

Modifiye Edilmiş EPS Agregalı Betonların Isıl ve Mekanik Özellikleri

*Filiz KAR and Ayşe BİÇER
Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Özet

Bu çalışmada hafif beton üretiminde potansiyel bir agrega olarak, geri dönüşümlü bir atık olan genleştirilmiş polistiren köpüğün (EPS) kullanımının etkileri üzerine yapılan bir deneysel çalışmanın sonuçları sunulmuştur. Bu araştırmada, termal olarak modifiye edilmiş atık EPS köpükler agrega olarak kullanılmıştır. Bu amaç için, onaltı seri beton numuneleri hazırlanmıştır. MEPS agrega (modifiye sıcaklığı 20, 90, 110, 130 ° C) hacimce % 20,% 40,% 60 ve% 80 seviyelerinde doğal agrega yerine kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar harç halinde ısıl testler için (20x60x150 mm) ve mekanik testler için (100x100x100 mm) ebatlarındaki kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan numunelere 28 günlük kuruma süreci sonunda ısıl iletkenlik, basma gerilmesi, çekme gerilmesi, su emme ve kuruma hızı testleri uygulanmıştır. Modifiye edilmiş EPS nin betonda agrega olarak kullanılması halinde; *i*) Betonun mekanik özellikleri artırılırken aynı zamanda binada ısıtma ve soğutma enerjisi tasarrufu sağlanacak, *ii*) Atık EPS değerlendirilerek çevreyi kirletmesi önlenecek, *iii*) Özellikle yüksek binalarda bina yükü azalacaktır.

Anahtar Kelimeler: EPS, modifiye edilmiş atık EPS, düşük ağırlıklı beton, mekanik özellikler

Abstract

This study presents the results of an experimental study on the effects of using recycled waste expanded polystyrene foam (EPS), as a potential aggregate in lightweight concrete. In this research, thermally modified waste EPS foams have been used as aggregate. For this purpose, sixteen series of concrete samples were prepared. MEPS aggregate (modified temperature 20, 90, 110, 130 °C) was used as a replacement of natural aggregate, at the levels of 20%, 40%, 60%, and 80% by volume. The prepared mortars are molded to 100x100x100 mm formworks for mechanical tests and 20x60x150 mm formworks for thermal tests and left to drying for standard period of 28 days. Thermal conduction coefficient test, volumetric specific heat capacity test, pressure and tensile strength test, water absorption and drying speed test are conducted on the produced samples. The modified EPS is used as concrete aggregates. Thus, (i) the mechanical properties of concrete extended at the same time building heating and cooling energy savings will be provided, (ii) the waste EPS can be evaluated and environmental pollution can be prevented, (iii) in particular, building loads in high rise buildings will be reduced.

Key words: EPS, modified waste EPS, lightweight concrete

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering Fırat University, 23279, Elazığ TURKEY. E-mail address: fkar@firat.edu.tr, Phone: +904242370000

1. Giriş

Genleştirilmiş polistiren (EPS) çeşitli endüstri alanlarında çok yaygın olarak kullanılan bir yalıtım ve ambalaj malzemesidir. Bütün plastikler gibi EPS köpükler de doğada parçalanma süresi uzun olduğu için doğal yoldan yok olması güçtür. Bu nedenle önemli bir çevre problemine neden olmaktadır. Atık EPS nin yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirilmesi hem ekonomiye olacak katkısı hem de çevre kirliliği probleminin çözümü için önemlidir. EPS nin yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar iki grupta toplanabilir. Önemli bir bölümü, betonda agrega olarak kullanımı ile ilgilidir. İkinci grup ise geri dönüşüm şekilleri ile ilgili çalışmalardır [1]. Birinci grup çalışmaların bir kısmı aşağıda özetle verilmiştir.

