

Çimento Katkı Malzemesi Olarak Kullanılan Doğal Puzolanların Ekolojik Etkileri

Hadaan TABAN¹, H. Süleyman GÖKÇE², H. İbrahim ABAMA³

1 İnşaat Müh., Mühendislik Fakültesi, Kilis 7 Aralık Üniv., Kilis, Türkiye

2 İnşaat Müh., Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye

3 DSİ 20. Bölge Müdürlüğü, Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET

Günümüz yapı sektöründe ekolojik yapı malzemelerinin tercih edilmesi son derece önemli duruma gelmiştir. Ekolojik yapı malzemeleri yaşam döngüleri boyunca minimum düzeyde enerji harcayan, hammaddelerinin elde edilmesi, işlenmesi, kullanımı, bakım-onarım ve atık oluşumları sırasında çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen malzemelerdir. Günümüz yapı üretiminde yaygın olarak kullanılan çimentonun yüksek maliyeti ve çevreye olumsuz etkileri göz önüne alındığında alternatif malzeme araştırmaları gereği ortaya çıkmaktadır. Kyoto Protokolü ve benzer batılı anlaşmalar sonucunda sera gazı salınımına getirilen sınırlamalar, birçok alanda olduğu gibi dünya CO₂ salınımının %5-10'unu elinde bulunduran çimento endüstrisini de etkilemektedir. Bu anlaşmalar gereğince üye ülkelerin çimento üreticileri; üretim teknolojisini yenilemenin yanı sıra CO₂ salınımı olmayan, maliyeti azaltan ve ayrıca ekolojik üstünlükler sağlayan doğal puzolanları kullanmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda çimento katkı maddesi olarak kullanılan doğal puzolanların (zeolit, perlit, dolomit ve kolemanit) ekolojik etkileri ve CEM I 42.5 R çimentosuyla ağırlıkça % 0, 10 ve 20 oranlarında yer değiştirilerek üretilen çimento harç prizmalarının mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı test sonuçları incelendiğinde; en yüksek değerleri dolomit katkılı numunelerin, en düşük değerleri ise kolemanit katkılı numunelerin verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal puzolanlar, çimento, sera gazı salınımı,

Ecological Effects of Natural Pozzolans Used Additive Material in Cement

ABSTRACT

It is vital to prefer ecological materials by constructors in today's market. Ecological construction materials not only offer low energy consumption during their lifecycle but also gives no harm to human health and environment during the period of manufacturing raw materials, processing, using, maintenance and repairing and also waste management. Considering cement's high cost and negative impact on the environment, the need for the alternative material research emerges. As a result of Kyoto Protocol and similar western agreements, there has been some limitations to greenhouse gas (GHG) emission. Those limitations also have an impact on global cement industry which holds 5-10% of the whole GHG emissions in the world. According to the terms and conditions of these agreements, cement manufacturers of member nations aims to use natural pozzolans which not only offer low cost and technological advantage but also have no GHG emission as well as renewing manufacturing technology. In this context, ecological effects of natural pozzolans (zeolite, perlite, dolomite, and colemanite) used as an additive material in cement and the mechanical properties of production cement mortar was replaced with CEM I 42,5 R in ratio % 0, % 10 and % 20 by weight were evaluated. 28-days of flexural and compressive strength test results are analyzed; has been found that the highest values dolomite addition samples, the lowest values colemanite addition samples.

Key Words: Natural pozzolan, cement, GHG emissions,

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler sonucunda enerji tüketimi ve çevre kirliliği artmaktadır. Doğadaki enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi, son yıllarda karşılaşılan en önemli çevresel sorunların başında gelmektedir. Nüfus artışı sonucunda artan barınma ihtiyaçları çevre ve insan sağlığını tehdit etmeyecek şekilde planlanmalıdır. Bu nedenle günümüz yapı sektöründe sürdürülebilir yapı malzemelerinin tercih edilmesi son derece önemli duruma gelmiştir.

