

<http://doi.org/10.58225/sw.2025.1-99-105>

ŞÜŞƏ TULLANTILARININ SEMENT SİSTEMLƏRİNDƏ NARIN DİSPERS DOLDURUCU KİMİ TƏDQIQI

Quvalov Abbas Abdurəhman oğlu- t.e.d., prof., Materialşünaslıq kafedrası, AzMİU
abbas-guvalov@mail.ru

Abbasova Səidə İskəndər qızı- k.e.n., dos., Materialşünaslıq kafedrası, AzMİU
saida.abbasovai@mail.ru

Xülasə. Narın dispers şüşə tozunun amorf quruluşu, bioloji cəhətdən parçalanmaması və rahatlıqla əldə edilməsi onun yeni istifadə sahələrinin tapılmasını aktual edir. Onun pussolan əlavə kimi istifadəsi müxtəlif ekoloji problemləri həll etməklə yanaşı, şüşə tozunun sement məhlullarında istifadəsi məlum materiallara nisbətən daha yaxşı nəticələr verir. Tədqiqatın əsas məqsədi sement xəmirinin və məhlulunun hazırlanması zamanı 20%-ə qədər sementi narın dispers şüşə tozu (70-60 mkm) ilə əvəz etməklə yeni səmərəli məhsulun alınması və uyğun olaraq ətraf mühitə təsirin azaldılmasıdır. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sement məhlullarının xüsusiyyətlərinə şüşə tozunun dispersliyi və morfologiyası xeyli təsir edir. Müxtəlif tərkibli şüşə tullantılarının sementə təsiri araşdırılarkən onların tətbiq istiqamətləri müəyyən edilmişdir. Mikroskopik və rentgen struktur analizlərinin nəticələri göstərdi ki, bərkimənin ilk dövrlərində şüşə tozu əlavə edilmiş nümunələrin morfologiyasının nəzarət nümunələri ilə eyni olmasına baxmayaraq sonrakı mərhələlərdə şüşə tozunun pussolan aktivliyi nəticəsində hidrat birləşmələrinin yaranması və böyüməsi zamanı quruluş əmələ gətirmə prosesində yeniliklər baş verir. Nəticələrin müqayisəsi göstərdi ki, hissəciklərinin ölçüsü 60 mkm olan şüşə tozunu 20%-ə qədər sementə qatdıqda daha yaxşı nəticələr əldə edilir. Bu zaman daha sıx mikroquruluşa malik sement daşı alınır.

Açar sözlər: Pussolan aktivliyi, şüşə tozu, mikrostruktur, mexaniki möhkəmlik, ətraf mühitə təsir

STUDY OF GLASS WASTE AS A FINE DISPERSE FILLER IN CEMENT SYSTEMS

Guvalov Abbas Abdurahman- doctor of tec.sc., prof., departament of Materials Science, AzUAC, abbas-guvalov@mail.ru

Abbasova Saida Iskandar- PhD in chemistry, ass.prof., departament of Materials Science, AzUAC, saida.abbasovai@mail.ru

Abstract. The properties of pomegranate dispersed glass powder, such as its amorphous structure, non-biodegradability and easy access everywhere, open up new concepts. Besides solving various environmental problems by using it as an anti-pollution additive, using glass dust gives better results than other known materials. The main goal of the research is to replace up to 20% of cement with dispersed pomegranate glass powder (70-60 μm) when preparing dough and mortar, to obtain a new efficient product and reduce the impact on the environment accordingly. As a result of the research, it was found that the properties of the solutions are greatly influenced by the dispersity and morphology of the glass powder. While investigating the effect of glass wastes of different composition on cement, their directions of application were determined. The results of microscopic and X-ray structural analyzes showed that, despite the fact that the morphology of the samples with glass powder added during the two periods of hardening was the same as the control samples, in the later stages, as a result of the pussolant activity of the glass powder, there were innovations in the structure formation process during the formation and growth of hydrate compounds. Comparison of the results showed that better results are obtained when glass dust with a particle size of 60 μm is added to cement up to 20%. At this time, a cement stone with a denser microstructure is obtained.

