

TƏTBİQİ Rİ YAZIYYAT VƏ MEXANİKA

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА



APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS

<http://doi.org/10.58225/sw.2024.2-116-124>**YAŞIL İNŞAAT MATERİALLARIN OPTİMAL TƏRKİBİNİ MÜƏYYƏN EDİLMƏSİNDƏ AKTİV EKSPERİMENTİN PLANLAŞDIRILMA ÜSULLARININ TƏTBİQİ**

Abasova Nigar Kamil qızı- baş müəllim, İnformasiya texnologiyaları və sistemləri kafedrası, AzMİU, nigarabas@yahoo.com

Məmmədli Məryəm İqbal qızı- müəllim, İnformasiya texnologiyaları və sistemləri kafedrası, AzMİU, maryammammadli@gmail.com

Sultanova Könül İsmayıl qızı- müəllim, İnformasiya texnologiyaları və sistemləri kafedrası, AzMİU, sultanovakonul80@gmail.com

Xülasə. Məqalədə 3 ölçülü Boks-Benken planı əsasında keramika məmulatlarının istehsalında şıxtanın optimal tərkibini təyin etmək üçün eksperimentin statistik planlaşdırılması metodu təsvir edilmişdir. Aktiv təcrübənin aparılması planı təklif edilmiş, riyazi modellərin əmsalları hesablanmış, alınmış modellərin adekvatlığı və reqressiya tənliklərinin əmsallarının əhəmiyyətliyi yoxlanılmışdır. Keramika məmulatları parklarda və istirahət mərkəzlərində istifadə olunan ən keyfiyyətli tikinti materiallarından biridir. Həmçinin yaşayış binalarında istilik istehlakına qənaətin aktual probleminin həlli yollarından biri yüksək istilik izolyasiya xüsusiyyətlərinə malik üzlük keramika məmulatlarının istifadəsidir. Müasir dövrdə bütün fundamental tədqiqatlarda olduğu kimi çoxkomponentli keramika materiallarının öyrənilməsində də sistemli yanaşma səciyyəvidir. Belə sistemli yanaşma öyrənilən materialların və obyektlərin həm ayrılıqda, həm də bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə öyrənilməsinə imkan verir. Keramika məmulatlarının belə sistemli tədqiqatının aparılması onun istehsalının daha səmərəli təşkili üçün mühüm məsələlərdən biri kimi hesab olunur.

Açar sözlər: aktiv təcrübə, riyazi model, adekvatlıq, əmsallar, reqressiya tənliyi

APPLICATION OF ACTIVE EXPERIMENT PLANNING METHODS IN DETERMINING OPTIMAL COMPOSITION OF GREEN CONSTRUCTION MATERIALS

Abasova Nigar Kamil- head teacher, department of Information technologies and systems, AzUAC, nigarabas@yahoo.com

Mammadli Maryam Iqbal- teacher, department of Information technologies and systems, AzUAC, maryammammadli@gmail.com

Sultanova Konul Ismail- teacher, department of Information technologies and systems, AzUAC, sultanovakonul80@gmail.com

Abstract. The article describes the method of statistical planning of the experiment to determine the optimal composition of the mixture in the production of ceramic products based on the 3-dimensional Box-Behnken plan. A plan for conducting an active experiment was proposed, the coefficients of mathematical models were calculated, the adequacy of the obtained models and the significance of the coefficients of the regression equations were checked. Ceramic products are one of the best quality building materials used in parks and recreation centers. Also, one of the solutions to the actual problem of saving heat consumption in residential buildings is the use of facing ceramic products with high thermal insulation properties. A systematic approach is typical in the study of multicomponent ceramic materials, as in all fundamental researches in modern times. Such a systematic approach allows studying the studied materials and objects both separately and in

interaction with each other. Conducting such a systematic study of ceramic products is an important issue for more efficient organization of its production.