Babu vd [2], yapmış oldukları çalışmada normal agrega yerine genleştirilmiş polistirenle birlikte uçucu kül kullanarak üretilen hafif betonların mekanik özelliklerini incelemiş ve literatür değerleriyle karşılaştırmışlardır. Bourvard vd [3], milimetre boyutlu genleştirilmiş polistiren küreleri ihtiva eden betonların fiziksel özellikleri üzerine çalışmışlardır. Chen ve Liu [4], 8.5 ve 20 kg/m³ birim ağırlığında ve 3 ile 8 mm olmak üzere iki ayrı çaptaki EPS boncukları, kaba ve ince doğal agrega ile kısmen yer değiştirerek yaptığı betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Miled vd [5], EPS köpüklerin, düşük yoğunluklu betonun gerekli olduğu panel duvarlar, beton briketler gibi inşaat uygulamalarında veya harç ve beton yapımında da kullanılabileceğini belirtmiştir. Demirboga ve Kan [6], yapmış oldukları çalışmada, betonda agrega olarak % 25, %50 ve %100 oranlarında EPS kullanarak ürettikleri numunelerde ısı iletkenlik, yoğunluk ve betonun ortalama kuruma büzülme değerlerindeki değişimleri ortaya koymuşlardır. Kan ve Demirboğa [7], atık EPS'lere ısı işlem kullanılarak, yeni bir geri dönüşüm süreci geliştirmiştir, Rossignolo ve Agnesini [8], Brezilya'da üretilen iki tip hafif agrega ile modifiye edilmiş stiren-bütadien kauçuk (SBR) hafif agrega karışımlarıyla oluşturulmuş betonların teknik özelliklerini araştırmışlardır. Kaya ve Kar [9], stroporlu betonların ısı ve mekanik özelliklerini araştırırken bir diğer çalışmada [10], EPS agregalı yalıtım sıvası üzerinde çalışmışlardır.

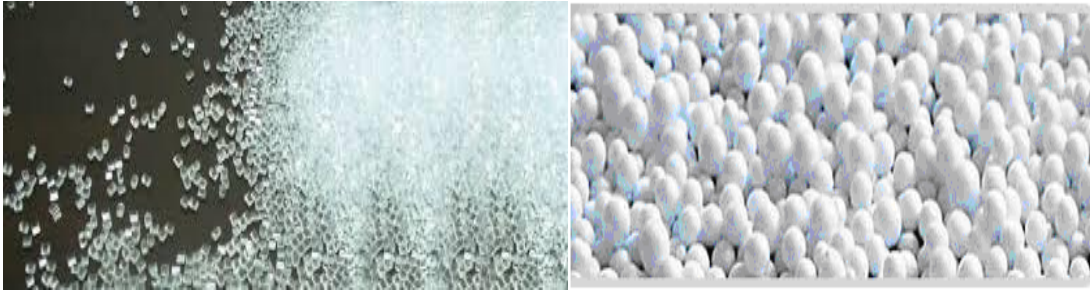
Bu çalışmada, atık olarak toplanan blok halindeki EPS ler parçalanarak 0-6 mm tane boyutu haline getirilmiş ve farklı sıcaklıklarda modifiye işlemine tabi tutularak EPS nin fiziksel

özellikleri değiştirilmiştir. Modifiye edilmiş EPS agregalı numuneler ısıl ve mekanik testlere tabi tutulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük stiren monomerin polimerizasyonu ile petrolden elde edilen, köpük haldeki kapalı gözenekli tipik olarak beyaz renkli bir termoplastik malzemedir. Özel üretimlerde taneciklerin uzun dalga ışınımı yansıtacak şekilde işlendiği gri/siyah tonlarında ürünler de mevcuttur.

Polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz ‘Pentan’dır. Organik bir bileşen olan pentan, tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağladıktan sonra, üretim sırasında ve üretimi takiben çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Açığa çıkan pentan gazı atmosferde zaten bulunan CO₂ ve su buharına-H₂O’ya dönüşür. Pentanın açığa çıkmasıyla, malzemenin bünyesinde bulunan çok sayıdaki (yoğunluğa bağlı olarak 1 m³ EPS’de 3-6 milyar) küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür. Malzemenin % 98’i hareketsiz havadır; %2’si ise polistirendir (Şekil 1) [9].