Yapıların çevreye olan etkisi endişe verici boyutlara gelmiştir. ABD'de, ticari ve konut binaları toplam enerjinin % 40'nı, elektriğin %70'ni, hammaddelerin %40'mı ve tatlı su miktarının %12'ni tüketmektedir. Sera gazı emisyonunun % 30'una neden olmakta ve 136 milyon ton inşaat ve yıkım artığı üretmektedir ABD'de kullanılan ham maddelerin %60'ı binalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle yapı malzemesinin seçimi sürdürülebilir tasarım açısından çok önemlidir [1].

Sürdürülebilir yapı malzemeleri yaşam döngüleri boyunca minimum düzeyde enerji harcayan, hammaddelerinin elde edilmesi, işlenmesi, kullanımı, bakım-onarım ve atık oluşumları sırasında çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen malzemelerdir

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: hadaantaban@kilis.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.15.4, 185-190

[2].Yaşam döngüleri göz önüne alınarak, yapı malzemeleri ve ürünlerine çevresel sürdürülebilirlik özelliği kazandırmak için üretim aşamasında belli yöntemler uygulanmalı ve çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler; kirliliği engelleme, atık miktarını azaltma ve geri dönüşümlü bileşen miktarını artırma olarak sayılabilir [3].

Kyoto Protokolü Birleşmiş Milletler çatısı altındaki ülkelerin İklim Değişikliği Çerçeve

2. MATERYAL VE YÖNTEM(MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada CEM I 42,5 R tipi çimento ve çimento katkı maddesi olarak Zeolit (Z), Perlit (P), Dolomit (D), Kolemanite (K) ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Ayrıca standart kum ve karışım suyu olarak da şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çimento ve katkı maddelerinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	K.K. (%)
Zeolit	69,45	10,50	1,32	0,00	4,94	2,78	0,10	0,00	4,16	3,93
Perlit	70,36	12,22	3,31	0,00	1,58	0,21	1,24	1,14	7,23	2,10
Dolomit	0,14	0,01	0,12	0,00	32,25	20,09	0,15	0,00	0,00	46,68
Kolemanit	7,65	0,12	0,04	38,12	27,40	1,82	0,41	0,15	0,00	22,64
Çimento	19,20	4,76	2,98	0,00	65,12	1,50	2,47	0,64	0,56	1,42

Konvansiyonu (UNFCCC) ile ilgili bir anlaşmasıdır. Kyoto Protokolü kapsamında bazı ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltması talep edilmektedir. İklim Değişikliği ile ilgili hükümetler arası panel, dünyada sıcaklığın küresel artışı tahmin etmiş ve karbondioksit gazının küresel ısınmada en önemli sera gazı olduğu konusunda görüş birliğine varmışlardır. Günümüzde sürdürülebilir teknoloji için; enerji, doğal kaynaklar ve çevrenin korunması üç önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık % 5-10’u çimento üretimiyle ortaya çıkmaktadır. Bugün küresel ısınmada en önemli rolü oynayan CO₂ gazı emisyonunun azaltılması amacıyla birçok araştırma ve girişimler başlatılmış ve devam ettirilmektedir. Ayrıca CO₂ emisyonunu ve enerji tüketimini azaltarak, çimento üretiminin neden olduğu çevresel etkiyi de azaltabilir [4].

Çimento maliyeti ve tüketimini azaltmak için bağlayıcı özelliğe sahip malzemeler katkılı çimento üretmek için kullanılabilir. Katkılı çimento, portland çimentosuna göre çok daha az enerji tüketimi sağlaması ve bazı özelliklerinin getirdiği ilave katkılardan dolayı yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu malzemeler endüstriyel atıklar (yapay puzolanlar) ve doğal puzolanlardır. İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan endüstriyel atıkların başında; uçucu küller, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü ve mermer tozu gelmektedir. Doğal puzolanlar ise; volkanik tüfler, volkanik camlar, volkanik küller, diatomitler, ısıtma işlem görmüş kil ve şeylerdir [5,6].