Keywords: active experiment, mathematical model, adequacy, coefficients, regression equation

Giriş. Son illərdə tikinti materiallarına qoyulan tələblər xeyli artmışdır. Hal-hazırda inkişaf edən istiqamətlərdən biri də “yaşıl” tikinti materiallarının təkmilləşdirilməsi məsələsi qəbul edilir. “Yaşıl” inşaat materialları dedikdə, ekoloji tələblərə cavab verən və insan sağlamlığı üçün faydalı xüsusiyyətlərə malik materialların hazırlanması nəzərdə tutulur. Bu xüsusiyyətlər aşağıdakılardır:

- texniki baxışa aid olan xərclərinin minimuma endirilməsi;
- enerji xərclərini minimuma endirilməsi;
- insan sağlamlığına zərərini minimuma endirilməsi;
- yaşayış massivlərinin planında dəyişikliklər hesabına xərclərin minimuma endirilməsi.

Yuxarıda qeyd olunanlarla əlaqədar olaraq, sonrakı illərdə bu növ məhsulların istehsalının artırılması nəzərdə tutulur. Tələbatların artması maya dəyərinin azaldılması, enerji qiymətlərinin yüksəlməsi və ekoloji qanunvericiliyin sərtləşdirilməsi və s. faktorları ilə əlaqəlidir. “Yaşıl” tikinti materialları arasında tələbat əsasən “yaşıl” örtüklərə, “yaşıl” sementə və “yaşıl” dam örtüyü materiallarına müşahidə olunur.

Məlumdur ki, Azərbaycanda son illər tikinti infrastrukturunu sürətlə inkişaf edir, irimiyaşlı layihələr həyata keçirilir. Qeyd etmək lazımdır ki, tikinti işlərinin böyük hissəsi (80%-ə qədər) yeni tikililərin və yenidənqurma işlərinin payına düşür. Bu baxımdan tikinti materiallarının istehsal həcmi artmışdır. Tikinti materiallarının, xüsusən də keramika materiallarının keyfiyyətinə olan tələblər də xeyli artmışdır [6].

Bir sıra keramika materiallarının texnologiyası son illərdə əhəmiyyətli dəyişikliklərə məruz qalmışdır. Keramika məmulatlarının istehsalı həm çeşid, həm də növ baxımından daim yenilənir. Tikinti materialların xassələrinə qoyulan tələblər hər zaman artır, məsələn, möhkəmliyə, şaxtaya davamlılığa və digər göstəricilərə. Bunun nəticəsi kimi, xammalın emalının keyfiyyətinin yüksəldilməsi, istehsalatın ən müasir texnologiyaların cəlb edilməsi ilə xammal bazasının genişləndirilməsi zərurəti ortaya çıxır. Ən son texnologiyaların, eləcə də müasir hesablama üsullarının tətbiqi yüksək keyfiyyətli keramika məmulatları istehsal etməyə və bununla da bina və tikililərin istismar müddətini artırmağa, onların bazarda rəqabət qabiliyyətini artırmağa, həmçinin istehsalın yüksək rentabelliyini təmin etməyə imkan verir. Keramika məmulatlarının optimal tərkibini müəyyən etmək üçün Boks-Benken metodu kimi hesablama metodlarından istifadəsi xüsusi maraq doğurur.

Tədqiqat metodları. İdrakın həm nəzəri, həm də empirik səviyyələrində aparılan həm fundamental, həm də tətbiqi tədqiqatlarda müasir elm öyrənilən fenomenə sistemli yanaşma ilə xarakterizə olunur. Sistem məhdud, cisimlərin və cisimlərin vəhdətinin ziddiyyətli qarşılıqlı təsiri ilə bir-birinə bağlı olaraq müəyyən edilir. "Sistem" anlayışının tərfi mürəkkəb obyektlərin öyrənilməsi və layihələndirilməsi üçün müəyyən bir sistem nəzəriyyəsi çərçivəsində xüsusi tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş bu konsepsiyanın hədəf istiqamətini ortaya qoyur. Sistem sistem obyektlərini, onların xassələrini və aralarındakı əlaqələri təyin etməklə müəyyən edilir. Bu tərifin bəzi prinsiplərini mürəkkəb texniki sistem kimi keramika materiallarının istehsalı texnologiyası nümunəsindən istifadə etməklə izah etmək olar [1].