Keywords: Pozzolanic activity, glass powder, microstructure, mechanical strength, environmental impact

Giriş. Tikinti materiallarının qiyməti günü-gündən artır. 10 il ərzində sementin maya dəyəri xeyli artmışdır. Eyni zamanda digər inşaat materiallarının qiyməti də bir neçə dəfə artdı. Belə ki, inşaat materiallarına artan tələbatı və təbii ehtiyatların daşınmasına çəkilən yüksək xərclər, eyni zamanda artan ekoloji məhdudiyyətlər səbəbindən tikinti sənayesində adi tikinti materialları əvəzinə alternativ məhsulların hazırlanması aktuallaşır. Hazırda təbii ehtiyatları idarə etmək və saxlamaq üçün bütün bu bərk tullantıların səmərəli təşkil olunmuş təkrar emalı geniş tədqiqat işləri tələb edən beynəlxalq problemdir [1]. 2002-ci ildə dünyada istehsal olunan tullantıların proqnozlaşdırılan istehsalı 12 milyard ton təşkil edirdi ki, bunun da 11 milyard tonu sənaye tullantıları və 1,6 milyard tonu məişət tullantılarıdır. 2025-ci ilə qədər bərk tullantıların təxminən 19 milyard tona çatacağı proqnozlaşdırılır [2]. Təkcə Asiyada 4,4 milyard ton bərk tullantı yaranır onun 790 milyon tonunu bərk məişət tullantıları təşkil edir [2,3]. Getdikcə artan məişət tullantılarının basdırılması üçün külli miqdarda torpaq sahəsi tələb olunur [3]. Ekoloji məhrumiyyət, enerjinin tükənməsi və maliyyə məhdudiyyəti səbəbindən dünya miqyasında təhlükəli və təhlükəsiz tullantıların daşınması, utilizasiyası, təkrar emalı kimi müxtəlif üsulların araşdırılması üzrə tədqiqatlar aparılır [4-8]. Daha təmiz və yaşıl ətraf mühitin yaradılması üçün sosial, texniki-iqtisadi, ekoloji cəhətdən səmərəli yollarının tapılması hazırda beynəlxalq miqyasda ümumi problemdir. Böyük miqdarda tullantıların qarışıq yığılması onların təkrar emalı və utilizasiyasında böyük çətinlik yaradır. Ənənəvi materiallara alternativ kimi sənaye tullantılarından və əlavə məhsullardan doldurucu və ya xammal kimi istifadə böyük əhəmiyyət kəsb edir və mənzil sənayesində əlavə materiallar kimi səmərəli yaşama olduğunu göstərir [8]. Bu sahədə aparılmış əvvəlki tədqiqat işlərində sübut edilmişdir ki, 75 mm-dən kiçik ölçülü şüşə hissəciklərini 10-25%-ə qədər sementin əvəzinə verdikdə qarışıq məhlul və beton istehsalında yaxşı nəticələr alınır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, 75 mkm ölçülü şüşə tozunu sementə əlavə etdikdə yaxşı nəticələr verir [9], hətta hissəciklərinin ölçüsü 38-300 mkm olduqda elektron şüşələr sementin kütləsinin 40-50%-ə qədərini əvəz edə bilər [10].

Müəyyən edilmişdir ki, narın dispers şüşə tozunu sementə qatdıqda pussolanlaşma reaksiyasına hissəciklərin ölçüləri (150 ilə 38 mkm) xeyli təsir edir [11]. Şüşə tozunun verilməsi zamanı sement xəmirinin sıxılmada möhkəmlik həddi azalır, lakin ŞT sementin hidratasiya prosesini sürətləndirir və daha çox C-S-H geli yaranır, bu da ŞT pussolan təbiətə malik olmasını göstərir [12]. Məhlul hazırlayarkən 10% sementi şüşə tozu ilə əvəz etdikdə 28 gündən sonra məhlulun mikrostrukturu yaxşılaşır və uzunömürlülük baxımından etibarlı nəticələr verir. Ədəbiyyat tədqiqatları şüşə tozunun sement məhlullarının xassələrində rolunu aydın şəkildə göstərməsə də, onlardan istifadə etməklə müəyyən qədər ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısını almaq olur. Bu işin məqsədi sementə müxtəlif miqdarda narın dispers şüşə tozunun verilməsi ilə sement xəmiri və məhlulunun xassələrinin öyrənilməsi və xüsusilə ətraf mühitin qorunması məqsədi ilə şüşə tullantılarının səmərəli tətbiq sahəsinin tapılmasıdır.

