



Kendiliğinden yerleşen polimerik harçlarda mineral katkının reolojik özelliklere etkisi

Tayfun Uygunoğlu¹, İbrahim Güneş², Bahri Ersoy³, Atilla Evcin^{4*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Mineral katkılı kendiliğinden yerleşen polimerik harçlar üretildi
- Polimerik harçların reolojik özellikleri araştırıldı
- Polimerik harçların katılma özellikleri belirlendi

Makale Bilgileri

Geliş: 06.09.2016

Kabul: 24.01.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.369858

Anahtar Kelimeler:

Kendiliğinden yerleşen harç,
polimer,
mineral katkı,
reoloji

ÖZET

Polimer matrisli kompozitler, simetrik ve dengeli malzeme özelliklerine sahip olmaları, üretim ve kullanım kolaylıklarından dolayı inşaat, hava-uzay yapıları ve otomobil yapıları için popülerlik kazanmaktadır. Günümüzde yeni kullanım alanı oluşturan polimerik malzemelerden birisi de epoksi esaslı kendiliğinden yerleşen harçlardır. Bu harçlar, inşaat sektöründe başta yüzey kaplamaları olmak üzere bina güçlendirmelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin yüzeye uygulanmasında hem yüksek olan maliyetlerinin azaltılması hem de dayanımlarının artırılması amacıyla atık halde bulunan ve büyük ölçüde çevre kirliliği oluşturan malzemelerin filler olarak kullanımı araştırılmaktadır. Bu çalışmada yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, kireçtaşı tozu ve doğal kum kullanılarak üretilen epoksi esaslı kendiliğinden yerleşen harçların viskozite, yayılma çapı ve katılma gibi reolojik özellikleri belirlenerek karakterize edilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre yüzey alanı yüksek olan mineral katkıların kullanım oranının artmasıyla polimer esaslı harçların işlenebilirliklerini azaltmıştır.

Effect of mineral admixture type on rheological properties of polymeric self-consolidating mortar

H I G H L I G H T S

- Mineral blended self-consolidating polymeric mortars were produced
- Rheological properties of polymeric mortars were investigated
- Setting properties of polymeric mortars were determined

Article Info

Received: 06.09.2016

Accepted: 24.01.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.369858

Keywords:

Self-consolidating mortar,
polymer,
mineral admixture,
rheology

ABSTRACT

Polymer matrix composites are gaining popularity for construction, air-space structures and automobile constructions due to their symmetrical and balanced material properties and their ease of production and use. One of the polymeric materials that make up the new application area is epoxy based self-consolidating mortar. These mortars are widely used in the construction industry, especially in surface coatings in building constructions. Both to reduce the high costs and to increase the strengths of these materials applied to the surface, it is being investigated the use of the waste materials as a filler which cause environmental pollution. In this study, the rheological properties such as viscosity, spreading diameter and setting of epoxy based self-compacting mortars produced by using blast furnace slag, fly ash, silica fume, limestone dust and natural sand have been characterized. According to the results of the experiment, the use of mineral admixtures with high surface area has been decreased the workability of polymer-based mortars.

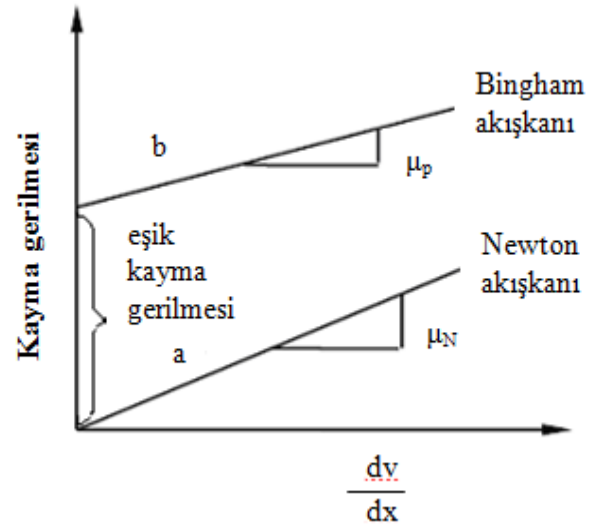
*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: uygunoglu@aku.edu.tr / Tel: +90 272 228 1423

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Polimer kompozitler, sürekli polimer matrisi içinde filler veya agregadan oluşan dağılı faza sahip bir kompozittir. Kompozitler hidrate çimento fazından oluşmazlar, buna rağmen agrega veya filler ile birlikte Portland çimentosu gibi kullanılabilir [1]. Polimer betonlar ilk defa Çekoslovak Bilimler Akademisinin de 1960'lı yılların başında keşfedilmiştir. Günümüzde ise kendiliğinden yerleşebilir nitelikteki epoksi zemin kaplamaları adıyla polimer kompozitler yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır [2]. Diğer yandan bu kompozitler farklı mühendislik alanlarında gerek yalıtım gerekse kaplama amacıyla kullanılmaktadır ve literatürdeki çalışmalar bu yönde gelişmiştir. Literatürde polimerlerin kullanıldığı polimer betonlarla ilgili de birçok çalışma bulunmaktaysa da, epoksi zemin kaplamaları, bağlayıcı matrisin epoksi olması ve içerisinde maksimum 1-3 mm kuvars kumu içermesi ve en önemlisi de kendiliğinden yerleşebilen özellikte olmaları ile polimer betonlardan ayrılmaktadır [3].

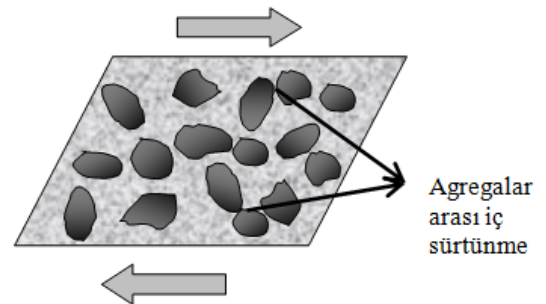
Epoksili zemin kaplama malzemesi, epoksi (reçine/polimer) içinde kuvarsitin homojen dağıtılmasıyla elde edilir. Kuvarsit, kum/çakıl tesislerinde agregaların boyutlandırılması sırasında elde edilen mikron düzeyindeki tozdur. Beton teknolojisinde silika esaslı agrega olarak adlandırılmasına rağmen piyasada özel üretimli kuvarsit tozu kullanılmaktadır. Bununla birlikte epoksili zemin kaplama malzemesi üretiminde standart yöntem ve metotlar bulunmamakla birlikte daha ziyade geleneksel yöntemlerle üretilmektedir. Epoksi harcı üretim sürecinde akışkan bir malzeme olup karışımında sertleştirici madde kullanımı ile zamanla sertleşmektedir. Sertleşme süresi yaklaşık 2,5 saattir. Kuvarsitin karışıma dahil edilmesi ile de iki fazlı bir kompozit malzeme elde edilmektedir [2]. Standart bir üretimi olmadığından elde edilen malzemenin üretim kontrolü yapılmamaktadır. Sadece gözle yüzeyde hava kabarcığı olup olmadığı veya yüzey düzgünlüğü, çatlak olup olmadığı kontrol edilmektedir. Başlangıç sürecinde akışkan olan bu malzemenin sahip olduğu akışkanlık özellikleri kullanılan toz malzemenin (kuvarsit) kalitesine bağlı olmakla birlikte hacim oranı ve tane büyüklüğüne göre de değişmektedir [3]. Taze haldeki epoksi harcın en önemli özelliklerinden birisi, çimento esaslı kendiliğinden yerleşen harçlarda olduğu gibi işlenebilirliktir. Epoksi harçları da akışkanlık özelliklerinden dolayı kendiliğinden yerleşen harçlar sınıfındadır. Taze harcın, hazırlanışı ve yerleştirilmesi safhalarında; karıştırma, yerine dökme, kendi ağırlığı veya master etkisiyle akma gibi etkilerle deformasyona uğrar. Bu etkilere karşı harcın istenilen özelliklerini koruması reolojik açıdan kararlılığına bağlıdır. Bir taze harç karışımının kendiliğinden yerleşen özellikte olabilmesi için düşük eşik kayma değerine ve optimum viskoziteye sahip olması gereklidir [4]. Eşik kayma gerilmesi bir malzemenin akışa geçebilmesi (hareket edebilmesi) için gerekli minimum gerilmedir. Newton modeline göre bir sıvı uygulanan kayma gerilmesine karşı hemen akışa geçer ve deformasyona uğrar. Kayma gerilmesi-deformasyon oranına ait eğrinin eğimi bu sıvının