Belə bir sistemin funksiyası yalnız komponentlərin ən yaxşı xassələrinin həyata keçirildiyi deyil, həm də bu komponentlərin qarşılıqlı əlaqələri nəticəsində yeni xüsusiyyətlərin yarandığı bir sıra xüsusiyyətlərə malik süni materialın istehsalıdır. Burada fəaliyyətin məqsədi materialın optimal keyfiyyətinə nail olmaq və onu maksimum sabitlik səviyyəsində saxlamaq, τ zamanında sistemin fəaliyyətinə bir sıra məhdudiyətlər qoyulmaqla müəyyən edilə bilər. Beləliklə, materialların optimal keyfiyyət xüsusiyyətlərini əldə etmək üçün müəyyən inqrediyentlərin kompozisiyaya daxil edilməsini məhdudlaşdırmaq lazımdır, halbuki yığılmış aprior məlumatlar bu maddələrin müəyyən keyfiyyət göstəricilərinin artmasına təsirini göstərir. Bu vəziyyətdə, fərdi maddələrin qarşılıqlı əlaqəsi nəzərə alınmır, bu da çox vaxt son müsbət nəticənin əldə edilməsinə mənfi təsir göstərə bilər.

Sistemin hərəkəti onun Y_j çıxışların qiymətləri ilə qiymətləndirilir (keyfiyyət göstəricilərinin səviyyələri; məsələn, əyilmədə möhkəmliyi, su udma qabiliyyəti, verilmiş tərkibdə şixtadan əldə olunan keramika materialının sıxlığı), hansılar ki, Y_j j_{max} j_{min} sərhədləri daxilində sistemin hərəkət sahəsini təşkil edir.

Mühitin hərəkət sahəsində məqsədyönlü dəyişiklik X_i girişlərin səviyyələrinə, və ya X_i i_{max} i_{min} sərhədlərində faktor sahəsini təşkil edən faktorlara nəzarət etməklə həyata keçirilir. Həmin sərhədlər faktorların mövcud olma imkanları ilə, yaxud normativlərlə təyin edilir. X_i girişlərinin səviyyələri və ya verilmiş konkret halda faktorlar kimi qarışıqın inqrediyentlərinin konsentrasiyalarıdır ki, onlar keramika məhsulu istehsal etmək üçün şixtaya daxil edilmiş komponentlərin kütlə hissələri ilə ifadə edilə bilər [2].

Y_j sisteminin hər bir çıxışı X_i girişlərinin səviyyələri ilə sistemin vəziyyət tənliyi adlanan obyektiv mövcud olan əlaqə ilə xarakterizə olunur:

$$\phi\{Y_j, X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \tau, \xi\} = 0, \quad (1)$$

harada ki, texnoloji və digər real sistemlərdə nə ϕ funksiyanın növləri, nə də sərhəd şərtləri məlum deyil.

Stoxastik sistemləri tədqiq edərkən onların hərəkətlərini müəyyən etmək üçün müxtəlif yanaşmalardan istifadə etmək olar. Modellər qrupundan biri də sistemin təsviri və optimallaşdırılması ilə bağlı olan təcrübə məsələlərin həlli üçün istifadə olunan lokal-integral çoxhədli modelidir. Məsələn, K faktorlarının (müstəqil dəyişənlərin) ikinci dərəcəli çoxhədli (daha yüksək tərtib nadir hallarda istifadə olunur) belə yazılır:

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_{ii}^2 \pm \sum b_{ij} x_i x_j. \quad (2)$$

(2) reqressiya tənliyinin b_0 , b_i , b_{ii} , b_{ij} əmsallarını Teylor sıranın əmsalları kimi təqdim etmək olar, yəni bizə məlum olmayan differensial tənliklərin həllini təyin edən bir funksiyanın bölünməsinə həyata keçirildiyi nöqtədə qismən törəmələrin qiymətləri kimi. Əmsalları ən kiçik kvadratlar üsulundan istifadə edərək eksperimental verilənlərdən müəyyən etmək olar. $x_{i,j}$ qiymətləri asılı olmayan dəyişənlərdir və prosesin faktorları adlanır [3].

Bu məqalədə $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planına əsaslanan eksperimentin statistik planlaşdırma metodu nəzərdən keçirilmişdir. Optimallaşdırma sistemi kimi keramiki məsaməli materiallar tədqiq edilir. Bu məmulatlar tikinti və odadavamlı materiallar şəklində geniş istifadə olunur [5].

