

## یافتن طرح اختلاط بهینه بتنهای سبکدانه سازه ای با استفاده

### از روش تاگوچی

حسن افشین

استادیار گروه عمران دانشگاه صنعتی سهند

پست الکترونیکی: hafshin@sut.ac.ir

علی اکبر بابالو

استادیار گروه شیمی دانشگاه صنعتی سهند

پست الکترونیکی: a.babaluo@sut.ac.ir

افشین اجاللی

کارشناس ارشد سازه، دانشگاه صنعتی سهند

پست الکترونیکی: a\_edjlali@sut.ac.ir

### چکیده

در تولید مواد کامپوزیت با ترکیبات مختلفی از مواد اولیه و مراحل تولید سروکار داریم و برای پیدا کردن ترکیب بهینه در نظر گرفتن تمام حالات ممکن مشکل و گاهی غیر ممکن می باشد. روش تاگوچی روشی عددی است که با استفاده از آرایه های متعامد خاص به پیشگویی حالت های بهینه مواد کامپوزیت می پردازد. در این مقاله به بررسی کارایی این روش و توانایی آن در یافتن طرح اختلاط بهینه بتن های سبکدانه سازه ای پرداخته شده است. با درست کردن ۵۴ طرح اختلاط متفاوت بتن سبکدانه و مقایسه پیش بینی های تاگوچی و نتایج آزمایشهای واقعی کارایی این روش در یافتن طرح اختلاط بهینه بتن های سبکدانه سازه ای با دقت مناسبی نشان داده شده است.

**کلید واژه‌ها:** روش تاگوچی، آرایه های متعامد، بتن، سبکدانه، طرح اختلاط بهینه

### ۱- مقدمه

سطوح کمی یا کیفی انتخاب شده برای هر کمیت متعدد باشد (یا هر دو مورد فوق همزمان رخ دهد) انجام تمام آزمایشات ممکن اقتصادی نبوده و حتی ممکن است غیر ممکن باشد. روش تاگوچی که پس از جنگ جهانی دوم در ژاپن برای بهبود صنایع مخابراتی به کار گرفته شد با استفاده از آرایه های متعامد خاص این امکان را به تولید کننده می دهد که تعداد اندکی از آزمایشات مذکور را انجام داده و حالت بهینه را با دقت مناسبی حدس بزند. در این مقاله برای اولین بار از روش تاگوچی برای تخمین بیشترین مقاومت و کمترین وزن نمونه های بتن سبکدانه سازه ای استفاده شده است.

در سالهای در فرآیند تولید و عرضه یک محصول به بازار انجام آزمایش کنترل کیفیت یکی از مهمترین مراحل بوده و هر تولیدکننده بنابر خط مشی تولید خود درجه خاصی از کیفیت و به تناسب آن تعداد مشخصی از آزمایشات را در نظر می گیرد. تولید کننده عمدتاً قبل از تولید هر محصول خواستار تولید کالایی با بهترین کیفیت و کمترین قیمت است و به همین دلیل ترکیبات مختلفی از مواد اولیه و مراحل تولید را در نظر میگیرد. بهترین حالت آن است که تولید کننده تمام ترکیبات ممکن را آزمایش کرده و بهترین ترکیب را انتخاب کند؛ ولی وقتی تعداد کمیت های مورد نظر زیاد بوده و یا

شایان ذکر است که هریک از سطوح فوق الذکر پس از انجام آزمایشات مقدماتی بدست آمده و میتوان بسته به شرایط آزمایشاتی دیگر با مقادیر متفاوتی از کمیت های فوق هم انجام داد.

#### ۴- حل مساله

##### ۴-۱- انتخاب آرایه مناسب

با توجه به سه کمیت ۳ سطحی و یک کمیت ۲ سطحی آرایه L9 که مخصوص حالت ۴ کمیت ۳ سطحی است انتخاب شده و با استفاده از روش رفتار انتزاعی ( Dummy Treatment) آرایه فوق تغییر داده می شود. آرایه L9 تغییر داده شده در جداول ۱ و ۲ مشخص شده است. لازم به ذکر است که به علت استفاده از نرم افزار Qualitek-4 جزئیات محاسبات ذکر نشده و به اطلاعات ورودی و خروجی این نرم افزار اکتفا می شود. همچنین برای هر آزمایش سه تکرار در نظر گرفته شده است و برای آنکه پراکندگی داده ها تاثیر کمی بر جواب نهایی داشته باشد از تحلیل S/N استفاده شده است.