Materiallar və tədqiqat üsulları. Təcrübələr üç istiqamətdə aparılmışdır. İlk olaraq şüşə tozu hissəciklərinin ölçüsünün sement xəmirinin xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Sonra uzunömürlülüyn nəzərə alınması ilə sement məhlulunun xassələri tədqiq edilmişdir. Tədqiqatın növbəti mərhələsində isə şüşə tozunun sement xəmirinə və məhluluna təsirinin müasir sınaq üsulları ilə (mikroskopik və pentgenoqrafik) analizi aparılmışdır.

Tədqiqatlarda HOLCİM sement zavodunda AZS EN 197-1 standartının tələblərinə uyğun istehsal olunan, CEM I 42,5 sinifli portlandsmentdən istifadə olunmuşdur. Narın şüşə tozu şüşə tullantılarını xırdaladıqdan sonra laboratoriya şəraitində kürəli dəyirməyə üyüdülməklə alınmışdır. Hissəciklərinin ölçüsü 70 mkm və 60 mkm olan iki nümunə hazırlanmışdır. Birinci nümunə 008 sayılı ələkdən, 2-ci nümunə isə 0063 sayılı ələkdən keçirildikdən sonra istifadə edilmişdir.

Tədqiqatlarda cədvəl 1-də göstərilmiş kimyəvi tərkibə malik şüşə tozundan istifadə olunub. Onun sıxlığı $2,5 \text{ q/sm}^3$ təşkil edib, tərkibində SiO_2 , CaO və Na_2O daha çox, Al_2O_3 isə daha az miqdarda olur. Sınaq nümunələrinin hazırlanması üçün standart qum və içməli su istifadə olunur.

Cədvəl 1. Şüşə tozunun kimyəvi tərkibi

Komponentlər	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O
Şüşə tozu	67,21	2,83	0,40	6,28	3,41	0,32	7,56

Əvvəla sementin narın şüşə tozu ilə əvəz edilməsinin nəticələrinə baxılır. Bu zaman müxtəlif miqdarlarda (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) şüşə tozu ilə modifikasiya edilmiş nümunələrin nəzarət sement nümunələri ilə müqayisəli analizi aparılır. Bu zaman sement xəmirinin və bərkimiş sement nümunələrinin uyğun olaraq normal qatılığı, tutma müddətinin başlanğıcı və sonu, möhkəmlik həddi təyin olunur.

Nümunələrin hazırlandığı otağın, quru materialların və suyun temperaturu $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ olmalıdır. Laboratoriyada nisbi nəmlik $65 \pm 5\%$ təşkil etməlidir.

Məhlul qarışığının hazırlanması üçün uyğun komponentlər sement:standart qum 1:3 nisbətində götürülür. Cədvəl 2-də sementin müxtəlif miqdarlarının (5%, 10%, 15%, 20%) şüşə tozu ilə əvəzləndiyi modifikasiya olunmuş qarışıqların tərkibləri verilmişdir. Qarışıqların rahat yerləşməsinə öyrənmək üçün ASTM C305-ə uyğun sınaqlar aparılmışdır.

Cədvəl 2. Modifikasiya olunmuş məhlul qarışıqlarının tərkibləri

Materiallar	0	5% ŞT	10% ŞT	15% ŞT	20% ŞT
Sement, qr	600	570	540	510	480
Qum,qr	1800	1800	1800	1800	1800
ŞT, qr	0	30	60	90	120
Su, qr	238	238	238	238	238

Sıxılmada möhkəmliyi təyin etmək üçün uyğun olaraq 70,6 x 70,6 x 70,6 mm ölçülü kub nümunələri hazırlanır. Quruma zamanı yığılmanın təyini üçün ölçüləri 25 x 25 mm və daxili uzunluğu 282 mm olan tircik nümunələri qəliblənir. Əyilmədə möhkəmlik həddinin təyini üçün ölçüləri 40 x 40 x 160 mm tircik nümunələrindən istifadə olunur. Bu məqsədlə üç nümunə qəliblənir, nümunələr nəmliyi 98%, temperaturu $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan şəkfdə saxlanılır. 24 $\pm$ 2 saat sonra nümunələr qəlibdən çıxarılır və dərhal temperaturu $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan suyun içərisinə salınaraq 7, 28 və 90 gün müddətində saxlanılır.

Sıxılmada və əyilmədə möhkəmliyin təyini standartın tələblərinə uyğun olaraq aparılır. Məhlul nümunələrinin möhkəmliyi 7, 28 və 90 gündən sonra təyin olunur.