Bu çalışmada doğal rezervlerin değerlendirilmesi amacı ile zeolit, perlit, bor (kolemanit), dolomit % 0, 10 ve 20 oranlarında CEM I 42.5 R tipi çimentosu yerine ağırlıkça ilave edilerek çimento harç örnekleri üretilmiştir. Çimento harç örneklerinin mekanik özelliklerinden eğilmede çekme ve basınç dayanımları belirlenmiş ayrıca farklı katkı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli çevresel etkileri bakımından değerlendirilmiştir.

2.1.1. Zeolit (Zeolite)

Zeolit örneği Balıkesir ili Bigadiç bölgesinde yüzeylenen kayalardan alınmıştır. Özgül ağırlığı 2,30 g/cm³ ve özgül yüzeyi ise 3433 cm²/g ’dır.

Volkanik veya volkano-sedimanter malzeme olan doğal zeolitler üç boyutlu kafes yapısına sahiptir, alkali ve alkalın toprak katyonların sulu alüminyum silikatlarıdır. Zeolit kristalinin en küçük yapı birimi SiO₄ ya da AlO₄ dörtyüzlüdür. Bu dörtyüzlülerin değişik şekilde uzayda birleşmelerinden zeolitın gözenek ve kanallar içeren kristal yapısı meydana gelir [7].

Doğal zeolitler içinde en yaygın olanları; Klinoptilolit, Analsim, Holandit, Şabazit, Eriyonit, Mordenit’dir. Bunlar içerisinde en çok aranan özellikleri taşıyan türü klinoptilolittir. Klinoptilolitin değişebilir katyonları Na⁺, K⁺, Ca²⁺ ve Mg²⁺’dır. Zeolitler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, kirlilik kontrolü, enerji verimliliği, madencilik, tarım ve hayvancılık gibi birçok alanda kullanılmaktadır [8].

2.1.2. Perlit (Perlite)

Perlit örneği Ankara Çubuk bölgesindeki ocaktan getirilen malzemenin öğütülmesiyle elde edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,25 g/cm³ ve özgül yüzeyi 3380 cm²/g ’dır.

Perlit petrografik anlamda riyolitten dasite kadar değişebilen kimyasal bileşimde olan, %2-5 oranında uçucu bileşen içeren ve tipik soğan kabuğu dokusu gösteren, volkanik camsı kayalara denir. Ticari anlamda perlit ise 850-1100 °C arasında ani olarak ısıtıldığında ilk hacminin 10-30 katı kadar genişleyen ve çok hafif bir agrega haline gelen volkanik camdır [9,10].

Volkanik tüf bakımından zengin olan Türkiye’de zeolitik ve perlitik tüflerin çimento katkısı olarak kullanılabilme olanakları incelendiğinde, perlitik tüflerin öğütülmesindeki güçlüğü rağmen yüksek puzolanik aktivite gösterdikleri ve çimento özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir [11,12].

Türkiye, dünya genelinde perlit rezervi bakımından ABD ve Yunanistan'dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Bu durum perlitin yapı malzemesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması için önemli bir nedendir. Genleştirilmiş perlit az hacimli, düşük yoğunluktadır, fiziksel olarak esnektir ve doğal bir yalıtım maddesidir [13].

2.1.3. Dolomit (Dolomite)

Dolomit örneği Kahramanmaraş ili Hartlap bölgesinde yüzeylenen kayalardan alınmıştır. Özgül ağırlığı 2,86 g/cm³ ve özgül yüzeyi 3500 cm²/g'dır.

Kireçtaşı, dolomit ve aragonit ile bunların metamorfik ürünleri doğada ve özellikle ülkemizde çok yaygın olarak bulunan karbonatlı kayaların inşaat

Türkiye'de bulunma bakımından önemli olan bor mineralleri; Boraks (Tinkal), Kernit, Üleksit, Kolemanit, Pandermit ve Hidroborasit'tir. Bunların arasında Kolemanit minerali (Ca₂B₆O₁₁.5H₂O) sadece Türkiye ve ABD'de bulunmaktadır [17].