##### ۴-۲- اطلاعات ورودی

اطلاعات ورودی نرم افزار Qualitek-4 در جداول ۱ و ۲ بر اساس سطوح مختلف کمیت های آزمایشی (بخش ۳ مقاله) ارائه شده اند. این اعداد نتایج آزمایشهای واقعی اند.

##### ۴-۳- تاثیر سطوح مختلف هر کمیت در جواب نهایی

در یافتن وزن حداقل و مقاومت حداکثر، نمودارهای مربوط به تاثیر سطوح مختلف کمیت ها ترسیم شده است. می توان از روی نمودارها به راحتی حالت بهینه را پیش بینی کرد.

##### ۴-۴- یافتن تاثیر هر کمیت بر جواب نهایی با

##### استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA)

در جدول ۳ مشاهده می شود که نسبت وزنی ماسه به شن بیشترین تاثیر و نسبت وزنی آب به سیمان کمترین تاثیر را بر کاهش وزن دارد؛ همچنین جدول ۴ بیانگر این مطلب است که عیار سیمان بیشترین تاثیر و نسبت وزنی فوق روان کننده به سیمان کمترین تاثیر را بر افزایش مقاومت دارد.

##### ۲- بتن سبکدانه (LWAC)

سبکدانه ها که عمدتاً به عنوان پرکننده در صنایع ساختمانی به کار می روند نیز مانند سنگدانه های معمولی قابلیت استفاده در بتن را دارند. اگر چه در شرایط یکسان مقاومت نمونه های بتن سبکدانه معمولاً از بتن هایی که سنگدانه معمولی دارند کمتر است اما ویژگیهای خاصی مثل نزدیکی مدول الاستیسیته و ضریب انبساط حرارتی خمیر سیمان با دانه های سبک که باعث بهبود وضعیت ناحیه تماس سنگدانه ها و خمیر سیمان و در نتیجه کاهش چشمگیر ریزترک ها در بتن میشود و نیز وزن کم این بتن ها باعث توجه به آنها شده است. سنگدانه استفاده شده در این تحقیق از نوع پومیس (pumice) و متعلق به معدن اسکندان در شهرستان اسکو می باشد. سیمان استفاده شده سیمان تیپ II صوفیان، میکروسیلیس استفاده شده محصول از نای لرستان و فوق روان کننده مصرفی ویسکوکریت 20HE سیکا بوده است. در این مقاله بر کاهش وزن و افزایش مقاومت تاکید شده و به علت ثابت بودن نسبت وزنی میکروسیلیس به سیمان در تمام نمونه ها از دخالت دادن این نسبت در تحلیل تاگوچی خودداری شده است.

##### ۳- طرح اختلاط بتن های سبکدانه سازه ای و

##### سطوح مختلف کمیت های موثر بر کیفیت

##### نهایی بتن

در آزمایشات انجام گرفته کمیت هایی که در تعیین خواص مطلوب (کاهش وزن، افزایش مقاومت) موثر در نظر گرفته شده و طرح اختلاط نمونه های بتنی بر اساس آنها انجام شده است عبارتند از:

الف) نسبت وزنی ماسه به شن (S/G) در سه سطح ۱/۱۵ (یک)، ۱/۲۰ (دو) و ۱/۲۵ (سه)

ب) عیار سیمان (C) در سه سطح ۳۵۰ (یک)، ۴۰۰ (دو) و ۴۵۰ (سه) کیلوگرم بر مترمکعب

پ) نسبت وزنی آب به سیمان (W/C) در سه سطح ۰/۳۳ (یک)، ۰/۳۵ (دو) و ۰/۳۷ (سه)