Beləliklə, üç komponentin üç səviyyədə dəyişməsi zamanı riyazi-statistik emalına imkan verən $K=3$ ölçülü D-optimal Boks-Benken planının həyata keçirilməsi qəbul edilmişdir. D-optimal planlar parametrlərin qiymətlərinin ellipsoidinin minimal həcmi təmin edir, planın müəyyən bir sahəsində maksimal dispersiyayı minimumlaşdırmağa, həmçinin rototabellik xüsusiyyətinə və kovariasiya matrisinin ən kiçik determinantına malikdir. Rototabellik xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, planlaşdırma matrisinin nöqtələri çıxış funksiyalarının qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasında eyni dəqiqliyi və tədqiqat istiqamətindən asılı olmadan təmin etmək üçün seçilir.

Boks-Benken planı 3^k tam faktorlu eksperimentdən müəyyən seçimləri təmsil edir, harada ki, K - faktorların sayı, 3 isə hər bir dəyişənin dəyişdiyi səviyyələrin sayıdır (-1, 0, +1). Faktorlar və onların dəyişmə səviyyələri cədvəl 1-də təqdim edilmişdir. Boks-Benken planı reqressiya tənliyində müəyyən edilmiş sabitlərin sayından bir qədər çox olan bir sıra təcrübələri ehtiva edir və ardıcıl olmayan ikinci tərtibli çoxhədlinin istifadəsi üçün tövsiyə olunur. planlaşdırma. Cədvəl 2-də $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planı verilmişdir. Boks-Benken planına uyğun olaraq təcrübələrin ümumi sayı $N_{ümumi} = N + N_0 = 12 + 5 = 17$ -dir. Təcrübənin nəticəsində Boks-Benken planının hesabat matrisi əsasında hesablanan reqressiya əmsalları cədvəl 3-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1. Faktorlar və onların dəyişmə səviyyələri [3]

Faktorlar	Şərti işarə	Ölçü vahidi	Faktorların dəyişmə səviyyələri		
			Aşağı	Sıfır	Yuxarı
			Kodlaşdırılmış işarə		
			-1	0	+1
Gil	X_1	Kütlə hissə	60	75	90
Şüşə qırıntıları	X_2	Kütlə hissə	10	25	40
Dolomit	X_3	Kütlə hissə	1	2	3

Cədvəl 2. $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planı [3]

№	Seçimin nömrəsi	Kodlaşdırılmış dəyişənlər				Dəyişənlərin real qiymətləri		
		x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	6	+	+	0	90	40	2	
2	2	+	-	0	90	10	2	
3	5	-	+	0	60	40	2	
4	1	-	-	0	60	10	2	
5	10	+	0	+	90	25	3	
6	12	+	0	-	90	25	1	
7	11	-	0	+	60	25	3	
1	2	3	4	5	6	7	8	
8	9	-	0	-	60	25	1	
9	8	0	+	+	75	40	3	
10	7	0	+	-	75	40	1	
11	4	0	-	+	75	10	3	
12	3	0	-	-	75	10	1	
13	13	0	0	0	75	25	2	
14	14	0	0	0	75	25	2	
15	15	0	0	0	75	25	2	
16	16	0	0	0	75	25	2	
17	17	0	0	0	75	25	2	

Aşağıdakılar optimallaşdırma parametrləri və ya çıxış funksiyaları kimi qəbul olunub:

Y_1 - açıq məsaməlilik, %;

Y_2 - görünən sıxlıq, q/sm;

Y_3 - tam büzülmə, %;

Y_4 - əyilmədə möhkəmlilik, MPa;

Y_5 - su udma qabiliyyəti, %.

Cədvəl 3. $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planının hesabət cədvəli [3]

№	Sistemin çıxış qiymətləri			Dəyişənlərin kodlaşdırılmış qiymətləri								
	Y_1	Y_2	Y_3	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_{12}	x_{13}	x_{23}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	13,5	17	6,5	+	+	0	+	+	0	+	0	0
2	19,4	5,3	9,4	+	-	0	+	+	0	-	0	0
3	9,8	22,5	4,7	-	+	0	+	+	0	-	0	0
4	19,9	8,2	9,7	-	-	0	+	+	0	+	0	0