plastik viskozitesini vermektedir. Ancak çimento pastası, harç ve beton gibi çimentolu süspansiyonlar ve buna benzer epoksi harçları Bingham modeline daha uygundur [5]. Bu modele göre de sıvının veya süspansiyonun akışa geçebilmesi için belirli bir gerilmeyi aşması gereklidir. Aşılması gerekli olan bu eşik gerilme, yukarıda tanımlanan eşik kayma gerilmesidir. Şekil 1'de "b" eğrisi Bingham modelindeki kayma gerilmesi-deformasyon doğrusunu göstermekte olup, bu doğrunun eğimi de plastik viskoziteyi vermektedir. İki model arasındaki fark Şekil 1'den de görüldüğü gibi Bingham modelindeki eşik kayma gerilmesidir [6]. Eşik kayma gerilmesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi, agregalar arasında oluşan iç sürtünmedir. Agregalar arası iç sürtünmenin artması ve aynı zamanda iç sürtünmeden kaynaklanan agregalar arasındaki harcın kaçması nedeniyle taze harcın veya betonun eşik kayma gerilmesi de artar (Şekil 2).



Şekil 1. Kayma gerilmesi-deformasyon oranının farklı model yaklaşımları

(Different model approaches for shear stress-deformation ratio)



Şekil 2. Agregalar arası iç sürtünmenin şematik gösterimi (Schematic presentation of internal friction of aggregates)

Kendiliğinden yerleşen harçlarda kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıları, çimento taneciklerinin etrafını sararak homojen bir şekilde dağılmalarını sağlarlar. Epoksi harçlarda ise bu durum epoksi reçinesi tarafından

sağlanmaktadır. Agregaya yüzeylerine yapışan bu epoksi reçineleri, agregaya yüzeyleri arasında bir bakıma yapıştırma görevi görmektedir [7]. Böylece kimyasal esaslı olan epoksi reçinesinin kullanılmasıyla agregalar arasındaki iç sürtünme önemli ölçüde azaltılır [8]. Dolayısıyla kendiliğinden yerleşen epoksi harçların eşik kayma dirençleri oldukça düşüktür [9]. Bunun bir sonucu olarak da, tıpkı kendiliğinden yerleşen harçlar ve betonlarda olduğu gibi işlenebilirlik kontrolünde sıklıkla kullanılan slump deneyinde çökme yüksekliği yerine çökmede-yayıma çapı değerleri ölçüm parametresi olarak kullanılmaktadır [10]. Kendiliğinden yerleşebilirlik için eşik kayma gerilmesinin olabildiğince sifıra yakın olması amaçlanmalıdır. Yayılma deneyinde, harcın çökerek yayılmasını devam ettirmesi, eşik kayma gerilmesi değerini aşmasına bağlıdır [9]. Harcın eşik kayma gerilmesi ne kadar düşüğe, kendi ağırlığı ile o kadar çok yayılacak ve eşik kayma gerilmesiyle kendi ağırlığının oluşturduğu ve yayılma süresince giderek düşen gerilme eşitlenince yayılma duracaktır [11]. Taze harcın çökmede-yayıma deneyinde, harcın yayılmasının durduğu anda kayma gerilmeleri ile akma gerilmeleri eşit olduğu kabul edilir. Akma gerilmesinin veya eşik kayma gerilmesinin yüksek olması taze harcın akabilme yeteneğinin düşük olduğunu gösterirken; akma gerilmeleri azaldıkça harcın akma yeteneği artmaktadır [12, 13].

Literatürde, polimer kompozitler üzerine yapılan çalışmalar genellikle epoksi reçinesinde silikat esaslı malzemeler, nano boyutta silika tozları, kireçtaşı tozu, kalsit veya grafitin düşük oranlarda kullanılması ve bu kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Savchuk ve Kostornov [14] süper ince basalt lifi (BSFF), silisyum grafit (SG), yassı grafit (FG) ve floroplastik (UF) lifler içeren epoksi kompozitlerin reolojik davranışlarını adı altında sedimentasyon (çökme) ve viskozitelerini incelemiştir. Fiber içeriklerini de düşük, orta ve yüksek olarak gruplandırmışlardır. Yüksek fiber içeriklerinde viskozitenin arttığını belirtmektedirler. Ayrıca çalışmanın sonunda da epoksi reçineleri ile nano toz malzemelerin reolojik davranışlarının incelenmesi tavsiye edilmiştir. Uygunoğlu vd. [15] bor atıklarının epoksi reçinesi içerisinde kullanılmasıyla üretilen harçların reolojik özelliklerini incelemiştir. Bulgulara göre bor atığı kullanımının artmasıyla polimerik harçların viskozitelerinin arttığı; buna bağlı olarak çökmede yayılma değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Kim vd. [16] epoksi reçinesi içerisine %0,25'ten %1,5 oranına kadar farklı oranlarda ilave ettikleri karbon nano tüp ve grafit kompozitinin reolojik özelliklerini incelemişler ve malzeme oranının artışıyla birlikte viskozite değerlerinin de arttığı belirtilmiştir. Amar vd [17] epoksi reçinesi ile doğal puzolan kullanımını araştırmışlardır. Çalışmalarında epoksi ile doğal puzolanı %40 oranında ikame eden yazarlar, doğal puzolan kullanımının eşik gerilmesini ve viskoziteyi %10 oranında arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada da epoksi reçinede yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, kireçtaşı tozu ve doğal kum gibi mineral katkıların kullanılması durumunda taze haldeki polimerik yüzey kaplama harçlarının reolojik özellikleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1. Kullanılan malzemeler (Materials Used)

Polimer esaslı harçların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numunelerin üretiminde A ve B olarak (2:1) iki bileşenden oluşan genel amaçlı epoksi kullanılmıştır. Epoksi bileşenlerinin yoğunlukları sırasıyla, A bileşeninin 1,15 kg/dm³ ve B bileşeninin de 1,05 kg/dm³'dir. Rengi saydamdır. Minimum uygulama sıcaklığı da 10°C'dir. Bunun yanında 20°C'de kullanım süresi de 45 dk'dır. Kireçtaşı tozu (KT), Afyonkarahisar'da bulunan Kolsan ve Yeşilay Hazır Beton Tesislerinden alınmıştır. Uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) sırasıyla Tunç bilek Termik Santrali ve Etibank Antalya Elektrometalurji Sanayi İşletmesi'nden temin edilmiştir. Yüksek fırın cürufu (YFC) da Bolu Çimento'dan getirilmiştir. Tüm mineral katkıların karakteristik özellikleri kompozisyonu Tablo 1'de, tane boyutu dağılım özellikleri de Şekil 3'te sunulmuştur. Ticari adıyla epoksi kumu olarak bilinen kuvars kumu (DK) 0,25/1 mm aralığında boyutlandırılmış olarak paket halinde temin edilmiştir. Dere kumu olan DK'un özgül ağırlığı 2,57 olarak belirlenmiştir.