Şekil 1. Polistiren ve genleştirilmiş polistiren

EPS, kullanım sahasına göre istenilen yoğunluklarda üretilir. Özellikleri yoğunlukla istenilen yönde değiştirilebildiğinden malzeme israfına ve gereksiz maliyet artışlarına sebep olmaz. Isı yalıtım amacıyla genellikle 15-30 kg/m³ yoğunluklarda; ambalaj malzemesi olarak kullanım amacıyla da 20-100 kg/m³ yoğunluklarda üretilmektedir.

3. Deneysel Çalışma ve Ölçme Yöntemleri

Numunelerinin yoğunluk ve basma dayanımlarını artırmak amacıyla 0-6 mm ortalama çapındaki EPS ler modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Modifikasyon sıcaklıkları 90°C, 110 °C ve 130 °C olarak seçilmiştir. Modifikasyon süreleri 15 dakika ile sınırlandırılmıştır. Bu sürelerde EPS tane çaplarında ortalama %40, %50 ve % 60 oranlarında küçülme görülmüştür. Modifiye edilen EPS ler, hacimsel olarak % 20, 40, 60, 80 oranlarında çimento ile karıştırılarak hazırlanan harçlar önceden hazırlanan kalıplara dökülerek numuneler hazırlanmıştır. 28 günlük kuruma süreci sonunda, numunelere uygulanan testler aşağıda özetlenmiştir.

3.1. Isı İletim Katsayısı

Isı iletim katsayısı DIN 51406 normuna göre sıcak tel metoduna kullanarak ölçüm yapan, ısı transfer analiz cihazıyla (Isomet) ölçülmüştür. 22-25 °C oda sıcaklığında ve her numune üzerinde 3 farklı noktadan ölçümler yapılmıştır. Şekil 2 de görülen cihaz ısı iletim katsayısını 0.04-6 W/m.K aralığında %5 hassasiyetle tespit etmektedir [1]. Numuneler üzerinde yapılan ölçüm sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Isı iletim katsayısı ölçme cihazı



Şekil 3. Basınç dayanımı test cihazı

Tablo 1. Farklı EPS agregalı numunelere ait ısı iletim katsayıları

Mod.sıcaklığı EPS oranı (%)	20 °C (W/mK)	90 °C (W/mK)	110 °C (W/mK)	130 °C (W/mK)
20	0.38	0.44	0.45	0.55
40	0.24	0.31	0.36	0.44
60	0.12	0.22	0.28	0.38
80	0.06	0.15	0.25	0.33

3.2. Basınç ve Çekme Dayanımı Testi

Ele International marka cihaz, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda panelli, yükleme hızı ayarlanabilen ve tek eksen de kuvvet uygulayabilen özelliğindedir. Şekil 3’ de deney cihazının test ve kontrol üniteleri görülmektedir.

Deneye tabi tutulacak numunenin, kuvvete maruz kalan birbirine paralel yüzeylerinin pürüzsüz ve düz olması gerekmektedir. Cihazın alt çenesi sabit, üst çenesi basma kuvvetini gerçekleştiren hareketli yapıdadır. Cihaz çalıştırıldıktan sonra, üst çene yavaşça numuneye doğru hareket eder ve artan miktarda numuneye kuvvet uygulanır. Numunenin kırıldığı anda basma kuvveti durur ve ekranda en son kuvvet kN cinsinden ve basma gerilmesi de Mpa olarak okunur. Ölçüm sonucunda, kırılan parça test bölümünden çıkarılır, cihaz reset edilerek diğer ölçüme geçilir. Okunan değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Basınç dayanımı sonuçları, TS 500’ e göre aşağıdaki (1) bağıntısıyla çekme dayanımına dönüştürülmüştür.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Burada; f_{ck} = Basınç dayanımı (kN) ve f_{ctk} =Çekme dayanımı (kN)’ dur.