5	19,4	9,8	9,5	+	0	+	+	0	+	0	+	0
6	17,4	10,2	8,4	+	0	-	+	0	+	0	-	0
7	19,3	15,5	9,6	-	0	+	+	0	+	0	-	0
8	15,9	16,5	7,7	-	0	-	+	0	+	0	+	0
9	15,4	19,0	7,5	0	+	+	0	+	+	0	0	+
10	14,2	19,2	6,9	0	+	-	0	+	+	0	0	-
11	21,1	6,7	10,4	0	-	+	0	+	+	0	0	-
12	18,9	7,3	9,2	0	-	-	0	+	+	0	0	+
13	17,4	11,8	8,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	18,3	12,2	8,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	18,1	12,7	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	17,6	13,2	8,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	16,1	12,7	7,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Y_1 (açıq məsaməlilik, %) üçün reqressiya tənliyinin hesablanması. Reqressiya tənliyi əmsalları MatLAB hesablama mühitində hesablanmışdır. Cədvəl 4-də $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planının hesablanmış matrisi təqdim edilmişdir [6]:

Cədvəl 4. Y_1 Açıq məsaməlilik üçün $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planının hesabat matrisi [6]

№	Planlar			Hesabat matrisi									
	x_1	x_2	x_3	Y_1	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	+	+	0	13,5	13,5	13,5	0	13,5	13,5	0	13,5	0	0
2	+	-	0	19,4	19,4	-19,4	0	19,4	19,4	0	-19,4	0	0
3	-	+	0	9,8	-9,8	9,8	0	9,8	9,8	0	-9,8	0	0
4	-	-	0	19,9	-19,9	-19,9	0	19,9	19,9	0	19,9	0	0
5	+	0	+	19,4	19,4	0	19,4	19,4	0	19,4	0	19,4	0
6	+	0	-	17,4	17,4	0	-17,4	17,4	0	17,4	0	-17,4	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7	-	0	+	19,3	-19,3	0	19,3	19,3	0	19,3	0	-19,3	0
8	-	0	-	15,9	-15,9	0	-15,9	15,9	0	15,9	0	15,9	0
9	0	+	+	15,4	0	15,4	15,4	0	15,4	15,4	0	0	15,4
10	0	+	-	14,2	0	14,2	-14,2	0	14,2	14,2	0	0	-14,2
11	0	-	+	21,1	0	-21,1	21,1	0	21,1	21,1	0	0	-21,1
12	0	-	-	18,9	0	-18,9	-18,9	0	18,9	18,9	0	0	18,9
13	0	0	0	17,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Hesabat nəticəsində əldə edilən reqressiya tənliyindən istifadə edərək, çıxış funksiyasının qiymətləri hesablanmış, Δu və Δu^2 xətaləri müəyyən edilmişdir (nəticələr cədvəl 5-də göstərilmişdir). Burada, $\Delta u = Y_i - Y_{out}$ çıxış funksiyasının hesablanmış qiymətinin eksperimental qiymətdən yayınmasıdır.

Cədvəl 5. Y_1 reqressiya tənliyi əsasında çıxış funksiyasının hesabatı [7]

Y_1 -in eksperimental qiymətləri	Y_{out} çıxışının hesabat qiymətləri	Δu eksperimental qiymətdən yayınması	Δu^2 kvadratik yayınma
1	2	3	4
19,4	18,5	-0,5	0,25
9,8	10,7	0,9	0,81
19,9	19,4	-0,9	0,81

19,4	19,35	0,05	0,25
17,4	17,85	-0,45	0,0025
19,3	18,85	0,45	0,2025
15,9	15,95	-0,05	0,2025
15,4	14,95	0,45	0,0025
14,2	13,25	0,95	0,9025
21,1	22,05	-0,95	0,9025
18,9	19,35	-0,45	0,2025
17,5	17,5	0	0
		$\sum \Delta u = 0$	$\sum \Delta u^2 = 4.74$

Modelin reqressiya təhlilinin nəticələri cədvəl 6-da verilmişdir.