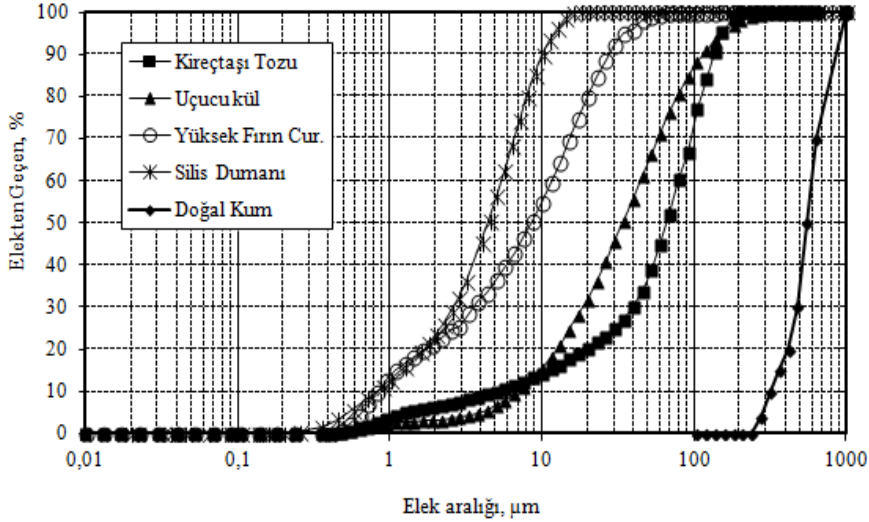
2.2. Deneyler (Experiments)

Polimer esaslı numunelerin üretiminde %100 oranında polimer bağlayıcı (epoksi reçinesi) içerisine filler olarak ağırlıkça %0'dan %60 oranına kadar yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve kireçtaşı tozu (KT) ve kullanılarak aynı oranlarda polimer malzeme miktarı azaltılmıştır. Aynı zamanda epoksi zemin kaplamasında ticari olarak kullanılan doğal kum (DK) da mineral katılara benzer şekilde reçineyle yer değiştirme yöntemiyle kullanılarak farklı seriler tasarlanmıştır. Karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. Polimer esaslı numunelerin üretiminde %100 oranında polimer bağlayıcı (epoksi reçinesi) içerisine filler olarak hacimce %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında farklı tipteki mineral katılar kullanılarak aynı oranlarda polimer malzeme miktarı azaltılmıştır. Polimer harç üretimleri, kapasitesi yaklaşık 5 lt olan harç mikseri ile gerçekleştirilmiştir. Polimer harçların karışımında, filler ile polimer reçinenin A bileşeni 1 dak boyunca kuru karışım yapıldıktan sonra karışıma reçinenin B bileşeni ilave edilerek karıştırma işlemine 2 dak daha devam edilmiştir. Polimer malzemeler sertleştiricisiyle birlikte homojen hale gelinceye kadar karıştırıldıktan sonra numuneler üzerinde taze harç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, mini-çökmede yayılma deneyi, görünen viskozite ölçümleri ve eşik kayma gerilmelerinin belirlenmesidir. Hazırlanan karışımlardaki viskozite ölçümlerinde Brookfield DV-II+ PRO marka Digital viskozimetre kullanılmış olup, ölçümler 10'dan 100 dev/dk (rpm)'ya kadar 10 dev/dk (rpm) arttırılmak suretiyle 10 farklı dönüş hızında kanatçık şeklindeki uçlarla (Vane-spindle) gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Reoloji ölçümlerinde her hız için 5 sn ölçüm ve ölçümler arasında 3 sn bekleme olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Mineral katkıların karakteristik özellikleri (Characteristic properties of mineral admixtures)

Bileşen, %	YFC	UK	SD	KT
CaO	39,8	6,66	1,48	51,4
SiO ₂	32,8	47,4	74,7	2,96
Al ₂ O ₃	11,8	19,8	0,46	1,13
Fe ₂ O ₃	1,45	11,8	0,84	0,2
MgO	4,15	4,76	3,64	1,0
Na ₂ O	0,51	0,57	0,85	0,03
K ₂ O	0,91	2,62	5,05	0,14
SO ₃	2,06	1,86	2,48	0,03
Cr ₂ O ₃	0,02	0,13	2,83	-
TiO ₂	0,63	0,88	0,63	0,07
K.K.	2,2	2,76	5,97	42,9
Özgül ağırlık	2,8	1,99	2,44	2,72
İncelik (Blaine Özgül yüzey alanı), cm ² /g	4982	3126	14000*	2427

*Blaine yöntemi uygun olmadığından azot absorpsiyonu (BET) yöntemiyle belirlenmiştir.

**Şekil 3.** Mineral katkıların tane dağılımları (Grain distribution of mineral admixtures)**Tablo 2.** Polimer harç karışım oranları (Polymer mortar mixing ratios)

Mineral katkı, %	Epoksi reçinesi	
	A bileşeni % (2/3)	B bileşeni % (1/3)
0	67,0	33,0
10	60,0	30,0
20	53,3	26,7
30	46,7	23,3
40	40,0	20,0
50	33,3	16,7
60	26,7	13,3

Ölçümler TS 6126 EN ISO 2555 standardına [18] göre oda sıcaklığında ve standart 600 ml hacimli plastik beher içerisinde gerçekleştirilmiştir. Tüm harçların görünen viskoziteleri aynı kap ve harç seviyesinde yapılmıştır.

Ölçümde kullanılan uçların harç içerisindeki derinliği de sabit tutulmuştur. Kayma gerilmelerinin belirlenmesinde Brookfield firması tarafından viskozite ölçümleri sırasında kaydedilen tork ve kullanılan spindle boyutlarına göre geliştirilmiş aşağıdaki Eş. 1 kullanılmıştır.

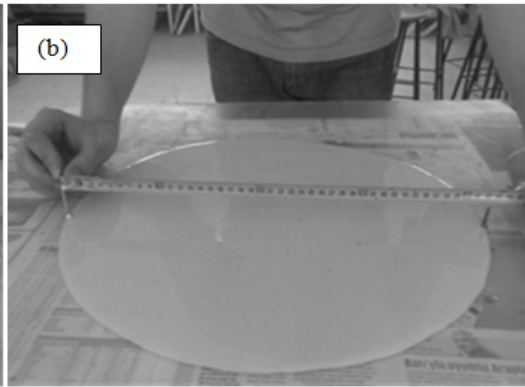
$$\tau = M / (20\pi LR^2) \quad (1)$$

Burada, τ , kayma gerilmesini (Pa.s); M, spindle dönüş torku (dyne-cm); L, viskozite ölçümlerinde kullanılan spindle uzunluğunu (cm) ve R, spindle alt yarıçapını (cm) simgelemektedir. Viskozite ölçümleri sırasında elde edilen kayma oranlarına karşılık kayma gerilmeleri x-y dağılım grafiğinde çizilmiş ve grafik üzerindeki noktalardan doğrusal eğim çizgisi geçirilerek Bingham modeli elde edilmiştir. Bu eğrinin düşey eksenini kestiği noktanın değeri eşik kayma gerilmesi değeri olarak alınmıştır. Bu işlem tüm

seriler için gerçekleştirilmiş olup, doğrusal eğimlerden korelasyon katsayısı en düşük olan eğri için $R= 0,998$ 'dir. Yayılma deneyi için dik yüksekliği 50 mm, üst çapı 50 mm ve alt çapı 100 mm olan mini-Abrams konisi kullanılmıştır (Şekil 5a). Yayılma deneyleri yüzeyi oldukça düzgün mika plakalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Plakanın deney yapılacak yüzeyi her deneyden önce silinerek temizlenmiştir. Metal malzemeden imal edilmiş olan mini Abrams konisi yüzeye konulduktan sonra deney sırasında hareket etmemesi için tutularak içerisine önceden hazırlanan epoksi reçinesi kalıba dökülmüştür. Kalıp dolduktan sonra üst kısmı spatula yardımıyla düzlenmiştir. Daha sonra koni düşey eksende yavaşça yukarı kaldırılarak alt kısımda bulunan harcın plaka üzerinde yayılması sağlanmıştır. Harcın yayılması durduğunda birbirine dik yönde yayılma çapları ölçülerek bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Şekil 5b). Yayılma deneyleri mineral katkıların belirli oranlarda kullanılmasıyla üretilen harçlarda sırayla gerçekleştirilmiştir. Polimer harçların işlenebilirlikleri ölçüldükten sonra Vicat aparatı konisine yerleştirilmiştir. Bu konu içerisine yerleştirilen polimer harca belirli zaman aralıklarında Vicat iğnesi serbest düşmeyle daldırılarak katılma zamanı belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak başka bir Vicat konisine yerleştirilen polimer içerisine de termokupl daldırılmış ve katılma sırasında açığa çıkan görünür katılma (reaksiyon) sıcaklığı kaydedilmiştir.