Tablo 2. Numunelerin mekanik özellikleri (Yükleme Hızı : 3.00 kN/sn)

Kod	EPS oranı (%)	Sıcaklık (°C)	Basınç dayanımı (kN)	Çekme dayanımı (kN)
1	20	90	38.4	2.16
2	40	90	20.2	1.57
3	60	90	7.9	0.98
4	80	90	0.0	0
5	20	110	44	2.32
6	40	110	30.5	1.93
7	60	110	19.3	1.53
8	80	110	0.0	0
9	20	130	86.3	3.25
10	40	130	53.8	2.56
11	60	130	39.7	2.20
12	80	130	11.2	1.17

3.3. Su Emme Oranı

Bu deneyin amacı, su ile direkt temasta kalan yapı malzemelerin de donma sürecinde, bünyesinde teşekkül eden buz kristallerinin genleşme imkanı bulabileceği bir kuru hacmin varlığının araştırılmasıdır. Bu özellik malzemeye donmaya karşı güvence sağlamaktadır. Her numunenin kuru ağırlığı (W_k) tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde su seviyesi kademeli olarak yükseltilmiş 24 saat su içinde bekletildikten sonra sudan çıkarılıp silinerek, su emdirilmiş ağırlıklar (W_d) bulunmuş ve aşağıdaki bağıntı ile su emme oranı hesaplanmıştır.

$$SE= [(W_d-W_k)/W_k] .100 \quad (2)$$

Tablo 3. Numunelerin su emme deneyi sonuçları

Kod	EPS %	Modif. Sıcak. (°C)	Kuru ağırlık (g)	1/3 saat	2/3 saat	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	Su emme oranı (%)
1	20	90	218.83	264.99	266.34	266.69	266.9	267.52	270.51	23.62
2	40	90	158.59	170.52	175.6	179.57	182.33	185.74	194.82	22.85
3	60	90	137.42	131.67	132.14	132.49	132.95	138.09	166.76	21.35
4	80	90	55.38	60.27	60.51	61.64	62.59	63.81	66.04	19.25
5	20	110	230.19	275.17	276.58	276.63	276.67	277.0	280.96	22.06
6	40	110	196.68	210.61	218.28	223.63	226.94	229.37	239.12	21.58
7	60	110	156.87	165.34	168.62	171.75	175.51	178.28	187.11	19.28
8	80	110	101.18	109.31	112.5	113.02	114.4	115.61	119.29	17.90
9	20	130	238.43	251.31	260.48	265.76	270.83	275.85	287.60	20.62
10	40	130	205.03	234.93	236.12	236.22	236.27	236.61	245.68	19.83
11	60	130	175.88	195.87	197.63	198.67	198.74	198.81	207.27	17.85
12	80	130	158.83	165.99	170.41	174.75	176.2	178.62	184.30	16.04

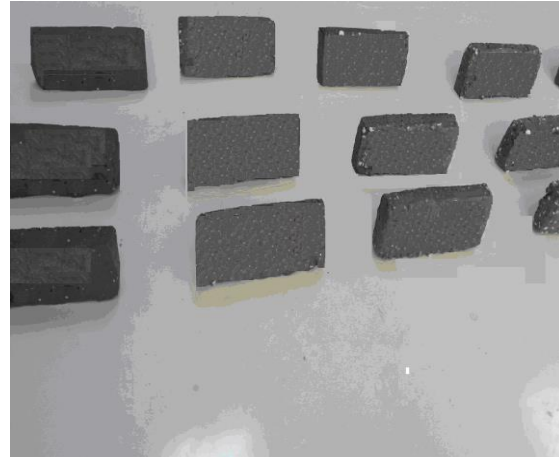
3.4. Kuruma Oranı

Kuruma hızı deneyinde amaç, numunenin teneffüs kabiliyetinin araştırılmasıdır. 24 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp ıslak bir bezle silindikten sonra 20°C oda sıcaklığında doğal kurutmaya bırakılmıştır. Kuruma malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan, burada malzeme derinliğinden yüzeye kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. 24 saat sonunda kuru ağırlığı tartılıp kuruma hızı bulunmuştur.