Cədvəl 6. Modelin reqressiya təhlili [7]

Əmsallar	b_{in}	b_{cr}	b_{fin}
1	2	3	4
b_0	17,5	1,50693	17,5
b_1	0,6	0,53285	0,6
b_2	-3,3	0,53285	-3,3
b_3	1,1	0,53285	1,1
b_{11}	-0,625	0,99668	0
b_{22}	-1,225	0,99668	-1,225
b_{33}	1,125	0,99668	1,125
b_{12}	1,05	0,75347	1,05
b_{13}	-0,35	0,75347	0
b_{23}	-0,25	0,75347	0

Cədvəl 6-dan göründüyü kimi, b_{11} , b_{13} və b_{23} əmsalları üçün $|b_{in}| \leq |b_{cr}|$ və buna görə də reqressiya tənliyi son nəticədə aşağıdakı formanı alır:

$$Y_1 = 17.5 + 0.6x_1 - 3.3x_2 + 1.1x_3 - 1.225x_2^2 + 1.125x_3^2 + 1.05x_1x_2. \tag{3}$$

$$S_{\Delta U}^2 = 0.395; \quad S_{\Delta U} = \pm 0.6285; \quad S_{\{Y_0\}} = \pm 0.863134.$$

Beləliklə, $S_{\{Y_0\}} > S_{\Delta U}$ şərtinə əsasən modelin adekvatlığı öz təsdiqini tapmışdır.

Y_2 (əyilmədə möhkəmlik, MPa) üçün reqressiya tənliyini hesablanması. Reqressiya tənliyi əmsalları MatLAB hesablama mühitində hesablanmışdır. Cədvəl 7-də $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planının hesablanmış matrisi təqdim edilmişdir [6]:

Cədvəl 7. Y_2 əyilmədə möhkəmlik üçün $K = 3$ ölçülü Boks-Benken planının hesabat matrisi [7]

№	Planlar			Hesabat matrisi									
	x_1	x_2	x_3	Y_2	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	+	+	0	17	17	17	0	17	17	0	17	0	0
2	+	-	0	5,3	5,3	-5,3	0	5,3	5,3	0	-5,3	0	0
3	-	+	0	22,5	-22,5	22,5	0	22,5	22,5	0	-22,5	0	0
4	-	-	0	8,2	-8,2	-8,2	0	8,2	8,2	0	8,2	0	0
5	+	0	+	9,8	9,8	0	9,8	9,8	0	9,8	0	9,8	0
6	+	0	-	10,2	10,2	0	-10,2	10,2	0	10,2	0	-10,2	0
7	-	0	+	15,5	-15,5	0	15,5	15,5	0	15,5	0	-15,5	0

8	-	0	-	16,5	-16,5	0	-16,5	16,5	0	16,5	0	16,5	0
9	0	+	+	19	0	19	19	0	19	19	0	0	19
10	0	+	-	19,2	0	19,2	-19,2	0	19,2	19,2	0	0	-19,2
11	0	-	+	6,7	0	-6,7	6,7	0	6,7	6,7	0	0	-6,7
12	0	-	-	7,3	0	-7,3	-7,3	0	7,3	7,3	0	0	7,3
13	0	0	0	12,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Beləliklə, ilkin olaraq, reqressiya tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$Y_2 = 12.52 - 2.55x_1 + 6.275x_2 - 0.275x_3 + 0.34x_1^2 + 0.39x_2^2 + 0.14x_3^2 - 0.65x_1x_2 + 0.15x_1x_3 + 0.1x_2x_3. \quad (4)$$

Hesabat nəticəsində əldə edilən reqressiya tənliyindən istifadə edərək, çıxış funksiyasının qiymətləri hesablanmışdır, Δu və Δu^2 səhvləri müəyyən edilmişdir (nəticələr cədvəl 8-də göstərilmişdir).

Cədvəl 8. Y_2 reqressiya tənliyi əsasında çıxış funksiyasının hesabı [7]

Y_2 -in eksperimental qiymətləri	Y_{out} çıxışının hesabat qiymətləri	Δu eksperimental qiymətdən yayınması	Δu^2 kvadratik yayınma
1	2	3	4
17	16,325	0,675	0,45563
5,3	5,075	0,225	0,05063
22,5	22,725	-0,225	0,05062
8,2	8,875	-0,675	0,45562
9,8	10,325	-0,525	0,27562
10,2	10,575	-0,375	0,14062
15,5	15,125	0,375	0,14063
16,5	15,975	0,525	0,27563
19	19,15	-0,15	0,0225
19,2	19,5	-0,3	0,09
6,7	6,4	0,3	0,09
7,3	7,15	0,15	0,0225
12,52	12,52	0	0
		$\sum \Delta u = 0$	$\sum \Delta u^2 = 2.07$

Sonra reqressiya tənliyi əmsallarının dəyərliyi hesablanmış, nəticələri isə cədvəl 9-da verilmişdir.