Şekil 4. a) Brookfield marka viskozimetre b) Vane-spindle uçlardan görünüm
(A view from a) Brookfield viscosymer b) Vane-spindle)



Şekil 5. a) Mini Abrams konisi ve b) yayılma değerlerinin ölçülmesi (a) Mini-Abrams cone and b) Measurement of spreading values)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Kendiliğinden yerleşen polimerik harçların reolojik özelliklerine farklı tipte mineral katkının etkisinin araştırıldığı bu makalede harcın taze özellikleri üzerine odaklanılmıştır. Bu özellikler aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuş ve tartışılmıştır. Harçların mineral katkı içeriğine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerini de kapsayan tüm özellikleri Tübitak tarafından desteklenmiş olan 114M155 nolu projede daha geniş kapsamlı bir şekilde bulunabilir.

3.1. Yayılma (Spreading)

Farklı tiplerde filler malzeme içeren epoksi reçineli polimer harçların yayılma özellikleri her bir değişen mineral katkı oranlarına bağlı olarak Şekil 6'da verilmiştir. Yaklaşık 400 mm olan epoksi reçinesinin yayılma çapı çoğu mineral katkıların %10 - %20 oranlarına kadar kullanımıyla genel olarak artırılmıştır. Diğer yandan bazı filler malzemelerin belirli oranlarda ilave edilmesiyle harçların karışımları gerçekleştirilememiş, kalıplara yerleştirilememiştir. Bu nedenle bu oranlarda karışımlara son verilmiştir. EFNARC [13] komitesi tarafından çimento esaslı kendiliğinden yerleşen harçlarda yayılma çapının en az 240 mm olması tavsiye edilmektedir.

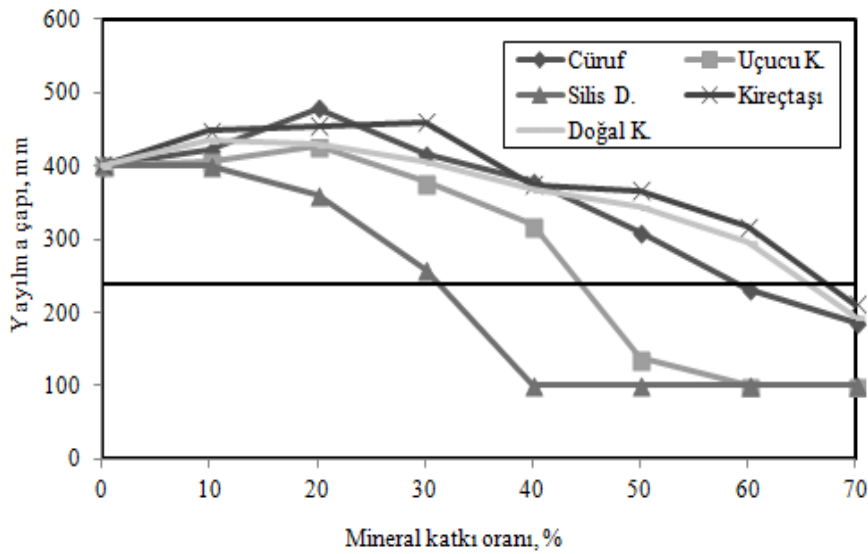
Epoksi esaslı zemin kaplama karışımları da zemin üzerinde kendiliğinden yerleşebilme özellikleri ile yayılmaları istendiğinden bu harçlar için de aynı yayılma değeri kabul edilebilir. Bu nedenle Şekil 6'da sınır değer olarak 240 mm referans alınmıştır. Yayılma çapları açısından 240 mm yayılma değerine kadar en düşük mineral katkı oranı silis dumanında elde edilmiştir. Mineral katkılar içerisinde en küçük tane çapına sahip olan malzeme silis dumanı oluşu ve bu özeliği ile ıslanabilme derecesi oldukça yüksek olmasından dolayı en düşük katkı oranında bile düşük yayılma çapı elde edilmiştir. Sınır yayılma değeri için en yüksek mineral katkı oranı da yaklaşık %60 oranında kireçtaşı tozu ve doğal kumda elde edilmiştir. Uçucu kül için %47, yüksek fırın cürufu için de %60 oranlarında sınır değerde yayılma çapları elde edilmiştir. Yayılma deneylerinde mineral katkıların polimerik reçine içerisinde homojen dağılarak yayıldıkları gözlenirken DK'un diğer mineral katkılara göre daha büyük tane boyutuna sahip olması ve bu nedenle de daha düşük yüzey alanına sahip olmalarıyla özellikle %40 oranı ve üzerinde kullanılmaları durumunda ayrılmaya başladıkları gözlenmiştir. Yayılma sırasında iri kum tanecikleri harç merkezinde çökelmeye başlarken daha küçük taneler polimerik reçine ile birlikte taşınmışlardır.

3.2. Görünen viskozite (*Specific viscosity*)

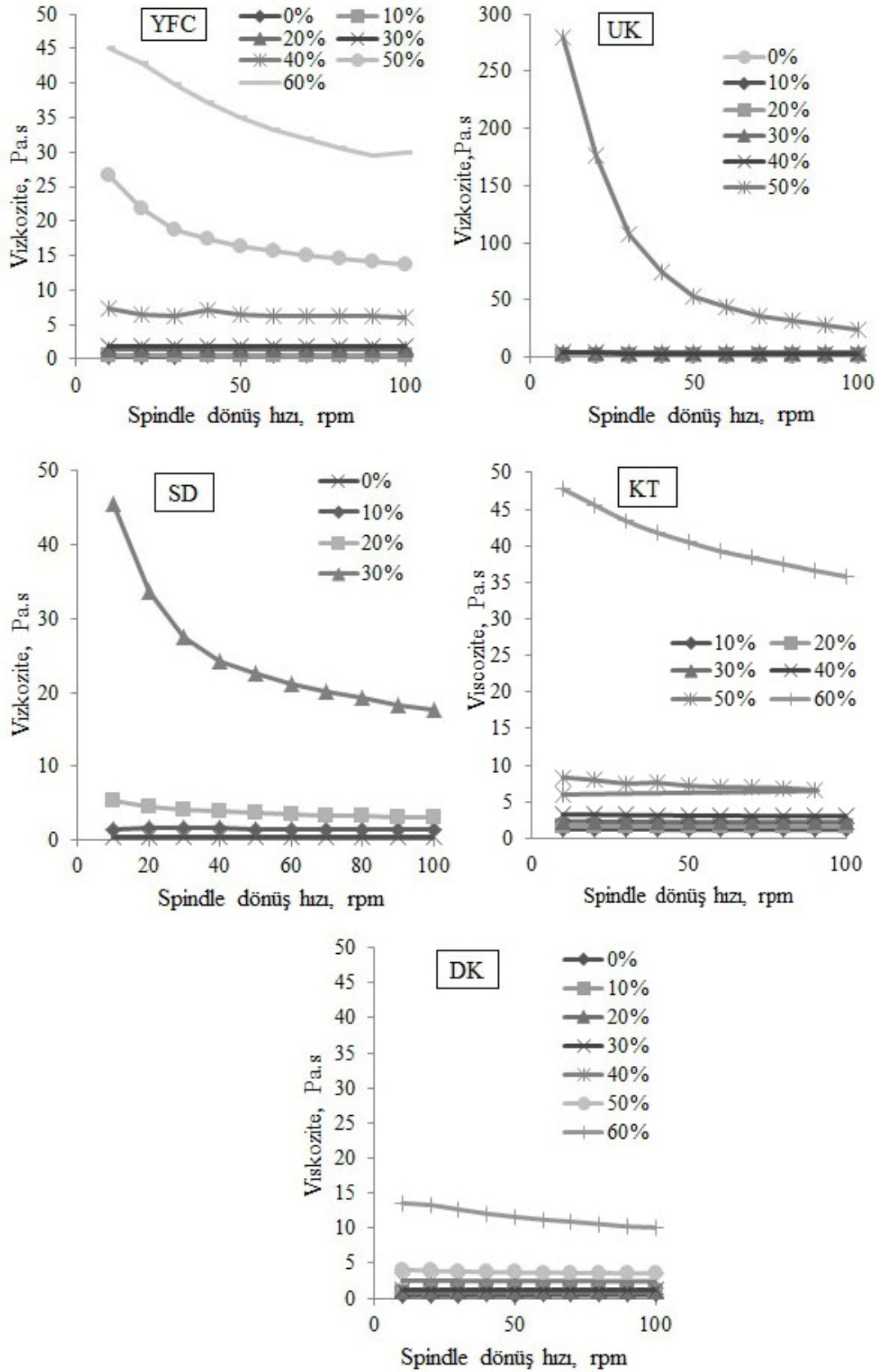
Farklı mineral katkıların kullanıldığı polimer karışımlarının spindile dönüş hızlarına bağlı görünen viskozite değerlerine ait değişimler de Şekil 7'de verilmiştir. Tüm polimer harçların görünen viskozite değerleri deformasyon hızının arttırılmasıyla birlikte azalmıştır. Polimer harçların yüksek akışkanlığa sahip olabilmeleri için harçların akışkanlığa karşı direncin göstergesi olan görünen viskozite değerlerinin oldukça düşük değerler alması gerekecektir. Sabit deformasyon hızı için ele alındığında, mineral katkı