ŞT pussolan aktivliyinin təyini standarta uyğun olaraq sement və standart qumdan hazırlanmış məhlulda aparılır. Pussolan-sement məhlulunun pussolan aktivliyi aktivlik indeksi Aİ kimi göstərilir.

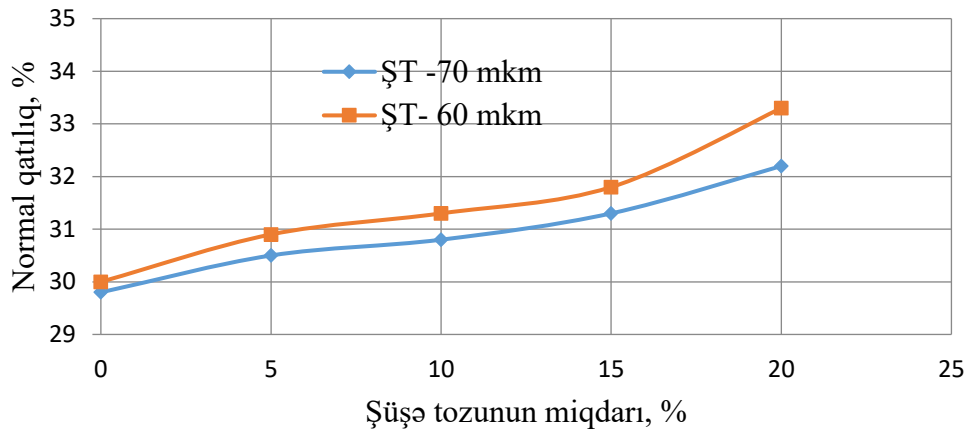
Aİ-nin faizlə təyin olunmuş qiyməti uyğun olaraq narın üyüdülmüş ŞT pussolan aktivliyinin müəyyən edilməsi üçün istifadə olunur. Aİ tapılması üçün formul:

$$\% = (A/B) \times 100,$$

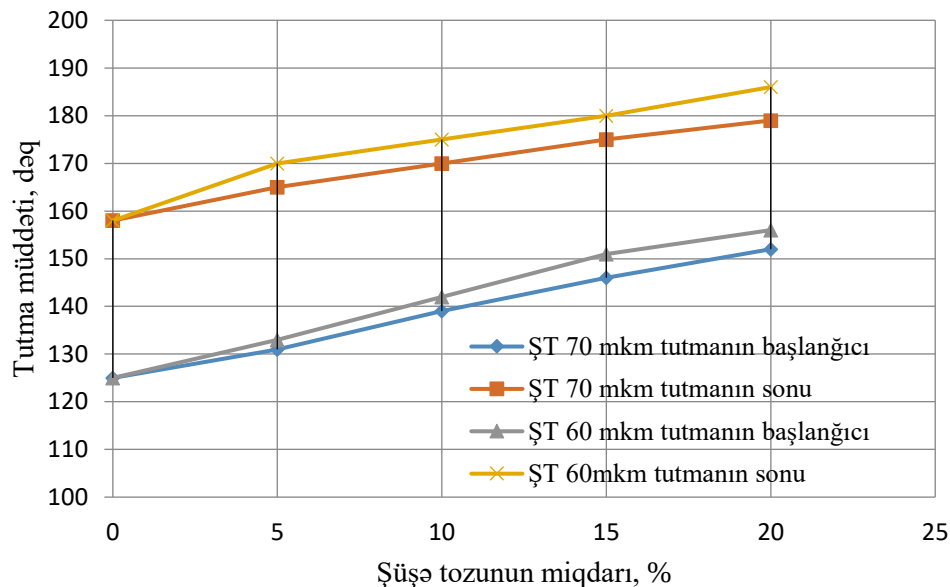
burada A– sementin şüşə tozu ilə əvəz olunduğu kub nümunələrinin 7, 28 və 90 gün bərkimədən sonra sıxılmada möhkəmliyi (MPa), B – eyni müddətlərdə bərkimiş nəzarət nümunələrinin sıxılmada möhkəmliyidir (MPa).