2.1.5. Çimento (Cement)

Bu çalışmada, Çizelge 1'de kimyasal özellikleri verilen CEM I 42,5R çimentosu kullanılmıştır.

2.1.6. CEN Standart Kumu (CEN Standard Sand)

Çimento harç numunelerinin hazırlanmasında TS EN 196-1 uygun Rilem-Cembureau standart kumu kullanılmıştır [18].

Çizelge 2. Çimento harçlarının malzeme miktarları

Numune türü	Katkı ikame oranı (%)	Katkı ikame miktarı (g)	Çimento miktarı (g)	Su miktarı (g)	Rilem kumu (g)
R	0	0	450	225	1350
Z10	10	45	405	225	1350
Z20	20	90	360	225	1350
P10	10	45	405	225	1350
P20	20	90	360	225	1350
D10	10	45	405	225	1350
D20	20	90	360	225	1350
K10	10	45	405	225	1350
K20	20	90	360	225	1350

sektöründe kullanımı oldukça önemlidir. Kireçtaşının ana mineralojik bileşeni kalsittir. Değişik oranlarda demir, magnezyum karbonat, kil mineralleri ve kuvars içeriğine sahiptir. Resifal kireçtaşları genellikle saf ve klastik elemanlar içermediği halde yüksek dolomit içerikli olabilmektedir [14].

Kimyasal bileşimi CaMg(CO₃)₂ olan dolomit ikili karbonat bileşiği olup CaO'nin yerini kısmen veya tamamen MgO'nin alması ile oluşmaktadır. Rombohedral kristal kafes yapısına sahip olan dolomit kimyasal bileşiminde % 30,4 CaO, % 21,8 MgO ve % 47,8 CO₂ içerir. CaO içeriğinin artması durumunda karbonatlı dolomit ve dolomitli kireçtaşlarına geçilir. Çimento üretimi için % 65 CaCO₃ ve düşük alkali oranı gereklidir. MgO içeriği % 4 ten düşük olmalıdır [15,16].

Dünya'da ve Türkiye'de oldukça geniş bir rezerve sahip olan dolomit; başta demir-çelik sanayi, cam, seramik, boya, gübre, tuğla, çimento ve inşaat sanayisinde, tarımda kullanılmaktadır.

2.1.4. Kolemanit (Colemanite)

Kolemanit örneği Balıkesir ili Bigadiç bölgesinde yüzeylenen kayalardan alınmıştır. Özgül ağırlığı 2,39 g/cm³ ve özgül yüzeyi 3460 cm²/g'dır.

Dünyada bor yataklarına sahip sayılı ülkelerin başında Türkiye dünya toplam rezervinin % 72'siyle birinci sırada yer almaktadır. Ticari açıdan ve

2.2. Yöntem (Method)

Bu çalışmada zeolit, perlit, dolomit ve kolemanit katkısı CEM I 42.5 R çimentosuyla ağırlıkça % 0, 10 ve 20 oranlarında yer değiştirilerek (ikame edilerek) TS EN 196-1'e göre 40×40×160 mm boyutlarında Çizelge 2'de verilen malzeme miktarlarına göre çimento harç prizmaları üretilmiştir. Üretilen harç numuneleri kontrol, zeolit, perlit, dolomit ve kolemanit katkılı olmak üzere sırasıyla; R, Z, P, D ve K simgesiyle adlandırılmıştır.

Üretilen çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımları incelenmiştir. Zeolit, perlit, dolomit ve kolemanit katkısının çimento içerisinde kullanım potansiyeli ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmaya ait farklı oranlarda zeolit, perlit, dolomit ve kolemanit katkıları ile üretilen çimento harçlarının 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca çimentonun üretimi sırasında gereken enerji miktarını ve CO₂ emisyonu azaltmak için önerilen bu alternatif katkı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli çevresel etkileri ile açıklanmıştır.