kullanılması durumunda 10 rpm deformasyon hızı için mineral kullanım oranı arttıkça görünen viskozite değerleri de yükselmiştir. Mineral katkı miktarının artmasıyla tanecikler arasındaki iç sürtünmeden dolayı harcın akışkanlığa karşı direnci de artmıştır. Diğer deformasyon hızları için de benzer değerler elde edilmiştir. Mineral katkılar açısından görünen viskozite değerleri karşılaştırıldığında, genellikle %50 kullanım oranı üzerinde harçların görünen viskoziteleri belirgin bir şekilde artmaya başlamıştır. Silis dumanı %30 üzerinde karıştırılmadığından bu orana kadarki serilerde görünen viskozite ve diğer taze harç ölçümleri gerçekleştirilebilmiştir. En düşük görünen viskozite değerleri doğal kumla üretilen harçlarda elde edilmiştir. Deformasyon hızına bağlı olarak kuvars kumlu serilerin de görünen viskozite değerleri önemli derecede değişmemiştir. Kuvars kumdaki bu kadar düşük görünen viskozite elde edilmesinin nedeni görünen viskozite ölçümleri sırasında gözlemlenen kuvars kumunun polimer harcı içerisinde kabın dibine doğru yoğunluğundan ve tane boyutunun büyük olmasından dolayı çökmesidir [19, 20]. Diğer bir ifadeyle doğal kumun yapısından dolayı doğal kumlu polimer harçlarda uygun viskozite ölçümleri alınamamıştır. Diğer mineral katkılarda böyle bir ayrışma durumu gözlenmemiştir.

Polimer harçlarda kullanılan mineral tipinin görünen viskoziteye etkisi ayrıca 100 rpm deformasyon hızı için Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Silis dumanı katkılı polimer harçlar haricindeki diğer mineral katkıların özellikle %40 ve %50 kullanım oranından sonra görünen viskozite değerlerinin belirgin bir şekilde artmaya başladığı açıkça görülmektedir. Mineral kullanım oranı %50 için karşılaştırıldığında, en yüksek görünen viskozite değeri silis dumanının kullanımıyla elde edilirken en düşük değer de uçucu külün kullanıldığı harçlarda görülmüştür.



Şekil 6. Mineral katkı oranına göre polimer harçların yayılma çaplarının değişimi
(Changing of spreading diameter of polymer mortar versus mineral admixture content)



Şekil 7. Mineral katkıları için görülen viskozite değerleri (Specific viscosity values for mineral admixtures)

Burada mineral katkıların tane boyutu ve yüzey yapısı oldukça önemlidir [12]. Tanelerin incelik değerlerinin diğer bir ifadeyle yüzey alanlarının artmasıyla birlikte tane yüzeyini ıslatacak film tabakası için gerekli bağlayıcı miktarı da artmıştır. Sabit bağlayıcı içeriği için tanecikleri arasındaki iç sürtünmenin artarak görünen viskozitenin de artmasına neden olmuştur.

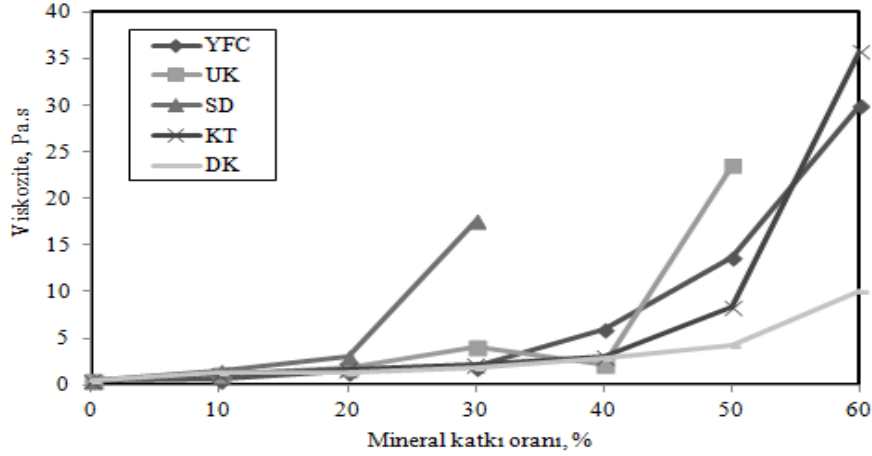
3.3. Eşik Gerilmesi (Yield Stress)

Mineral katkı tipine bağlı olarak eşik gerilmelerinin karşılaştırılması Şekil 9'da verilmiştir. Polimer esaslı harçların zemin üzerinde döküldüklerinde homojenitesini bozmadan kohezyonlu olarak kolayca yayılıp fazla ışçılık gerektirmemeleri ve yüzeyi düzgün bir şekilde kaplayabilmeleri için eşik gerilmelerinin oldukça düşük değerler alıp "0" değerine yakın olması istenmektedir [19]. Mineral katkıları içerisinde kireçtaşı tozu ve doğal kumlu serilerde %50 oranından itibaren eşik gerilmeleri artarak

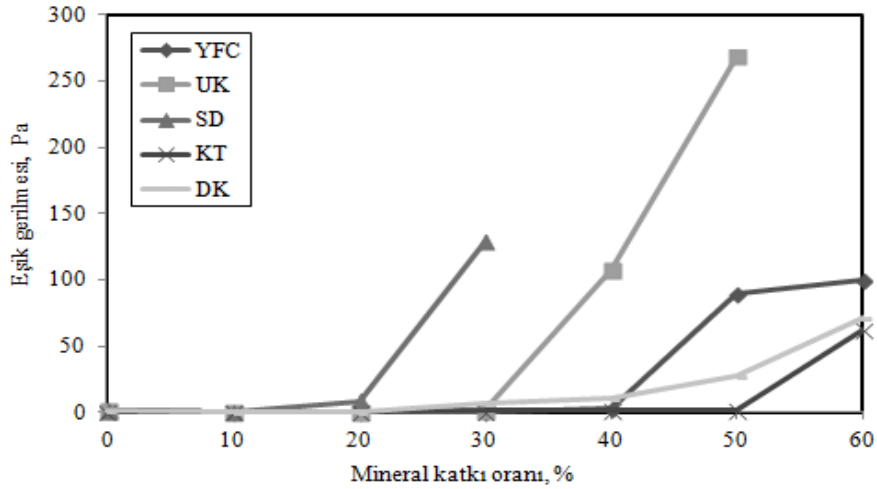
yüksek değerler almaya başlarken yüksek fırın cürufu serilerde %40, uçucu külde %30 ve silis dumanında ise %20 oranlarından sonra eşik gerilmeleri artmaya başlamıştır.

