir, ancak sertleşme, işlenebilirlik, yoğunluk, gözeneklilik gibi fiziksel özellikler de lif takviyesinden dolayı olumsuz etkilenebilir. Zulfıati vd. (2019) farklı uzunlukta ananas lifleri ile elde ettiği geopolimer ahşap kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmıştır. 10, 20, 30 mm uzunluğundaki liflerin eklendiği test örneklerinde en yüksek basınç ve eğilme dayanımını 30 mm ananas lifi içeren panellerin verdiği görülmüştür. Alomayri vd. (2013), yüksek sıcaklıklarda pamuklu kumaşla güçlendirilmiş bir uçucu kül geopolimerinin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Pamuk lifi takviyesiyle elde edilen geopolimer ahşap kompozitlerin eğilme dayanımında artış görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre lif miktarı arttıkça, geopolimer bağlayıcılı ahşap kompozitlerin yoğunluğu azalmış ve yüzey gözenekliliği artmıştır. Bu çalışma aonucunda, kompozit malzemede lif içeriğinin artmasının işlenebilirliği azalttı belirtilmiştir. Huang vd. (2021) yatıkları çalışmada, endüstriyel atık çürüf ve tarımsal atık pirinç sapı kullanılarak geopolimer bağlayıcılı ahşap kompozit elde etmişlerdir. Elde edilen test

örneklerin de eğilme dayanımı önemli ölçüde iyileşirken, lif oranı arttıkça su emme oranlarının arttığı bildirilmiştir. Sarmin vd. (2014), kompozit üretmek için %10 ahşap yongası, uçucu kül/metakaolin geopolimerinin özelliklerini araştırmış ve ahşap yongası ilavesiyle geopolimer kompozitte su emmenin arttığı gözlemlenmiştir. Chen vd. (2014), sorgum liflerinin ve uçucu kül bazlı geopolimer harcın işlenebilirliğini incelemiştir. Lif ilavesiyle yoğunluğun azaldığı bildirilmiştir. Duan vd. (2016), 10M NaOH/Na₂SiO₃ ve uçucu külden elde edilen bir geopolimer matrisine talaş eklemiştir. %20'ye kadar talaş ilavesinin kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Olayiwola (2021), uçucu kül ve metakaolin/bagas ile üretilen geopolimer üretimini araştırmıştır. Lignoselülozik malzemeler ile standartlara uygun inorganik bağlayıcılı levhalar geliştirilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, üretilen levhanın özelliklerini büyük ölçüde başlangıç maddesi türü (uçucu kül, yüksek fırın çürüf, metakaolin vb.) ve oranı ile lignoselülozik hammadde kaynağının belirlediği bildirilmiştir. Asante vd. (2022), kullanılan ahşap unu hammaddesinde daha düşük nem içeriği ile üretilen geopolimer kompozitlerden daha yüksek yoğunluk ve basınç dayanımı değerleri elde edildiği tespit edilmiştir.

Sarmin (2017), ahşap yongalarının %30 metakaolin ile ikame edilmiş uçucu kül bazlı bir geopolimerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yonga boyutu arttıkça, yoğunluk ve basınç dayanımı azalmıştır. Ahşap yongaları miktarı arttıkça, topaklaşma oluşmuş, matristeki homojenliğin zorlaştığı sonucuna varılmıştır. Ahşap lifi içeriğinin de geopolimerin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, geopolimer bağlayıcılara sırasıyla %10 ve %20'ye kadar ahşap yongaları eklenmiştir. Yonga %10'dan fazlası eklendiğinde, geopolimerin basınç dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Sarmin ve Duan, 2016). Chen vd. (2014), sorgum lifi eklendiğinde geopolimer-ahşap kompozitlerin birim ağırlığının azaldığını bildirmiştir. Geopolimer bağlayıcı kompozitin optimum ahşap yonga seviyesinin %20 olduğu bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda lignoselülozik malzemelerin kimyasal bileşiminden genellikle bahsedilmemektedir. Geopolimer sentezinde, lignoselülozik malzemelerin doğal içeriği dikkate alınması gereken önemli bir faktör olabilir. Çünkü her lignoselülozik malzeme, inorganik bağlayıcılarla farklı etkileşime girmektedir.