Müzakirələr. Sementin qismən şüşə tozu ilə əvəz olunduğu məhlulların xassələrinə şüşə tozunun təsirinin sınağı aparılmışdır. Normal qatılıq, tutma müddətinin başlanğıcı və sonu şəkil 1-2-də verilir. Gözlənilirdiyi kimi, ŞT miqdarının 0%-dən (nəzarət nümunəsi) 5% artımla 20%-ə qədər artırılması zamanı 70 mikronluq ŞT ilə müqayisədə 60 mikronluq ŞT qarışığının suya tələbatı artır. Cədvəl 1-də göstərilirdiyi kimi bu ŞT qatılığı ilə müqayisədə hissəciklərin ölçülərinin nisbətini göstərir. 70 mikronluq və 60 mikronluq ŞT ilə hazırlanmış qarışıqlar üçün tutmanın başlanğıc və son vaxtları da bu baxımdan şəkil 2-də olduğu kimi eyni tendensiyanı göstərir. Bu da nəzarət nümunələri ilə müqayisədə sementin miqdarının azalması ilə izah oluna bilər. Bu halda şüşə tozu narın doldurucu

rolunu oynayır. ŞT ilə alınmış qarışıqların nəticələrinin İS 4031-ə uyğun olaraq məqbul hədlər daxilindədir.