$$KH= [(W_d-W_k)/W_d] .100 \quad (3)$$

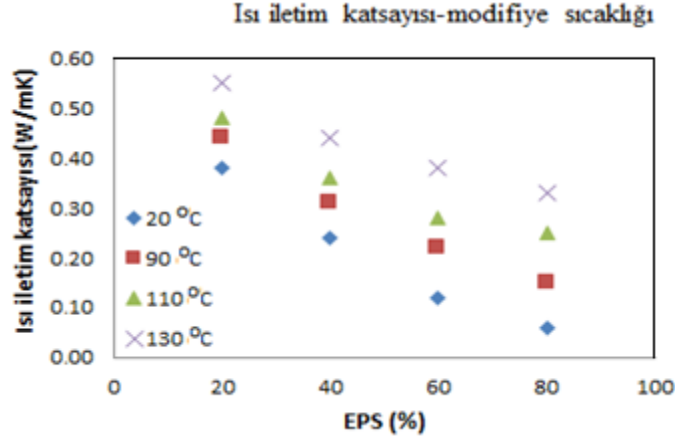
Tablo 4. Numunelerin kuruma oranı deneyi sonuçları

Kod	EPS %	Yaş ağır. (g)	1/2 saat	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	24 saat	Kuruma oranı (%)
1	20	270.51	259.87	255.15	250.52	242.87	231.34	220.44	18.51
2	40	194.82	190.04	186.87	183.59	180.29	177.78	163.16	16.25
3	60	166.76	158.02	156.99	154.8	152.63	150.12	144.49	13.35
4	80	66.04	64.63	63.77	62.21	61.79	60.84	59.42	10.02
5	20	280.96	268.42	260.4	255.05	250.79	244.56	222.35	20.12
6	40	239.12	227.54	220.35	216.89	213.46	210.47	197.08	17.58
7	60	187.11	180.68	177.42	174.88	172.38	170.67	158.57	15.25
8	80	119.29	111.64	109.28	108.76	107.86	106.26	105.81	11.30
9	20	287.60	260.34	255.26	250.91	245.19	240.89	228.30	20.86
10	40	245.68	237.9	229.67	221.33	216.78	211.95	199.42	18.83
11	60	207.27	199.14	198.57	197.19	196.65	194.78	173.79	16.15
12	80	184.30	175.04	172.89	169.35	168.82	167.79	162.05	12.04