2. Sonuç

Geopolimer bağlı ahşap kompozitlerin geliştirilmesi ve stabilizasyonu, kullanım alanlarında sürekliliği sağlayabilmek adına önemlidir. Bu konuda az sayıda çalışmaya rastlanmış olsa da, gerekli dayanım özelliklerini iyileştirmek için farklı metodlara yönelik çalışmalara ilgi artmaktadır. Özellikle inşaat alanında geopolimer teknolojisi üzerine birçok çalışma görülmekte, fakat geopolimer bağlı ahşap kompozitlerin özellikleri ve hatta bunların nasıl üretileceği hakkında hala bir bilgi eksikliği vardır. Bu nedenle, çevre dostu ürünler olarak kullanıma potansiyeline sahip olan geopolimer bağlı ahşap kompozitlerin yapıma olasılığının araştırılması için çok fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Ahşap kompozit üretiminde geopolimer tipi bağlayıcı kullanılması, potansiyel olarak önemli bir formaldehit içermeyen ahşap kompozit tipi sınıfı ile sonuçlanabilir. Pazarda yerini almış kompozitler ile benzer özellikler sağlanabilmesi koşuluyla, geopolimer bağlayıcı ahşap kompozit malzemeler, fenol, melamin veya izosiyanat gibi toksit özellikteki yapıştırıcılar yerine, yapı malzemesi tedarikçileri tarafından tercih edilecektir. Çünkü artan küresel farkındalık, iyi özelliklere sahip, insan ve çevre üzerindeki etkisi düşük, alternatif düşük maliyetli malzemeler bulma ilgisini artırmıştır. Gelecekteki araştırmaların sonuçları, özellikle çevre dostu malzemelerin geliştirilmesinde etkili olacak ve orman endüstrisi üzerinde büyük ve doğrudan etkiye sahip olacaktır.

Kaynaklar

Al Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilly, R. M., & Queuedeuc, M. (1999). Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. *Cement and Concrete Composites*, 21(4), 269-276.

Alomayri, T., Shaikh, F. U. A., & Low, I. M. (2013). Characterisation of cotton fibre-reinforced geopolymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 50, 1-6.

Amini, M. H. M., Hashim, R., Hiziroglu, S., Sulaiman, N. S., & Sulaiman, O. (2013). Properties of particleboard made from rubberwood using modified starch as binder. *Composites Part B: Engineering*, 50, 259-264.

Antoni, A., Sugiarto, A. & Hardjito, D., (2017). Effect of Variability of Fly Ash Obtained from the Same Source on the Characteristics of Geopolymer. *MATEC Web of Conferences*, 97(1026).

Asante, B., Ye, H., Nopens, M., Schmidt, G., & Krause, A. (2022). Influence of wood moisture content on the hardened state properties of geopolymer wood composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 152, 106680.

Atiş, C. D., Bilim, C., Çelik, Ö., & Karahan, O. (2009). Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar. *Construction and building materials*, 23(1), 548-555.

Barbosa Valeria, F., & MacKenzie Kenneth, J. (2000). Thaumaturgo Clelio. Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers. *Int J Inorganic Polym*, 2, 309-17.

Chen, R., Ahmari, S., & Zhang, L. (2014). Utilization of sweet sorghum fiber to reinforce fly ash-based geopolymer. *Journal of Materials Science*, 49, 2548-2558.

Cheng, T. W., & Chiu, J. P. (2003). Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Minerals engineering*, 16(3), 205-210.

Davidovits, J. (1991). Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 37(8), 1633-1656.

Davidovits, J. (2011). *Geopolymer chemistry and applications*. 3rd edition.-France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer.

Davidovits, J. (2013). Geopolymer cement. *A review. Geopolymer Institute, Technical papers*, 21, 1-11.

Davidovits, J. (1988). "Geopolymers of the First Generation: SILIFACE-Process." in *Geopolymer '88, First European Conference on Soft Mineralogy*. Compiègne, France.

Davidovits, J. (2002). 30 years of successes and failures in geopolymer applications. Market trends and potential breakthroughs. In *Geopolymer 2002 conference* (Vol. 28, p. 29). Saint-Quentin, France; Melbourne, Australia: Geopolymer Institute.

Duan, P., Yan, C., & Zhou, W. (2016). Influence of partial replacement of fly ash by metakaolin on mechanical properties and microstructure of fly ash geopolymer paste exposed to sulfate attack. *Ceramics International*, 42(2), 3504-3517.