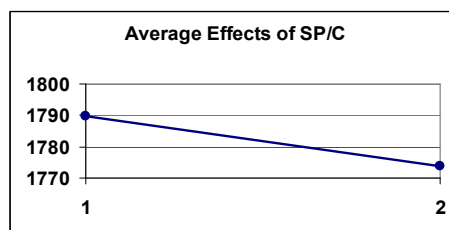
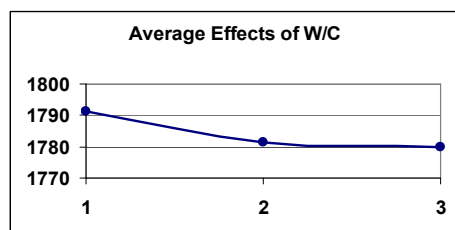
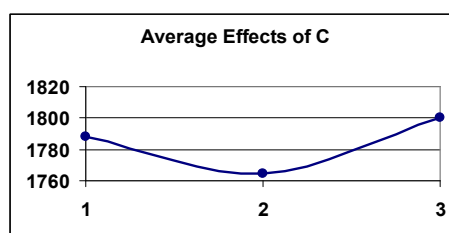
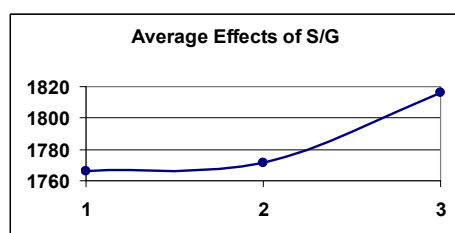
ت) نسبت وزنی فوق روان کننده به سیمان (SP/C) در دو سطح ۰/۰۰۵ (یک) و ۰/۰۰۷ (دو)

جدول ۱: اطلاعات ورودی برای یافتن وزن حداقل (اعداد = وزن نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ بر حسب گرم)

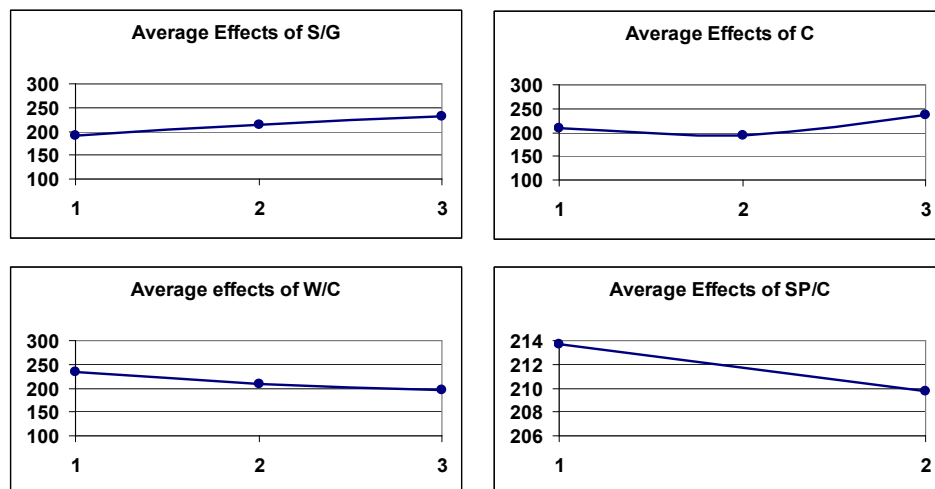
	آرایه L9 تغییر یافته				وزن سه نمونه مکعبی			میانگین وزن سه نمونه
	S/G	C	W/C	SP/C	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Averages
Trial 1	1	1	1	1	1795	1772	1765	1777.333333
Trial 2	1	2	2	2	1745	1720	1735	1733.333333
Trial 3	1	3	3	1	1790	1790	1780	1786.666667
Trial 4	2	1	2	1	1760	1785	1800	1781.666667
Trial 5	2	2	3	1	1765	1750	1730	1748.333333
Trial 6	2	3	1	2	1800	1785	1765	1783.333333
Trial 7	3	1	3	2	1830	1805	1780	1805
Trial 8	3	2	1	1	1805	1830	1805	1813.333333
Trial 9	3	3	2	1	1820	1860	1810	1830

جدول ۲: یافتن مقاومت حداکثر (اعداد = مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ )

	آرایه L9 تغییر یافته				مقاومت سه نمونه مکعبی			میانگین مقاومت سه نمونه
	S/G	C	W/C	SP/C	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Averages
Trial 1	1	1	1	1	211	247	190	216
Trial 2	1	2	2	2	159	163	190	170.6666667
Trial 3	1	3	3	1	222	232	162	205.3333333
Trial 4	2	1	2	1	225	185	218	209.3333333
Trial 5	2	2	3	1	212	175	170	185.6666667
Trial 6	2	3	1	2	274	261	247	260.6666667
Trial 7	3	1	3	2	204	225	203	210.6666667
Trial 8	3	2	1	1	208	244	255	235.6666667
Trial 9	3	3	2	1	234	283	263	260



شکل ۱: تاثیر سطوح مختلف هر کمیت در یافتن وزن حداقل (محور های افقی مطابق بخش ۳ مقاله سطوح هر کمیت و محور های عمودی وزن نمونه های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ بر حسب گرم می باشد).



شکل ۲: تاثیر سطوح مختلف هر کمیت در یافتن مقاومت حداکثر (محور های افقی مطابق بخش ۳ مقاله سطوح هر کمیت و محور های عمودی مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بر حسب  $\text{kg/cm}^2$  می باشد).

جدول ۳: یافتن تاثیر هر کمیت بر کمترین وزن

Factors	DOF	Sum of Squares	Variance	F-Ratio	Pure Sum	Percent
S/G	2	0.11	0.055	552.024	0.11	62.419
C	2	0.047	0.023	239.064	0.047	26.967
W/C	2	0.004	0.002	22.507	0.004	2.436
SP/C	1	0.013	0.013	137.357	0.013	7.723
Other/Error	1	-0.001	-0.001			0.455
Total	8	0.176				100%

جدول ۴: یافتن تاثیر هر کمیت بر بیشترین مقاومت

Factors	DOF	Sum of Squares	Variance	F-Ratio	Pure Sum	Percent
S/G	2	4.187	2.093	66.567	4.124	32.789
C	2	4.672	2.336	74.279	4.609	36.645
W/C	2	3.635	1.817	57.789	3.572	28.399
SP/C	1	0.052	0.052	1.662	0.02	0.165
Other/Error	1	0.03	0.03			2.002
Total	8	12.579				100%

مشاهده می شوند که کاملاً بر نتایج حاصل از تحلیل آشکال  
۱ و ۲ منطبق اند.

#### ۴-۵- پیشگویی حالت های بهینه

دو جدول ۵ و ۶ خروجی نرم افزار Qualitek-4 می  
باشند. در این دو جدول طرح های اختلاط بهینه پیشنهادی

(ترکیب تمام سطوح تمام کمیتها) آزمایش شدند، بطوری که شماره طرح های اختلاط بتن به شرح زیر با شماره آزمایشات تاگوچی ارتباط داشتند:

۵- تحلیل نتایج حاصل از روش تاگوچی و مقایسه آن با آزمایشات واقعی  
برای مشاهده این که آیا شرایط معرفی شده توسط روش تاگوچی واقعاً شرایط بهینه هستند یا نه تمام حالات ممکن

جدول ۵: پیشگویی حالت کمترین وزن (گرم به ازای نمونه های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰)

	Factors	Level Desc.	Level	Contribution
1	S/G	1.15	1	0.09
2	C	400	2	0.095
3	W/C	0.37	3	0.02
4	SP/C	0.007	2	0.051
Total Contribution From All Factors...				0.256
Current Grand Average Of Performance...				1784.226
Expected Result At Optimum Condition...				1732.407

جدول ۶: پیشگویی حالت بیشترین مقاومت (بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ )

	Factors	Level Desc.	Level	Contribution
1	S/G	1.25	3	0.792
2	C	450	3	0.931
3	W/C	0.33	1	0.851
4	SP/C	0.005	1	0.054
Total Contribution From All Factors...				2.628
Current Grand Average Of Performance...				212.398
Expected Result At Optimum Condition...				287.44