Cədvəl 9. Reqressiya tənliyi əmsallarının əhəmiyyətliyi qiymətləndirilməsi [7]

Əmsallar	Reqressiya tənliyi əmsallarının xətalrı			
	b_0	b_i	b_{ii}	b_{ij}
T_i	1	0,3536	0,6614	0,5
$S\{b\}$	0,26786	0,09472	0,17716	0,13393
b_{kp}	0,46766	0,16536	0,30931	0,23383

Modelin reqressiya təhlili cədvəl 10-da təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 10. Modelin reqressiya təhlili [7]

Əmsallar	b_{in}	b_{cr}	b_{fin}
b_0	12,52	0,46766	12,52
b_1	-2,55	0,16536	-2,55
b_2	6,275	0,16536	6,275
b_3	-0,275	0,16536	-0,275
b_{11}	0,34	0,30931	0,34
b_{22}	0,39	0,30931	0,39
b_{33}	0,14	0,30931	0
b_{12}	-0,65	0,23383	-0,65
b_{13}	0,15	0,23383	0
b_{23}	0,1	0,23383	0

Cədvəl 10-dan göründüyü kimi, b_{33} , b_{13} və b_{23} əmsalları üçün $|b_{in}| \leq |b_{cr}|$ şərtinə əsasən reqressiya tənliyi son nəticədə aşağıdakı formanı alır:

$$Y_2 = 12.52 - 2.55x_1 + 6.275x_2 - 0.275x_3 + 0.34x_1^2 + 0.39x_2^2 - 0.65x_1x_2. \quad (5)$$

$$S_{\Delta U}^2 = 0.1725; \quad S_{\Delta U} = \pm 0.41533; \quad S_{\{Y_0\}} = \pm 0.535724.$$

Beləliklə, $S_{\{Y_0\}} > S_{\Delta U}$ şərtinə əsasən modelin adekvatlığı öz təsdiqini tapmışdır.

Digər çıxış parametrləri üçün də Boks-Benken hesabat planı aparılmışdır və aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir:

Y_3 - su udma qabiliyyəti üçün:

$$Y_3 = 8.48 - 1.6375x_2 + 0.6x_3 - 0.6025x_2^2 + 0.6225x_3^2 + 0.525x_1x_2. \quad (6)$$

Və nəhayət, $S_{\{Y_0\}} > S_{\Delta U}$ şərtinin yoxlanılması nəticəsində modelin adekvatlığı təsdiqləndi.

Müzakirələr. Keramika məmulatların fiziki, mexaniki və istismar xüsusiyyətləri (məsaməlilik, əyilmədə möhkəmlilik, su udma qabiliyyəti və s.) yaxşılaşdırmaq məqsədilə tərkibin keramika məmulatının xüsusiyyətlərinə təsiri öyrənilmişdir. Məqalədə yük tərkibinin keramika materiallarının fiziki və mexaniki xüsusiyyətlərinə təsiri tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə $K=3$ ölçülü D-optimal Boks-Benken planı adlanan aktiv təcrübədən istifadəsi təklif edilmiş və aparılmışdır. Bunun üçün ilk öncə faktorların sayı, onların dəyişmə səviyyələri müəyyən və təsvir edilmişdir. Üç komponentin üç səviyyədə dəyişməsi zamanı, verilənlərin riyazi-statistik emalına imkan verən plana uyğun hesabat sxemi təqdim edilmişdir. Faktorları və göstəriciləri daha rahat və əyani şəkildə göstərmək üçün bütün hesabatlar məqalədə cədvəllər şəklində təqdim olunur. Təcrübə seçiminin nömrəsi zaman dreyfini aradan qaldırmaq üçün təsadüfi ədədlər cədvəlindən seçilmişdir. Təcrübədən sonra Boks-Benken planının hesabat matrisindən istifadə etməklə reqressiya əmsalları hesablanmışdır. Boks-Benken planına uyğun olaraq modelin adekvatlığı $S_{\{Y_0\}} > S_{\Delta U}$ şərtin yerinə yetirilməsi əsasında yoxlanılmışdır və əldə etdiyimiz modellərin adekvatlığı təsdiq edilmişdir.