Gouny, F., Fouchal, F., Maillard, P., and Rossignol, S. (2014). "Study of the Effect of Siliceous Species in the Formation of a Geopolymer Binder: Understanding the Reaction Mechanisms among the Binder, Wood, and Earth Brick," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(9), 3559-3569.

Gourley, J. T., & Johnson, G. B. (2005). Developments in geopolymer precast concrete. In *World congress geopolymer* (pp. 139-143). Geopolymer Institute Saint-Quentin, France.

Hardjito, Djwantoro, and B. Vijaya Rangan. (2014). "Geopolymer Concrete for Environmental Protection." *Research Report GC (April):41-59*. doi: 10.16953/deusbed.74839.

- Joseph, B. & Mathew, G., (2012). Influence of aggregate content on the behavior of fly ash based geopolymer concrete. *Scientia Iranica*, 19(5), pp. 1188-1194.
- Liu, Y., & Li, K. (2002). Chemical modification of soy protein for wood adhesives. *Macromolecular Rapid Communications*, 23(13), 739-742.
- Malkawi, A. B., Nuruddin, M. F., Fauzi, A., Almattarneh, H., & Mohammed, B. S. (2016). Effects of alkaline solution on properties of the HCFA geopolymer mortars. *Procedia engineering*, 148, 710-717.
- Olayiwola, H. O. (2021). *Development of geopolymer bonded wood composites* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Palomo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and concrete research*, 29(8), 1323-1329.
- Petermann, J. C., Saeed, A., & Hammons, M. I. (2010). Alkali-activated geopolymers: a literature review.
- Sarmin, S. N. (2017). The influence of different wood aggregates on the properties of geopolymer composites. In *Key Engineering Materials* (Vol. 723, pp. 74-79). Trans Tech Publications Ltd.
- Sarmin, S. N., Welling, J., Krause, A., & Shalabafan, A. (2014). Investigating the Possibility of Geopolymer to produce inorganic-bonded wood composites for multifunctional construction material—A Review. *BioResources*, 9(4), 7941-7950.
- Singh, N. B., & Middendorf, B. (2020). Geopolymers as an alternative to Portland cement: An overview. *Construction and Building Materials*, 237, 117455.
- Sulaiman, N. S., Hashim, R., Amini, M. H. M., Sulaiman, O., & Hiziroglu, S. (2013). Evaluation of the Properties of Particleboard Made Using Oil Palm Starch Modified with Epichlorohydrin. *BioResources*, 8(1).
- Swanepoel, J. C., & Strydom, C. A. (2002). Utilisation of fly ash in a geopolymeric material. *Applied geochemistry*, 17(8), 1143-1148.
- Teixeira-Pinto, A., Fernandes, P., & Jalali, S. (2002). Geopolymer manufacture and application—Main problems when using concrete technology. In *Geopolymers 2002 International Conference, Melbourne, Australia, Siloxo Pty. Ltd.*
- Van Chanh, N., Trung, B. D., & Van Tuan, D. (2008). Recent research geopolymer concrete. In *The 3rd ACF international conference-ACF/VCA, Vietnam* (Vol. 18, pp. 235-241).
- Van Jaarsveld, J. G. S., Van Deventer, J. S., & Lukey, G. C. (2002). The effect of composition and temperature on the properties of fly ash-and kaolinite-based geopolymers. *Chemical Engineering Journal*, 89(1-3), 63-73.
- Vitale, A., Priola, A., Tonelli, C., & Bongiovanni, R. (2014). Improvement of adhesion between a UV curable fluorinated resin and fluorinated elastomers: effect of chemical modification onto the mechanical properties of the joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 48, 303-309.
- Yel, H. (2015). Bazı üretim faktörlerinin çimentolu yongalevha özellikleri üzerine etkileri, Doktora tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Zulfiati, R., & Idris, Y. (2019). Mechanical properties of fly ash-based geopolymer with natural fiber. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1198, No. 8, p. 082021). IOP Publishing.
- Huang, Y., Tan, J., Xuan, X., Liu, L., Xie, M., Liu, H., Zheng, G. (2021). Study on untreated and alkali treated rice straw reinforced geopolymer composites. *Materials Chemistry and Physics*, 262, 124304.