جدول ۷: ارتباط طرح های اختلاط آزمایشگاهی با ۹ آزمایش پیشنهادی تاگوچی

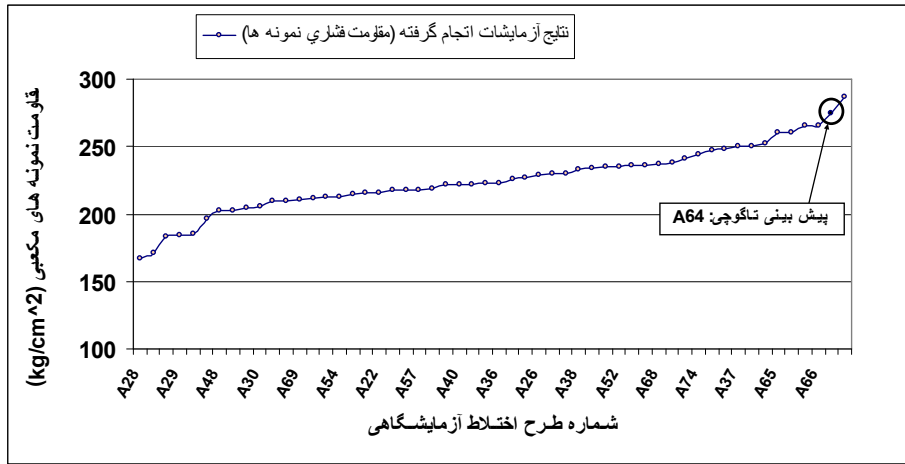
Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	پیشنهادی تاگوچی
A22	A35	A30	A41	A45	A55	A69	A61	A65	طرحهای آزمایشگاهی

طرح بهینه مقاومتی پیش بینی شده توسط تاگوچی: A64

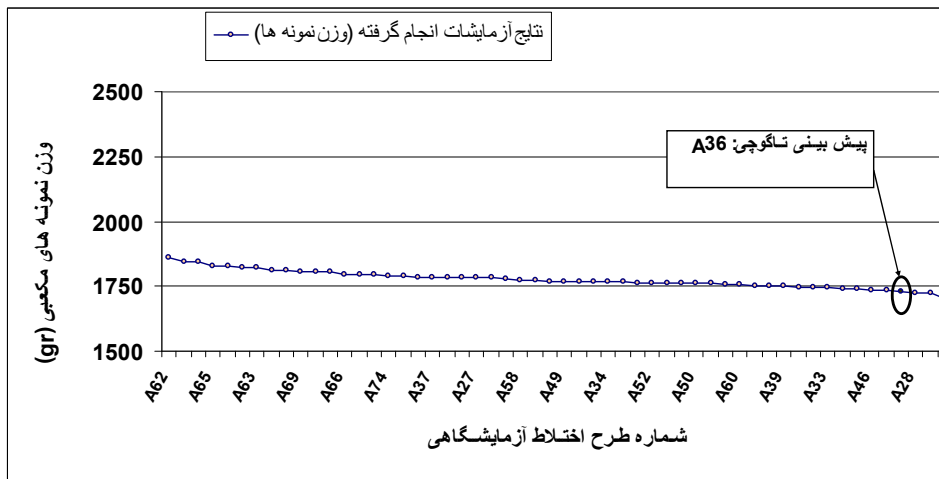
طرح بهینه وزنی پیش بینی شده توسط تاگوچی: A36

آزمایش A36 نیز که در شکل ۴ مشخص شده است مربوط به پیش بینی تاگوچی بوده و همانطور که ملاحظه می شود این پیش بینی نیز با تقریب مناسبی به نتایج حاصل از آزمایشات نزدیک است. مقایسه عددی پیش بینی های تاگوچی و نتایج آزمایشات واقعی در جداول ۸ و ۹ ارائه شده اند.

حال با ترسیم نمودار وزن و مقاومت تمام ۵۴ طرح آزمایش شده ( $2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54$ ) موقعیت پیش بینی های تاگوچی را نسبت به کل نتایج بررسی می کنیم. آزمایش A64 که در شکل ۳ مشخص شده است مربوط به پیش بینی تاگوچی بوده و همانطور که ملاحظه می شود با تقریب مناسبی به نتایج حاصل از آزمایشات نزدیک است.