Şəkil 1. Şüşə tozunun sementin normal qatılığına təsiri

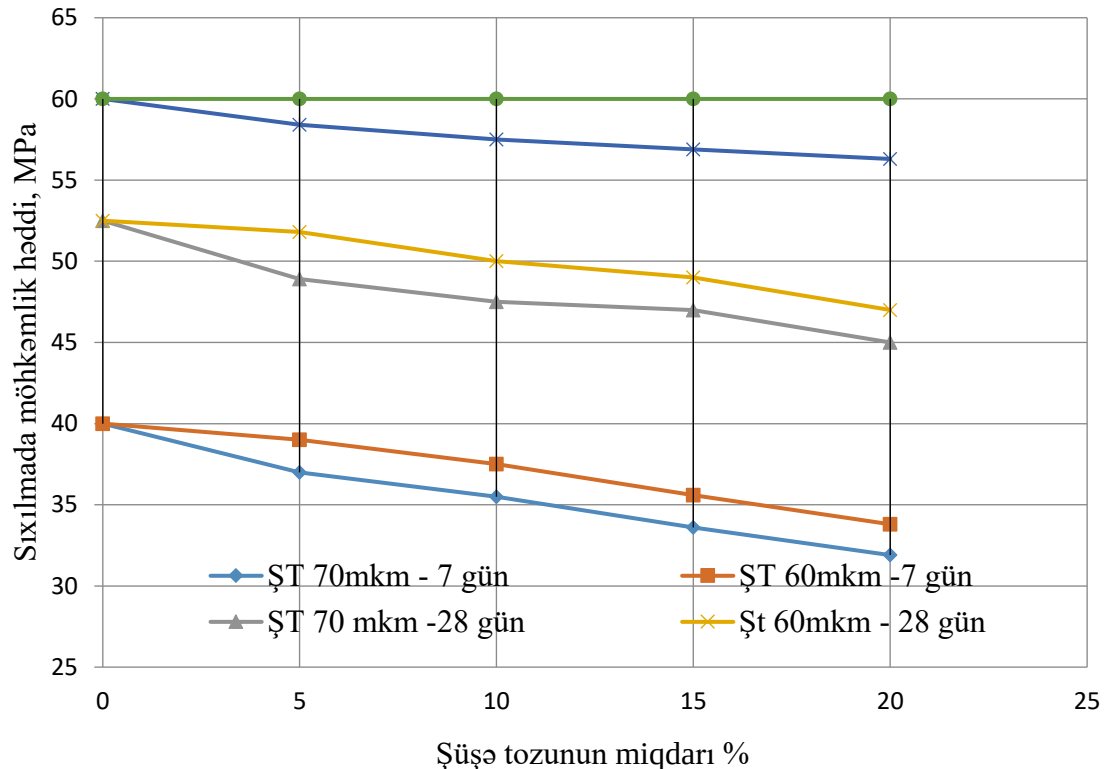


Şəkil 2. Şüşə tozunun sementin tutma müddətinə təsiri

Le-Şatellye cihazında aparılmış həcm muntəzəm dəyişməsi sınağının nəticələri göstərdi ki, modifikasiya olunmuş qarışıqların həcm muntəzəm dəyişməsi norma daxilindədir. Bu şüşə tozunda CaO və MgO miqdarının məqbul həddə olduğunu və qarışıqda zərərli təsirin olmadığını göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, ŞT miqdarının artması ilə qarışıqların axıcılığı və yayılması artır. Hər bir qarışıq üçün nəzarət məhlulunun yayılma diametri 215-220 mm olur. ŞT qarışıqlarının yayılma diametri uyğun olaraq 220-230 mm və 235-240 mm olur. Beləliklə, yuxarıda verilmiş sınaq nəticələrindən görünür ki, ŞT miqdarının artması ilə yayılma diametri artır. Nəzarət məhlulları ilə müqayisə göstərdi ki, yayılma diametrindəki artım ŞT daha narın hissəcikləri və yüksək xüsusi səth sahəsi ilə əlaqədardır.

ŞT qatılmış nümunələrin sıxılda möhkəmlik həddinin analizi şəkil 3-də verilmişdir. ŞT hissəciklərinin ölçüsü azaldıqca sıxılda möhkəmlik həddinin artması müşahidə olunur. Nəzarət nümunələri ilə müqayisədə hər iki qarışığın sıxılda möhkəmlik həddi müəyyən qədər aşağı olur, lakin məhlulun minimal möhkəmlik həddini keçmir. 7 və 28 günlük sıxılda möhkəmlik nəticələrindən görünür ki, nəzarət nümunələri ilə müqayisədə hissəciklərinin ölçüsü 70 və 60 mkm

olan 5% ŞT əlavə edilmiş məhlulların möhkəmliyinin azalması uyğun olaraq 7 günlük nümunələrdə 7,5% və 2,5%, 28 günlükdə isə 6,9 və 1,9% təşkil edir.



Şəkil 3. Şüşə tozunun müxtəlif vaxtlarda sıxılmada möhkəmlik həddinə təsiri

Bununla belə, sementin 20 % ŞT ilə əvəz olunduğu nümunələrdə möhkəmliyin azalması artaraq hissəciklərinin ölçüsü 70 və 60 mkm olan şüşə tozu əsasında hazırlanmış məhlullarda uyğun olaraq 7 günlük nümunələrdə 20,3% və 15,5% , 28 günlükdə isə 14,3% və 10,5% təşkil edir. Bərkimə müddətinin artması (7-dən 90 günə qədər) baxımından nəticələrin müqayisəsi zamanı şüşə tozu ilə modifikasiya edilmiş məhlullar yaxşı nəticələr göstərir. 20 % ŞT istifadə olunduğu halda 90 gündən sonra sıxılmada möhkəmliyin artım sürəti hissəciklərinin ölçüsü 70 mkm olan şüşə tozu əsasında olan nümunələr nəzarət qarışığından cəmi 6,2% aşağıdır, hissəciklərinin ölçüsü 60 mkm olan şüşə tozu əsasında olan nümunələr isə nəzarət qarışığına mümkün qədər yaxın olur. Bu pussolan reaksiyasının daha gec mərhələdə baş verə biləcəyini ifadə edir, başqa sözlə, zaman keçdikcə onun faktiki pussolan xüsusiyyəti məhlulun sıx mikroquruluşunda görünür.

Şüşə tozu qatılmış qarışıq məhlulların pussolan aktivliyinin tədqiqi üçün möhkəmliyin aktivlik indeksi və əhəngin reaktivliyi ilə bağlı sınaqlar aparılmışdır. Bu baxımdan qarışıq məhlul nümunələrinin müvafiq olaraq 7, 28 və 90 gün olaraq təyin olunan ilkin, orta və uzun müddətli möhkəmliyi qiymətləndirilir. Hər iki şüşə tozundan istifadə etməklə qarışıq məhlullardan hazırlanmış nümunələr 7, 28 və 90 gün saxlanıldıqdan sonra möhkəmliyin aktivlik indeksi (Aİ) təyin edilmişdir.

Hissəciklərinin ölçüsü 70 mkm olan ŞT tətbiqi ilə hazırlanmış qarışıq üçün Aİ-nin müşahidə olunan qiymətləri 7, 28 və 90 gündən sonra 77-98%-ə yaxın olur ki, bu da pussolanlı komponentlər üçün ASTM C618x-də nəzərdə tutulmuş həddi, yəni 75%-i keçir. Bundan əlavə, hissəciklərinin ölçüsü 60 mkm olan ŞT tətbiqi ilə hazırlanmış qarışıqdan nümunələr üçün Aİ-nin qiyməti 7, 28 və 90 gündən sonra 85-100%-ə yaxın olur. Nəticələrdən göründüyü kimi 60 mikronluq ŞT ilə 70 mikronluq ŞT müqayisə etdikdə Aİ-nin qiyməti 60 mikronluqda daha yüksək olur.