3.4. Katılma süreleri (Setting Times)

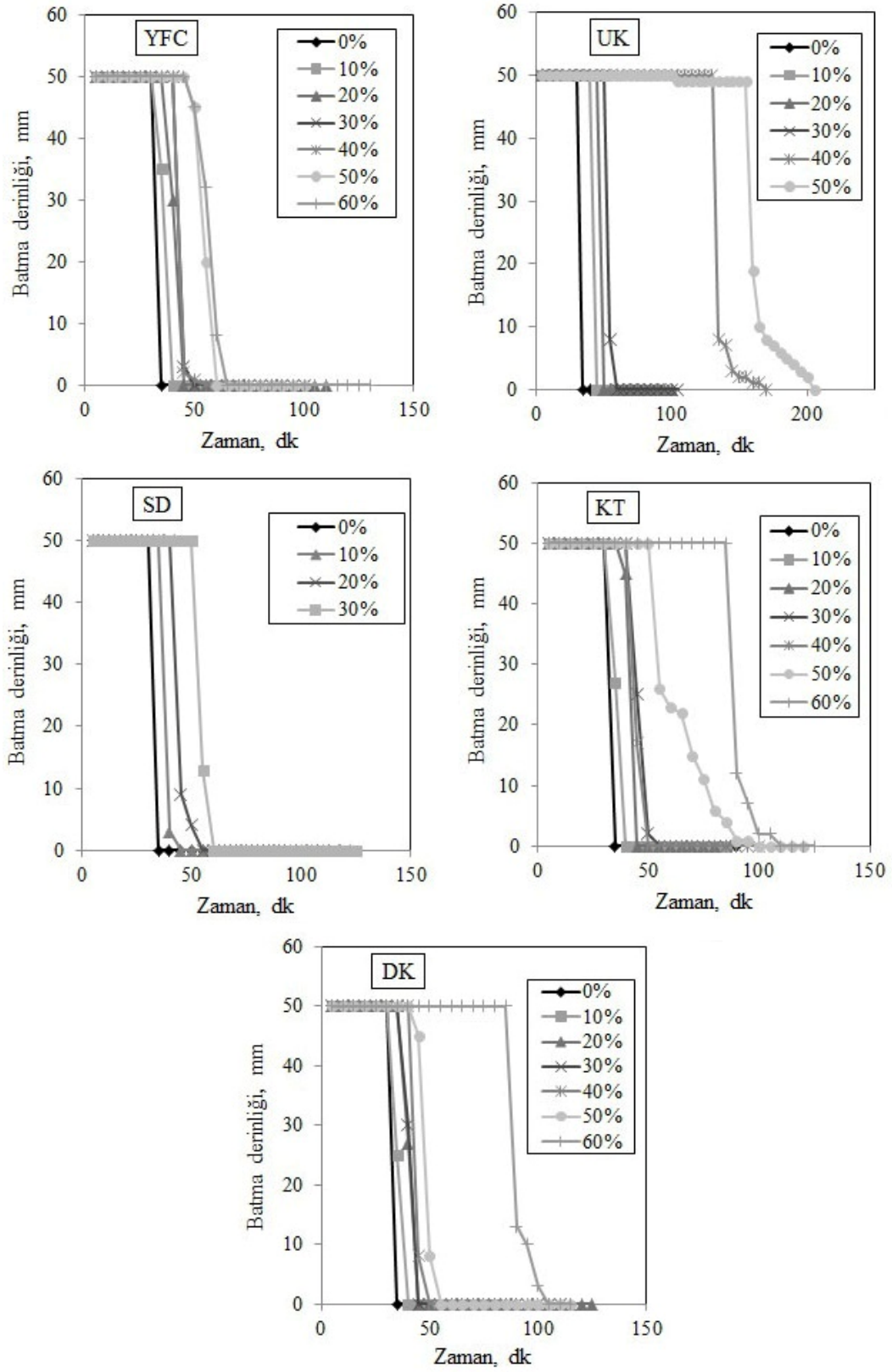
Polimer reçine içerisinde farklı tipte mineral katkı kullanılması durumunda Vicat iğnesiyle 50 mm yüksekliğindeki kesik koni içerisinde gerçekleştirilen katılma süre ve derinlikleri Şekil 10'da ayrı ayrı verilmiştir. Başlangıçta 50 mm olan batma mesafeleri zamanla polimerin katalizörle birlikte reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda jelleşerek daha sonra da katılmasısıyla Vicat iğnesi karışımların içerisine girememeye başlamıştır. Şekillerden de görüleceği gibi priz başlangıç ve bitiş süreleri arasında oldukça kısa bir zaman farkı bulunmaktadır. Reaksiyonlar oldukça hızlı ilerlediğinden priz başlama ve bitiş arasında az sayıda değerler alınabilmektedir.



Şekil 8. 100 rpm dönüş hızı için görünen viskozite değerlerinin karşılaştırılması
(Comparison of specific viscosity values for 100 rpm)



Şekil 9. Mineral katkı tipine bağlı olarak eşik gerilmelerinin karşılaştırılması
(Comparison of yield stress depending on mineral admixture type)



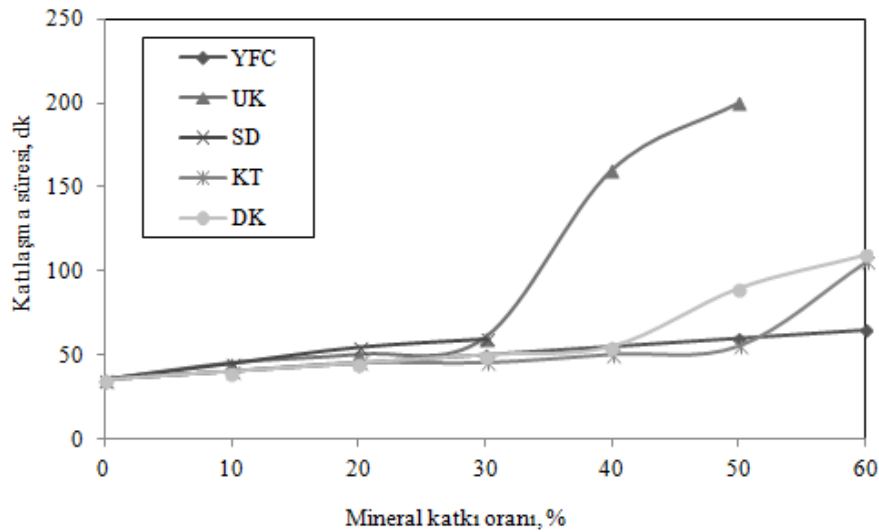
Şekil 10. Polimer harçların Vicat batma değerleri (Vicat values versus of polymer mortars)

Katılma süreleri incelendiğinde, genel olarak mineral katkı miktarının artmasıyla birlikte priz başlangıç ve bitiş süreleri de daha yüksek değerler almaya başlamış, diğer bir ifadeyle daha geç sürede katılaşmalar görülmeye başlanmıştır. Mineral katkılar içerisinde en uzun katılma süresi %40 ve üzerinde uçucu kül kullanılması durumunda elde edilmiştir. Her bir mineral katkının kullanım oranına bağlı olarak priz bitiş süreleri Vicat iğnesinin harç içerisine 1 mm veya 0 mm batmasına kadar geçen süreler olarak dikkate alınmış ve bu değerler Şekil 11'de karşılaştırılmıştır. Epoksi reçinesinin yaklaşık 45 dk sonra katılaşığı görülmektedir. Uçucu kül haricindeki diğer mineral katkıların %40 oranına kadar kullanımıyla priz bitiş süresi 50 dk civarında değerler olarak önemli derecede farklılık görülmemiştir. Ancak %50 ve üzeri oranlarda kullanılan katkılar priz süresini fark edilir derecede arttırmışlardır. Endüstriyel veya normal zeminlerde epoksi zemin kaplaması uygulamalarda %40 oranına kadar mineral katkıların kullanımı sonucunda polimer kaplamanın katılaşması için önemli bir süre artımı söz konusu değilken, %50 oran üzerinde uygun mineral katkının kullanımı sonucunda katılma süreleri daha fazla zaman alacaktır. Dolayısıyla kullanımı mümkün olan mineral katkının yüksek oranda kullanımıyla uygulama süresi daha fazla olacak, daha düzgün ve kaliteli işçilikler gerçekleştirilebilecektir.