Çimento Harçlarının 7 ve 28 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı Sonuçları (Cement Mortars of 7 and 28 Days Compressive and Flexural Strength Test Result)

Çimento harç prizmalarının 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı test sonuçları Çizelge 3'de, verilmiştir.

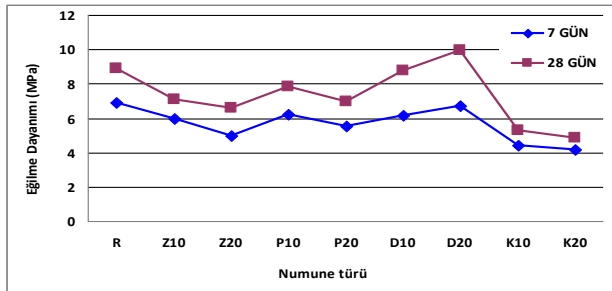
dolomit miktarındaki artışla doğru orantılı olarak arttırmıştır. Fakat ileriki yaşlarda çimento harçlarına etkisi araştırılarak kontrollü bir şekilde kullanılmalıdır. Çünkü dolomit $[CaMg(CO_3)_2]$ reaktifliği arttığından alkali karbonat reaksiyonuna yol açabilir.

Çimentonun Çizelge 1'de verilen kimyasal analizi incelendiğinde CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve eser miktarda MgO içerdiği görülmektedir. Çimentonun

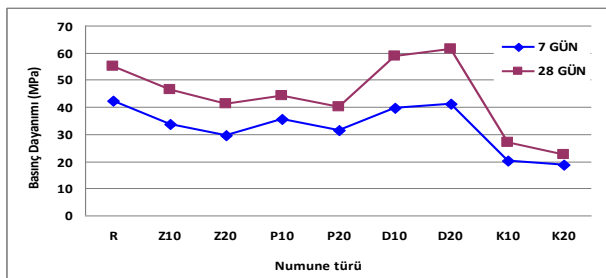
Çizelge 3. Çimento harçlarında çekme 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri

Numune türü	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
R	6,89	8,78	42,45	54,87
Z10	5,94	7,11	33,78	46,50
Z20	4,97	6,58	29,58	41,14
P10	6,21	7,84	35,72	44,20
P20	5,52	6,98	31,26	39,91
D10	6,15	8,92	39,85	58,72
D20	6,74	9,93	41,30	61,48
K10	4,39	5,26	20,12	26,83
K20	4,16	4,85	18,74	22,36

Çizelge 3'de verilen değerlerden Şekil 1-2'de görüldüğü gibi sırasıyla çimento harçlarının 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı diyagramları elde edilmiştir.



Şekil 1. Çimento harçlarının numune türüne göre 7 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanım diyagramı



Şekil 2. Çimento harçlarının numune türüne göre 7 ve 28 günlük basınç dayanım diyagramı

Şekil 1-2 incelediğinde; 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımında en yüksek değerleri dolomit katkılı (D) numunelerin, en düşük değerleri ise kolemanit katkılı (K) numunelerin verdiği görülmektedir.

Çimento içerisindeki dolomit katkısı çimento harçlarının ilk günlerdeki dayanımını (7-28 günlük)

üretiminde her ne kadar çok miktarda $CaCO_3$ bileşimli hammaddeler kullanılsa da, dolomit kökenli kireçtaşı tozu ve mermer tozu atıkları özellikle beyaz çimento üretiminde kullanılmaktadır [19].

Çalışmada kullanılan kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) katkı miktarlarının yüksek olması (%10-20) çimento harç numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımları kontrol numunelerine göre çok düşük sonuçlar vermesine neden olmuştur.