Beləliklə, tədqiqat nəticələri göstərdi ki, 60 mikronluq ŞT pussolan aktivliyi daha yüksəkdir. Eyni zamanda o məhlulun mexaniki xassələrini də yaxşılaşdırır. Aİ-nin nəticələri göstərir ki, daha narın ŞT 20%-ə qədər qatıldıqda hələ də reaktiv olur, narınlığı nisbətən az olan ŞT bu miqdar 10%-lə

məhdudlaşır. 90 gündən sonra hissəciklərinin ölçüsü 60 mkm olan ŞT tətbiqi ilə hazırlanmış qarışığın möhkəmliyi nəzarət nümunələrindən yüksək, yaxud ona yaxın olur.

Nəticə

1. Şüşə tozunun sementə əvəzedici kimi daxil edilməsi son məhsulun müxtəlif xassələrinin yaxşılaşdırılması baxımından faydalıdır. Sementə şüşə tozunun daxil edilməsi başlanğıcda hidratlaşmış sement matrisasının boşluqlarının doldurulmasında səmərəli rol oynayır. Ona görə də daha sıx mikrostrukturun yaranması sement-şüşə tozu qarışıq sistemində müşahidə olunur.
2. Qarışıq şüşə tozunun ilkin xassələrinə gəldikdə isə qatılığın artması, ŞT qiyməti baxımından dominant rol oynayan disperslik effekti istisna olmaqla heç bir zərərli təsir müşahidə olunmur. Bununla yanaşı, şüşə tozunun tərkibi də pussolan aktivliyinin və möhkəmlik səviyyəsinin formalaşmasında həlledici rol oynayır.
3. Su/sement məhlulunun verilmiş nisbəti üçün bərkimə xassələrinə şüşə tozunun təsiri narahatlıq yaradır; sınaq nəticələri göstərir ki, ölçüləri 60 mkm olan şüşə tozu üçün 20% əvəzetmə mümkündür, 70 mkm ölçülü tozda isə bu miqdar 10-15%-lə məhdudlaşır.

İstinadlar

1. Pappu, A., Saxena, M., & Asolekar, S. R. (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, 42(6), 2311–2320. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306001168>
2. Yoshizawa, S. A. S., & Tanaka, M. (2004). Global trends in waste generation. In I. Gaballah, B. Mishar, R. Solozabal, & M. Tanaka (Eds.), *Recycling, Waste Treatment and Clean Technology* (pp. 1541–1552). TMS Minerals, Metals & Materials Publishing. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=2069723>
3. Quvalov, A. A., Abbasova, S. İ., & Ağazadə, M. F. (2018). Məişət tullantıları və onların utilizasiyası. In Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin yaranmasının 100 illiyinə həsr olunmuş professor-müəllim heyətinin, doktorantların və gənc tədqiqatçıların Beynəlxalq elmi konfransının materialları (pp. 62–63).
4. Ларионов, Г. (2009). Утилизация ТБО – одна из приоритетных экономических задач современности. РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция, (4), 207–208. <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-sovershenstvovaniya-sistemy-upravleniya-obrascheniem-tverdyh-bytovyh-othodov>
5. Шубов, Л. Я., Ставровский, М. Е., & Олейник, А. В. (2021). Технология твёрдых бытовых отходов (Л. Я. Шубов, Ed.). Москва: Альфа-М: ИН-ФА-М. <https://znanium.ru/catalog/document?id=398930>
6. Quvalov, A. A. (2019). İnşaat materiallarının alınmasında istifadə olunan məişət tullantılarının tərkibinin tədqiqi [Elmi-tədqiqat işinin hesabatı]. Materialşünaslıq kafedrası, AzMİU.
7. Hammitt, J. K., & Reuter, P. (1989). Illegal hazardous-waste disposal and enforcement in the United States: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 22, 101–119. <https://www.ojp.gov/pdffiles1/Digitization/147542NCJRS.pdf>
8. Клинков, А. С., Беляев, П. С., Скуратов, В. К., Соколов, М. В., Ефремов, О. В., & Однолько, В. Г. (2010). Рециклинг и утилизация тары и упаковки: учебное пособие. Тамбов: Издательство ТГТУ.
9. Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., & Aboshama, A. Y. (2016). Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*, 124, 866–877.
10. Chen, C. H., Huang, R., Wu, J. K., & Yang, C. C. (2006). Waste E-glass particles used in cementitious mixtures. *Cement and Concrete Research*, 36(3), 449–456. https://www.researchgate.net/publication/223589585_Waste_E-glass_particles_used_in_cementitious_mixtures
11. Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., & Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Research*, 30(1), 91–100. <https://www.osti.gov/biblio/20026629>