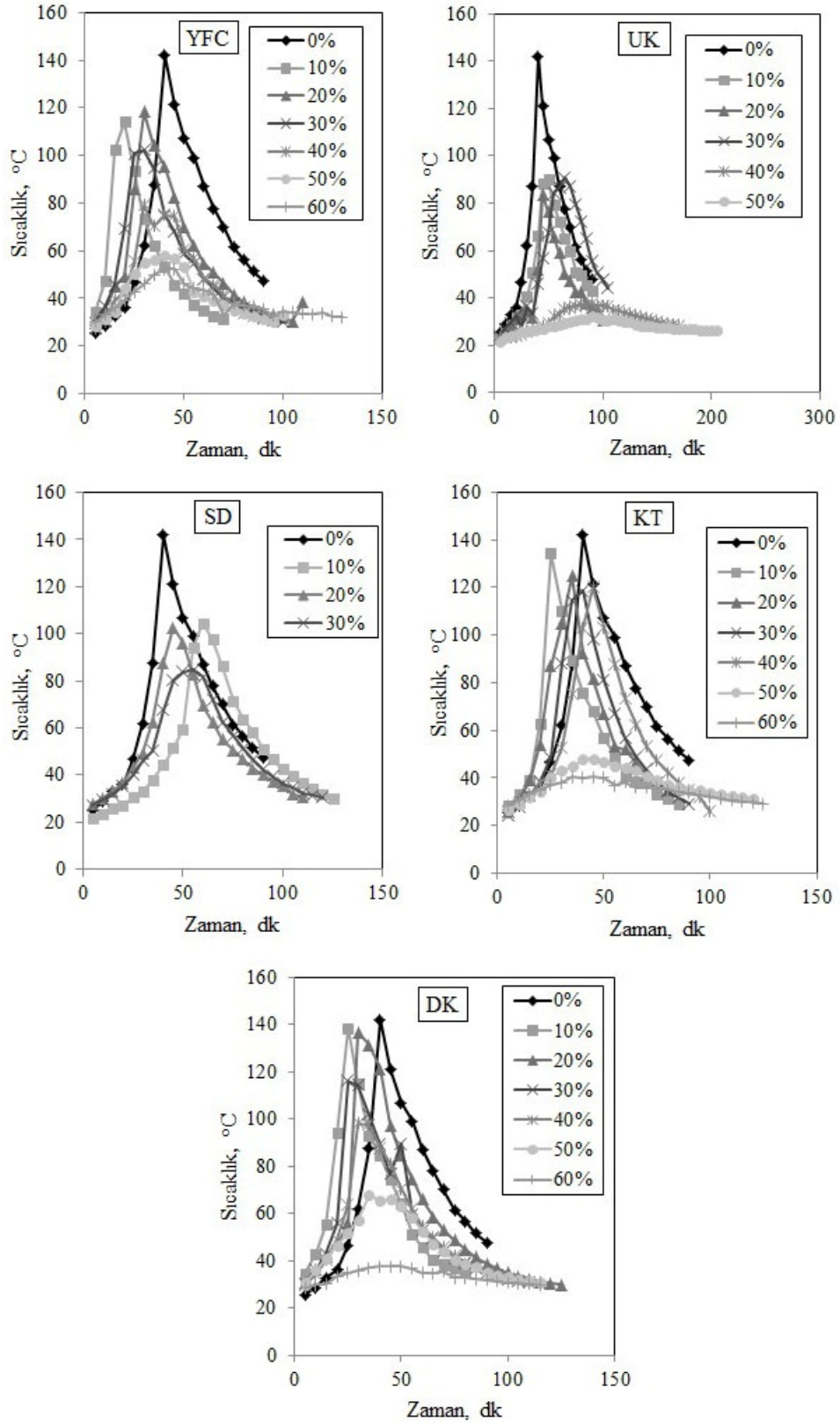
3.5. Katılma Sıcaklığı (Setting Temperature)

Polimer harçlar üretilip reolojik özellikleri belirlendikten sonra katılaşmaya kadar geçen süre içerisinde hem katılma özellikleri hem de bu sırada açığa çıkan reaksiyon sıcaklıkları termokuplar ile ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 12). Epoksi reçinesi sertleştiricisiyle birlikte reaksiyona girdiğinde 45 dk sonunda yaklaşık 142 °C sıcaklık açığa çıktığı görülmüştür. Bu maksimum sıcaklık değerlerinde polimer karışımların katılaşmaya başladığı, jel veya katı hale gelmeye başladıkları gözlenmiştir. Daha sonra oda sıcaklığına doğru soğumaya başlamıştır. Benzer reaksiyon davranışı diğer mineral katkılı serilerde de gözlenmiştir. Ancak, genel olarak tüm mineral

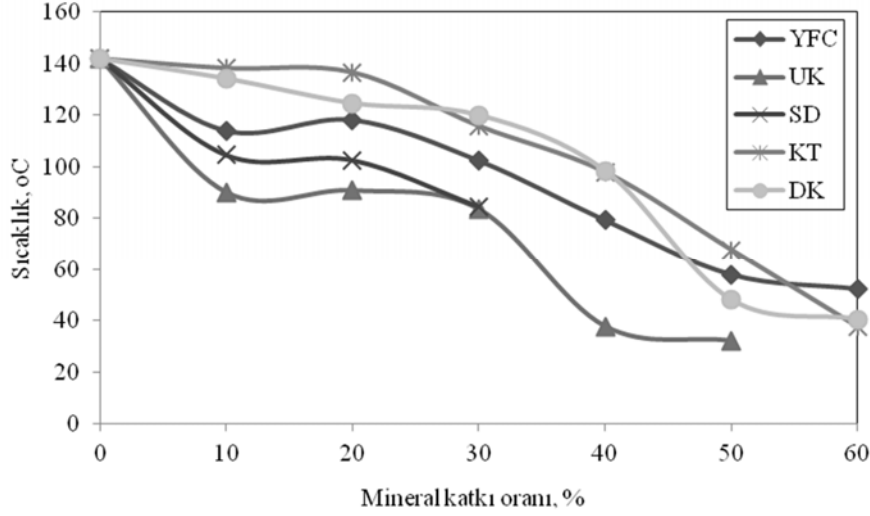
katkılarda kullanım oranı arttırıldıkça reaksiyon sıcaklığı önemli derecede azalmıştır. Ayrıca reaksiyon sırasındaki ani sıcaklık değişimleri de azalarak numunelerde daha kararlı sıcaklıklar alınmıştır. Mineral katkıların kullanımıyla genel olarak reaksiyon süresi de kısalmıştır. Mineral katkı miktarının arttırılmasıyla da elde edilen maksimum sıcaklık değerleri önemli derecede azalmıştır. Bu azalmada epoksi reçinesinin de miktar olarak azalmasının büyük rolü bulunmaktadır. Örneğin, %10 mineral katkılı polimer harçlarda %90 oranında reçine bulunurken, %60 katkılı harçlarda reçine oranı %40'tır. Reçinenin azalmasıyla birlikte reaksiyon sırasındaki maksimum sıcaklık değerleri de azalmıştır (Şekil 13). Tüm mineral katkıların kullanımında reaksiyon sıcaklıklarının azaltılması özellikle %30 katkı oranından sonra belirgin bir şekilde gerçekleşmiştir. Mineral katkılar içerisinde polimer reçinenin sıcaklığının en fazla azalmasına uçucu kül neden olmuştur. Polimer reçinenin 142 °C olan reaksiyon sıcaklığı %50 uçucu kül kullanımıyla yaklaşık 32 °C'ye kadar azaltılmıştır. Optimum uçucu kül oranıyla (%30) da reaksiyon sıcaklığı yaklaşık 84 °C'ye kadar azaltılabilmektedir. Mineral katkılardan SiO₂ içeriği yüksek olan katkılarda daha yüksek oranda reaksiyon ısısının azaltıldığı görülmüştür. Bunun başlıca nedeni ise quartz kumunun ısı kapasitesinin (830 J/kg C) kalsiyum esaslı malzemelerin ısı kapasitesinden (730 J/kg C) daha yüksek değere sahip olmasıdır. Doğal kum kuvars esaslı olmasına rağmen diğer mineral katkılara göre nispeten daha büyük tane çapına ve dolayısıyla daha düşük yüzey alanına sahiptir. Sabit bir karışım oranı için yüzey alanı yüksek olan malzemeleri ıslatmada mevcut reçinenin yetersiz kalması veya reçinenin kendi içindeki bileşenleriyle kimyasal reaksiyona girerek oluşan bağların arasına ince taneli malzemelerin araya girerek bağ oluşumunu yavaşlatmaları veya engellemeleri sonucunda reaksiyon ısısı da azalmıştır [21]. Yüzey alanı düşük olan malzemelerde ise ortamda daha fazla reçine bulunacağından reaksiyonlar daha iyi oluşmakta ve buna bağlı olarak da daha fazla ısı açığa çıkmaktadır.