Nəticə. Məqalədə təqdim edilən hesabatlar MatLab hesablama mühitində proqram tərtib etməklə həyata keçirilmişdir. Boks-Benken planı ilə aktiv eksperiment aparılmış, materialın keyfiyyətinə təsir göstərən əsas komponentlər (çıxış funksiyaları və həyacanlandırıcı təsirlər) müəyyən edilmişdir. Daha sonra Boks-Benken planı əsasında çıxışların reqressiya tənliklərinin əmsalları hesablanmışdır. Hesabatların növbəti mərhələsində əldə edilən əmsalların əhəmiyyətli olanlar təyin edilmiş, əhəmiyyətli olmayanlar (yəni, prosesə təsir etməyən) əmsallar çıxarılmışdır. Daha sonra alınmış modellərin adekvatlığı yoxlanılmış və adekvat olduğu təsdiq edilmişdir. Boks-Benken aktiv eksperimentlə hesablanan modellərin əsasında verilmiş xüsusiyyətlərə malik olan şixtanın tərkibini optimallaşdırmaq mümkündür. Bu halda reqressiya tənliklərinin təhlili qarışıqdakı inqrediyentlərin ön balanslaşdırılmış tərkibini edəcəkdir. Reqressiya analizi ilə əldə edilən reqressiya tənliklərinin əmsallarının qiymətlərinə əsaslanaraq yüksək keyfiyyətli keramika məhsulunun istehsalı üçün optimal tərkibi müəyyən etmək üçün optimallaşdırma problemi həll edilir və inqrediyentlərin tərkibi üçün optimal plan hazırlanır və yüksək keyfiyyətli məmulatların tərkibi təklif edilə bilər.

İstinadlar

1. Вознесенский В.А. (2011) Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Финансы и статистика, 263
2. Деденко, Л.Г., Керженцев, В.В., (2017). Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. МГУ, 112
3. Матушкин Н.Н. (2017). Обработка результатов измерений и планирование эксперимента. Курс лекций. Пермь, 46
4. Гришин, В.К. (2015). Статистические методы анализа и планирования экспериментов. МГУ, 128
5. Спиридонов А.А. (1981) Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. Машиностроение, 60
6. <http://senaye.gov.az>
7. Aliev, T., & Musaeva, N. (2022). Technologies for monitoring the technical condition of transport infrastructure objects based on the coefficient of correlation between critical values of noise and useful signals. Transport Problems: Open Access, 17(2), 213–224.

References

1. Voznesensky V.A. (2011) Statistical methods for experimental design in feasibility studies. Finance and Statistics, p.263
2. Dedenko, L.G., Kerzhentsev, V.V., (2017). Mathematical processing and presentation of experimental results. Moscow State University, p.112
3. Matushkin N.N. (2017). Processing of measurement results and planning of experiments. Lecture course. Perm, p.46
4. Grishin, V.K. (2015). Statistical methods for analysis and design of experiments. Moscow State University, p.128
5. Spiridonov A.A. (1981) Experimental design in process research. Mechanical engineering, p.60
6. <http://senaye.gov.az>
7. Aliev, T, Musaeva, N. (2022). Technologies for monitoring the technical condition of transport infrastructure objects based on the coefficient of correlation between critical values of noise and useful signals, Transport Problems.Open Access. 17(2), 213 – 224

Məqaləyə istinad: Abasova, N.K., Məmmədli, M.İ., Sultanova, K.İ.(2024) Yaşıl inşaat materiallarının optimal tərkibini müəyyən edilməsində aktiv eksperimentin planlaşdırılma üsullarının tətbiqi. Scientific Works/Elmi Əsərlər, AzMİU, 2, 116-124

For citation: Abasova, N.K., Mammadli, M.I., Sultanova, K.I. (2024). Application of active experiment planning methods in determining optimal composition of green construction materials. Scientific Works/Elmi Əsərlər, AzUAC, 2, 116-124

Redaksiyaya daxil olma/Received 11.1.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 11.3.2022