12. Onaizi, A. M., Huseien, G. F., Shukor Lim, N. H. A., Tang, W. C., Alhassan, M., & Samadi, M. (2022). Effective microorganisms and glass nanopowders from waste bottle inclusion on early strength and microstructure properties of high-volume fly-ash-based concrete. *Biomimetics*, 7(190), 2–27. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7040190>

References

1. Pappu, A., Saxena, M., & Asolekar, S. R. (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, 42(6), 2311–2320. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306001168>
2. Yoshizawa, S. A. S., & Tanaka, M. (2004). Global trends in waste generation. In I. Gaballah, B. Mishar, R. Solozabal, & M. Tanaka (Eds.), *Recycling, Waste Treatment and Clean Technology* (pp. 1541–1552). TMS Minerals, Metals & Materials Publishing. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=2069723>
3. Quvalov, A. A., Abbasova, S. I., & Agazade, M. F. (2018). Household waste and its utilization. In *Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Establishment of the Azerbaijan Democratic Republic* (pp. 62–63).
4. Larionov, G. (2009). Municipal solid waste disposal – one of the priority economic tasks of modern times. *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*, (4), 207–208. <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-sovershenstvovaniya-sistemy-upravleniya-obrascheniem-tverdyh-bytovyh-othodov>
5. Shubov, L. Ya., Stavrovsky, M. E., & Oleynik, A. V. (2021). *Municipal Solid Waste Technology* (L. Ya. Shubov, Ed.). Moscow: Alpha-M: IN-FA-M. <https://znanium.ru/catalog/document?id=398930>
6. Quvalov, A. A. (2019). Study of the composition of household waste used in the production of building materials [Scientific research report]. Department of Materials Science, AzMIU.
7. Hammitt, J. K., & Reuter, P. (1989). Illegal hazardous-waste disposal and enforcement in the United States: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 22, 101–119. <https://www.ojp.gov/pdffiles1/Digitization/147542NCJRS.pdf>
8. Klinkov, A. S., Belyaev, P. S., Skuratov, V. K., Sokolov, M. V., Yefremov, O. V., & Odnolko, V. G. (2010). *Recycling and disposal of packaging and containers: Textbook*. Tambov: TSTU Publishing House.
9. Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., & Aboshama, A. Y. (2016). Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*, 124, 866–877.
10. Chen, C. H., Huang, R., Wu, J. K., & Yang, C. C. (2006). Waste E-glass particles used in cementitious mixtures. *Cement and Concrete Research*, 36(3), 449–456. https://www.researchgate.net/publication/223589585_Waste_E-glass_particles_used_in_cementitious_mixtures
11. Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., & Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Research*, 30(1), 91–100. <https://www.osti.gov/biblio/20026629>
12. Onaizi, A. M., Huseien, G. F., Shukor Lim, N. H. A., Tang, W. C., Alhassan, M., & Samadi, M. (2022). Effective microorganisms and glass nanopowders from waste bottle inclusion on early strength and microstructure properties of high-volume fly-ash-based concrete. *Biomimetics*, 7(190), 2–27. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7040190>

Məqaləyə istinad: Quvalov, A. A., & Abbasova, S. İ. (2025). Şüşə tullantılarının sement sistemlərində narın dispers doldurucu kimi tətbiqi. Elmi Əsərlər/Scientific works, AzMIU, 1, 99–105

For citation: Guvalov, A. A., & Abbasova, S. I. (2025). Study of glass waste as a fine disperse filler in cement systems. Scientific Works/Elmi eserler, AzUAC, 1, 99–105

Redaksiyaya daxil olma/Received 20.09.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 20.11.2024