Şekil 11. Polimer harçların katılma süreleri (Setting time of polymer mortar)



Şekil 12. Polimer harçların katılaşıma sıcaklıkları (Setting temperature of polymer mortar)



Şekil 13. Polimer harçların katılma sıcaklıklarının karşılaştırılması (Comparison of setting temperature of polymer mortars)

Bu nedenle %50 oranı aşağısında kullanımında diğer serilere göre yüksek reaksiyon sıcaklığı elde edilmiştir. Zemin kaplama için kullanım oranı azaltmada en etkili mineral katkının uçucu kül olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Endüstriyel işlemlerde veya zemin kaplama uygulamalarında kullanılan epoksi reçinesi içerisine belirli oranlarda farklı tipteki mineral katkıları ilave edilmesiyle üretilen polimer kompozitlerin reolojik özellikleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Silis dumanı haricindeki mineral katkıların %30 oranına kadar kullanımıyla yayılma değerlerinde azalma olmamış, tam tersine %20 oranında kullanılmaları durumunda artış görülmüştür. Yüksek fırın cürufu, kireçtaşı tozu ve doğal kumun %60 oranına kadar kullanımıyla şartnamelere uygun yayılma çapı değeri elde edilmiştir. Genellikle %50 kullanım oranı üzerinde harçların görünen viskoziteleri belirgin bir şekilde artmaya başlamıştır. Silis dumanı %30 üzerinde karıştırılmadığından bu orana kadarki serilerde görünen viskozite ve diğer taze harç ölçümleri gerçekleştirilebilmiştir. En düşük görünen viskozite değerleri doğal kumla üretilen harçlarda elde edilmiştir. Mineral katkıları içerisinde kireçtaşı tozu ve doğal kumlu serilerde %50 oranından itibaren eşik gerilmeleri artarak yüksek değerler almaya başlarken yüksek fırın cürufu serilerde %40, uçucu külde %30 ve silis dumanında ise %20 oranlarından sonra eşik gerilmeleri artmaya başlamıştır.

Katılma süreleri incelendiğinde, genel olarak mineral katkı miktarının artmasıyla birlikte priz başlangıç ve bitiş süreleri de daha yüksek değerler almaya başlamış, diğer bir ifadeyle daha geç sürede katılaşmalar görülmeye başlanmıştır. Mineral katkıları içerisinde en uzun katılma süresi %40 ve üzerinde uçucu kül kullanılması durumunda elde edilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda veya zemin kaplama işlemlerinde %40 oranına kadar mineral katkıların kullanımı

sonucunda polimer kaplamanın katılması için önemli bir süre artımı söz konusu değilken, %50 oran üzerinde uygun mineral katkıların kullanımı sonucunda katılma süreleri daha fazla zaman alacaktır. Tüm mineral katkılarda kullanım oranı artırıldıkça reaksiyon sıcaklığı önemli derecede azalmıştır. Ayrıca reaksiyon sırasındaki ani sıcaklık değişimleri de azalarak numunelerde daha kararlı sıcaklıklar alınmıştır. Mineral katkıların kullanımıyla genel olarak reaksiyon süresi de kısalmıştır. Sonuç olarak, epoksi reçinesinde silis dumanı haricinde optimum oran olarak %50 oranına kadar mineral katkı ilave edilebileceği, bunun sonucunda uygun reolojik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Benzer oranlar doğal kum için de geçerlidir. Bölgesel olarak endüstriyel atık tozların (yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kireçtaşı tozu, uçucu kül) bulunduğu bölgelerde epoksi kumu olarak bilinen kuvars esaslı doğal kum yerine mineral katkıların da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Nispeten pahalı olan bu reçinelerin kullanım maliyetleri mineral katkıların filler olarak kullanılmasıyla neredeyse yarı yarıya azaltılabilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 114M155 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Malipatil A.S., Experimental and LS-DYNA of Sand Particle Erosion on Polymer Composites, IFAC Proceedings , 47 (1), 1080-1083, 2014.
2. Sliptsova I., Savchenko B., Sova N., Sliptsov A., Polymer sand composites based on the mixed and heavily contaminated thermoplastic waste, Materials Science and Engineering, 111, 1-5, 2016.
3. Naccache M.F., Corrêa J.P., Soares I.F., Abdu A., Rheological characterization of polymers fiber

- composite, *Polymer Composites*, 34 (8) 1269–1278, 2013.
4. Al-Ahdal K., Silikas N., Watts D.C., Rheological properties of resin composites according to variations in composition and temperature, *Dental Materials*, 30 (5), 517-524, 2014.
 5. RousseL N., Stefani C., Leroy R., From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement-based materials yield stress using slump tests, *Cement and Concrete Research* 35, 817-822, 2005.
 6. Tařdemir M.A., Bayramov, F., Y¼ksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, *İTÜ Dergisi*, 1 (2), 125-144, 2002.
 7. Ramyar K., Portland imentosu-s¼perakıřkanlařtırıcı katkı uyumunu etkileyen fakt¼rler, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara-T¼rkiye, 197-211, 12-13 Nisan, 2007.
 8. Yahiaa A., Tanimurab M., Shimoyama Y., Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research* 35, 532-539, 2005.
 9. Topu İ.B., Uygunoğlu T., Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Har Bileřiminin Eşik Kayma Gerilmesine Etkisi, *imento ve Beton D¼nyası Dergisi*, 72, 82-98, 2008.
 10. Uygunoğlu T., Topu İ.B., Influence of aggregate type on workability of self-consolidating lightweight concrete (SCLC), *Magazine of Concrete Research*, 63 (1), 1-12, 2011.
 11. Schwartzentruber L.D., Roy R.L., Cordin J., Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC), *Cement and Concrete Res.* 36, 1203-1213, 2006.
 12. Topu İ.B., Uygunoğlu T., Influence of mineral additive type on slump-flow and yield stress of self-consolidating mortar, *Scientific Research and Essays*, 5 (12), 1492-1500, 2010.
 13. EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, Association House, 99 West Street, Farnham, 7EN, UK, February, 2002.
 14. Savchuk P.P., Kostornov, A.G., Rheological properties of epoxy composites with different reinforcement contents, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics* 48 (3-4), 157-161, 2009.
 15. Uygunoglu T., G¼neř İ., Brostow W., Physical and mechanical properties of polymer composites with high content of wastes including boron, *Materials Research*, 18 (6), 1188-1196, 2015.
 16. Kim K.S., Rhee K.Y., Lee K.H., Byun J.H., Park S.J., Rheological behaviors and mechanical properties of graphite nanoplate/carbon nanotube-filled epoxy nanocomposites, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16 (4), 572-576, 2010.
 17. Amar I., Brahim H., Chouaib A., Boudjema B., Ibtissem, B., Rheological Behavior of the Epoxy Resin Loaded with the Pozzolan, *Journal of Materials Science and Engineering A* 2 (7), 519-524, 2012.
 18. TS 6126 EN ISO 2555, Plastikler-Sıvı veya Em¼lsiyon veya Dispers Halde Reçineler-G¼r¼n¼r Viskozite Tayini- Brookfield metodu, T¼rk Standartları Enstit¼s¼, Ankara, 2005.
 19. Uygunoğlu T., Uygunoğlu T., Aky¼z K., Atık Mermer Tozunun Polimer Esaslı Zemin Kaplamasında Deđerlendirilmesi, Mersem'2012 8.Uluslararası Mermer ve Dođaltař Kongresi, Afyonkarahisar, 13-15 Aralık, 2012.
 20. Li Z., Gao Y., Moon K.S., Yao Y., Tannenbaum, A. Wong C.P., Automatic quantification of filler dispersion in polymer composites, *Polymer*, 53 (7), 1571-580, 2012.
 21. Nabinejad O., Sujan D., Rahman M.E., Davies I.J., Determination of filler content for natural filler polymer composite by thermogravimetric analysis, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 122 (1), 227-233, 2015.