Bu durum literatür incelendiğinde; kolemanitin çimento hamurunun priz süresini ve buna bağlı olarak çimento harç numunelerinin kalıptan çıkarma sürelerini çok fazla uzatması ile açıklanabilir. Ayrıca bor mineralleri kullanımının çimento harç numunelerinin eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında önemli bir artışa neden olmadığı da belirlenmiştir [17]. Bu nedenle bor minerali olan kolemanitin çimentoda kullanımının çok küçük miktarlarda olması yani ortalama %5'i geçmemesinin bu olumsuz şartları azaltacağı düşünülmektedir.

Bor minerali olan kolemanit kimyasal yapısında çimento üretimi için gerekli olan hammaddeleri barındırmaktadır ve alkali de içermemektedir. Kolemanitin bu temel özellikleri değerlendirilerek Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu geliştirilmiştir. BAB çimentosu üretimi sırasında CO_2 emisyonunu azaltmaktadır. Bunun yanında, normal Portland çimentosunda bulunan en önemli fazlardan birisi olan C_3S fazının (Alit) oluşmaması nedeniyle klinker pişirme sıcaklığında da önemli ölçüde azalma sağlanarak yaklaşık % 10'luk bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. BAB çimentosunun bu özelliği sürdürülebilir teknoloji açısından önemlidir [4,20].

Zeolitik ve perlitik tuf katkılı numunelerin (Z ve D) ise 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin birbirine yakın olduğu ve kontrol numunesine göre düşük değerler alması dikkat çekmektedir.

Bu durum doğal puzolan olarak adlandırılan bu katkıların çimento harçlarının ilk günlerdeki dayanımını azaltması ve ileriki yaşlarda arttırması ile açıklanabilir. Katkı miktarının artması ile dayanım değerlerindeki fark daha belirgin hale gelmiştir. Zeolit ve perlitin puzolanik reaksiyonu yüksek miktarda silis (SiO₂) bileşeni ile çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan kirecin Ca(OH)₂ ve suyun arasında gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda C-S-H jeli benzeri ürünler ortaya çıkar, bu jelleşme sürekli devam eder, çimento harcı mikro homojenlik kazanarak boşlukları azalır ve ileriki yaşlardaki dayanımı artar. Bu etki literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde görülebilmektedir [11].

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND SUGGESTION)

Bu çalışmada çimento harç numunelerinin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı test sonuçları incelendiğinde, en yüksek değeri dolomit katkılı (D) numunelerin, en düşük değerleri ise kolemanit katkılı (K) numunelerin verdiği görülmüştür.

Dolomit katkısı reaktifliği arttırdığından alkali karbonat reaksiyonuna neden olabileceği için ileriki yaşlarda çimento harçlarına etkisi araştırılarak kontrollü bir şekilde kullanılmalıdır.

Çalışmada kullanılan kolemanit katkı miktarlarının yüksek olması (%10-20) çimento harç numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımlarının kontrol numunelerine göre çok düşük olduğu görülmektedir. Kolemanit çimento hamurunun hidratasyon süresini uzattığı için çimento katkısı olarak kullanımının ortalama %5'i geçmemesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Dünya bor minerali rezervinin %72'si Türkiye'de bulunmaktadır ve bor madenlerinden çıkarılan ürünün işlenmesi sırasında artık ürünler açığa çıkmaktadır. Bu atık ürünlerin çimento üretiminde kullanımı atık ürünün değerlendirilmesi ve ekonomik fayda sağlaması açısından önemlidir. Ayrıca bu çalışmada olduğu gibi farklı bor minerallerinin çimento içerisinde kullanımı da araştırılmalıdır.

Zeolitik ve perlitik tuf katkılı numunelerin (Z ve D) ise 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerlerinin birbirine yakın olduğu ve kontrol numunesine göre düşük değerler aldığı görülmüştür.