**Şekil 4.** Su emme ve kuruma deneyinde numunelerin bekletilme süreçleri

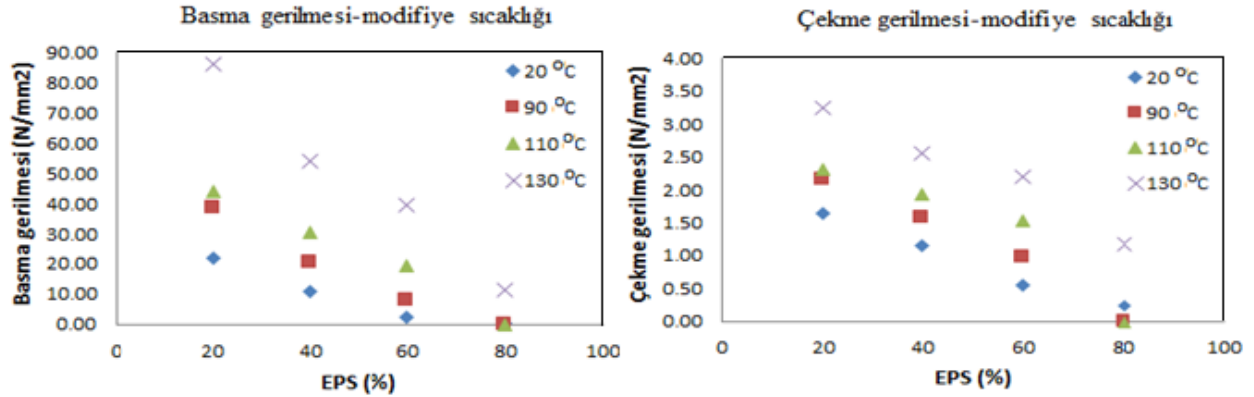
4. Deneysel Sonuçlar

Numunelere uygulanan testler sonucunda aşağıdaki bulgular belirlenmiştir. Isı iletim katsayıları modifiye sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık arttıkça büyümektedir. Şekil 5 de 20°C (oda sıcaklığı) ile modifiye sıcaklıklarında EPS oranına göre ısı iletim katsayılarının değişimi görülmektedir. Bu grafiğin incelenmesi halinde modifiye sıcaklığının artışı karşısında EPS tane çapları küçülmektedir. Bu küçülme %50 oranına kadar gerçekleşmektedir. Yani EPS lerin boyutları küçülürken yoğunlukları artmakta ve gözeneklilik oranı küçülmektedir. Bu nedenle modifiye sıcaklığı artarken ısı iletim katsayıları büyümektedir.



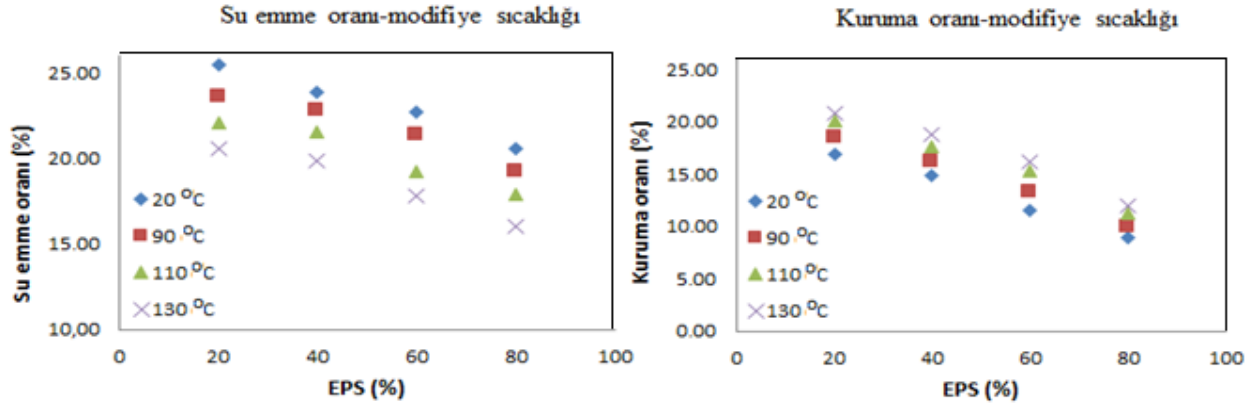
Şekil 5. Numunelerin EPS oranı ve modifiye sıcaklığına bağlı olarak ısı iletim katsayısı değişimi

Numunelerin basınç gerilmeleri modifiye sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık arttıkça büyümektedir Şekil 6. Bunun nedeni sıcaklık arttıkça yoğunluk artmakta ve EPS nin gözenekli hali azalmaktadır. Bu da malzemenin basma gerilmesinin büyümesine neden olmaktadır. EPS oranı artışına karşılık basma gerilmesi küçülmektedir.