Volkanik tuf, bor ve dolomit bakımından zengin olan ülkemizde bu maddelerin çimento katkısı olarak değerlendirilmesi ile çimentonun mekanik özellikleri iyileşmekte ve çimento üretimi sırasında çevresel olarak da olumlu etkiler vermektedir. Çimentonun ana bileşeni olan klinker, kireçtaşı ve kil gibi hammaddelerin öğütülüp homojenize edilerek yaklaşık 1450°C'lik

döner fırınlarda pişirilmesi ile üretilmektedir. Doğadaki enerji ve hammadde kaynaklarının hızla tüketilmesi önemli çevresel sorunların başında gelmektedir. Çimentonun üretimi sırasında gereken enerji miktarını ve CO₂ emisyonu azaltmak için alternatif katkı malzemeleri tercih edilmektedir. Sürdürülebilir yapı malzemesi üretimi günümüzde önem kazanmaktadır. Bu nedenle üretimi ve yaşam döngüsü boyunca az enerji tüketen, doğal hammaddelerle üretilen ve atık oluşum sırasında çevreye zarar vermeyen yapı malzemeleri tercih edilmelidir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. ABD Enerji Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ağı (EREN) Sürdürülebilir Gelişim için Mükemmellik Merkezi, (2003).
2. Çelebi, G. ve Aydın, A.B., "Sürdürülebilir Mimarlık Yaklaşımında Yapı Malzemelerinin İrdelenmesi", IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Bodrum, 457 - 464, (2001).
3. Vatan Kaptan, M., "Yapım Teknolojisi Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi, (2011-2012).
4. Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., vd., "Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği" DSİ Teknik Bülteni Sayı: 105, (2009).
5. Camacho. R.E.R., Aff. R.U.. "Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability". Cement and Concrete Research. Elsevier. 32: 1851-1858. (2002).
6. Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. Ankara, Semih Ofset Matbaacılık yayıncılık ve Ambalaj San. Tic. Ltd. Şti., ISBN 975-7064-67-X, 760 s., Ankara.
7. Yücel, H., "Zeolitler ve Kullanım Alanları", III. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler, 391-402, (1987).
8. Dyer, A., "An Introduction to Zeolite Molecular Sieves", John Wiley & Sons Ltd, Chichester, (1988).
9. Perlite, Technical Data Sheet, "Perlite in Industry", Perlite Institute Inc., New York, 1(1), (1974).
10. Friedemann, K., Krumbach, R. and Seyfarth, K., "High-Strength Concrete Durability Investigation by Using The CDF Test", Lacer, 4: 97-112 (1999).
11. Taban, S., "Farklı Oranlarda Zeolitik Tuf Katkısının Beton Özellikleri ve Betonarme Çeliği Korozyonuna Etkilerinin Araştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
12. Turanlı, L., Uzal, B., Bektaş, F., "Effect of Material Characteristics on The Properties of Blended Cements Containing High Volumes of Natural Pozzolans", Cement and Concrete Research, 34, 2277-2282, (2004).
13. Beş Yıllık Kalkınma Planı: "ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyon Raporu Yapı Malzemeleri" Cilt III :Pomza-Perlit-Vermikulit-Flogopit-Genleşen Killer, Ankara, (2000).
14. Güney, A. "Türkiye Dolomit Envanteri" İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, (1999).
15. Chester, J. H. 1973. Steelplant Refractories: Testing, Research and Development The United State Com., Sheffield.
16. Harben, P., "Industrial Minerals Handybook", Industrial Minerals Information Ltd., 2nd Edition, London, pp. 36-43, (1995).

17. Ustabaş, İ., “Kolemanit ve Üleksitin Çimentoda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Hazır Beton Kongresi, İstanbul, (2011).
18. TS EN 196-1 “Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım”. Mart. (2002).
19. Kavas, T., Kibıç, Y., “Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının Portland Kompoze Çimentosu Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanım Olanakları”, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, (2001).
20. Tongbo S., Lei F., Zhajun W., Jing W., Zhonglun Z., “Study on the Properties of High Strength Concrete Using High Belite Cement”, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 2, No.2, pp. 201-206, Japan Concrete Institute, (2004).