Şekil 6. Numunelerin EPS oranı ve modifiye sıcaklığına bağlı olarak basınç gerilmesi ve çekme gerilmesi değişimi

Numunelerin çekme gerilmesi basma gerilmesine paralellik göstererek aynı nedenlerle sıcaklık artışı ile artmakta buna karşılık EPS oranının artışı ile küçülmektedir. Numunelere uygulanan su emme deneyi sonunda numunelerin tamamı %30 kritik değerin altında çıkmıştır [1,9]. Bu nedenle modifiye sıcaklıklarına bağlı olarak, tane çapı ve yoğunlukları değiştirilen EPS agregalı betonlar 0°C altındaki sıcaklıklarda donma risklerinin bulunmadığı anlaşılmaktadır. Numunelere uygulanan kuruma oranı deneyi sonunda numunelerin azda olsa teneffüs kabiliyetlerinin bulunduğu söylenebilir (Şekil 7).



Şekil 7. Numunelerin EPS oranı ve modifiye sıcaklığına bağlı olarak su emme ve kuruma oranı değişimi

5. Sonuçlar

20 °C oda sıcaklığındaki 0-6 mm tane çaplı EPS ler ile üç farklı modifiye edilmiş EPS lerin agrega olarak kullanıldığı betonların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. EPS agregalı betonlar düşük yoğunluklu betonlar gurubundandır. Bu betonlar ile bina yükleri ve deprem hasarları azalacaktır. Buna karşılık bu tür betonlar yalıtım özelliği gösterdiğinden binalarda ısınma enerji tasarrufu da sağlanacaktır. Tablo 1’de görüleceği gibi betonların ısı iletim katsayıları EPS oranına bağlı olarak 0.06-0.38 W/mK arasında değişmektedir.

2. 20 °C daki EPS agregalı betonların dayanım değerleri düşüktür. Bu nedenle binalarda taşıyıcı eleman olan kolon ve kirişlerde kullanılmamalıdır. Bu betonlar binalarda taşıyıcı görevi olmayan bölme elemanı, yalıtım sıvası gibi yerlerde kullanılmalıdır. Ancak EPS ler modifikasyon işlemine tabi tutularak dayanım değerleri artırılabilir. Bu durumda ki betonlar bazı yerlerde taşıyıcı eleman olarak ta kullanılabilir.

3. Hazırlanan numunelerin su emme oranları kritik değer olan % 30 dan küçük çıkmıştır. Dolayısıyla EPS agregalı betonların 0°C altındaki sıcaklıklarda donma riski olmadan kullanılabilceği sonucu çıkmaktadır.

4. Kuruma deneyi sonuçları bu betonların azda olsa teneffüs kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir..

Referanslar

- [1] A. Kaya, F. Kar, “Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin”, *Construction and Building Materials*, 105, 572-578, 2016.
- [2] D. Saradhi Babu, K. G. Babu, T.H. Wee, “Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash”, *Cement and Concrete Research*, 35, 1218–1223, 2005.
- [3] D. Bouvard, J.M. Chaix, R. Dendievel, A. Fazekas, J.M. Létang, G. Peix, D. Quenard, “Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete”, *Cement and Concrete Research*, 37, 1666-1673, 2007.
- [4] B. Chen, J. Liu, “Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, 2004, pp. 1259–1263.
- [5] K. Miled, K. Sab, R. L. Roy, “Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modeling”, *Mechanics of Materials*, 39, 222-240, 2007.
- [6] R. Demirboga A. K. Kan, “Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes” *Construction and Building Materials*, 35, 730–734, 2012.
- [7] A. K. Kan , R. Demirbog a, “A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 299-3000, 2009.
- [8] Y.A. Rossignolo, M.V.C. Agnesini “Mechanical properties of polymer modified lightweight aggregate concrete”, *Cement and Concrete Research*, 32, 329-334, 2002.
- [9] A. Kaya, F. Kar, “Thermal and Mechanical Properties of Concretes with Styropor”, *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 2-6, 310-315, 2014.
- [10] A. Kaya, F. Kar, “An insulation plaster with waste expanded polystyrene”, 19th International (THERMO) Conference, 7-10 July, Budapest, Hungary, 2015.