شکل ۳: مقایسه پیش بینی تاگوچی و نتایج حاصل از آزمایشات درمورد مقاومت حداکثر



شکل ۴: مقایسه پیش بینی تاگوچی و نتایج حاصل از آزمایشات درمورد وزن حداقل

جدول ۸: مقایسه وزن طرح اختلاط پیشنهادی تاگوچی با کمترین وزن مشاهده شده در ۵۴ آزمایش

	S/G	C	W/C	SP/C	وزن (گرم به ازای نمونه های مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰))
کمترین وزن مشاهده شده در ۵۴ آزمایش طرح اختلاط <b>A44</b>	1,2	400	0,35	0,005	1701,667
کمترین وزن پیش بینی شده توسط روش تاگوچی طرح اختلاط <b>A36</b>	1,15	400	0,37	0,007	نتیجه حاصل از آزمایش <b>A36</b> 1730
					پیش بینی تاگوچی برای <b>A36</b> 1732,407

جدول ۹: مقایسه مقاومت طرح اختلاط پیشنهادی تاگوچی با بیشترین مقاومت مشاهده شده در ۵۴ آزمایش

	S/G	C	W/C	SP/C	مقاومت (kg/cm <sup>2</sup> ) نمونه های مکعبی
بیشترین مقاومت مشاهده شده در ۵۴ آزمایش طرح اختلاط A73	1,25	450	0,33	0,007	286,667
بیشترین مقاومت پیش بینی شده توسط روش تاگوچی طرح اختلاط A64	1,25	450	0,33	0,005	نتیجه حاصل از آزمایش A64 274,333
					پیش بینی تاگوچی برای A64 287,44

$$\frac{1732.407 - 1701.337}{1701.667} \times 100 \approx 1.8$$

$$\frac{1732.407 - 1730}{1730} \times 100 \approx 0.14$$

$$\frac{287.44 - 286.667}{286.667} \times 100 \approx 0.27$$

$$\frac{287.44 - 274.333}{274.333} \times 100 \approx 4.8$$

## ۶ - نتیجه گیری

در این تحقیق ملاحظه شده است که در پیش بینی وزن حداقل، طرح اختلاط پیشنهادی تاگوچی (A36) وزنی ۱/۸ درصد بیش از کمترین وزن مشاهده شده در بین تمامی نمونه ها (طرح اختلاط A44) دارد و در عین حال پیش بینی تاگوچی برای این طرح اختلاط تنها ۰/۱۴ درصد بیش از مقدار واقعی آن بوده است. همچنین در پیش بینی مقاومت حداکثر، مقدار پیش بینی شده توسط تاگوچی (A64) ۰/۲۷ درصد از حداکثر واقعی مقاومتها (A73) بیشتر بوده و این رقم از مقدار مقاومت واقعی مشاهده شده برای A64 تنها ۴/۸ درصد بیشتر است. پس چنین نتیجه گیری می شود که پیش بینی های تاگوچی با نتایج حاصل از آزمایشات همخوانی مناسبی دارد و روش تاگوچی می تواند به عنوان روشی مناسب جهت پیش بینی خواص بتن های سبکدانه سازه ای مورد استفاده قرار گیرد.

## ۷ - مراجع

- 1- Roy Ranjit, 1990. A Primer on the Taguchi Method, Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- 2- Patrick M. Burgman, May 1985, Design of Experiments-The Taguchi Way, Manufacturing Engineering.
- 3- Burton Gunter, 1987, A Perspective on the Taguchi Methods, Quality Progress, American Society for Quality Control, Milwaukee, WI.
- 4- Lawrence P.Sullivan, June 1987, The Power of the Taguchi Methods, Quality Progress, American Society for Quality Control, Milwaukee, WI.
- 5- Philip J. Ross, 1988, Taguchi Techniques for Quality Engineering, New York, McGraw Hill Book Company.



# Finding optimized mix design of LWAC, using taguchi method

## **H. Afshin**

P.H.D, faculty of civil engineering, Sahand university of technology.  
hafshin@sut.ac.ir

## **A. A. Babaluo**

P.H.D, faculty of chemical engineering, Sahand university of technology.  
a.babaluo@sut.ac.ir

## **Afshin Edjlali**

M.SC, faculty of civil engineering, Sahand university of technology.  
a\_edjlali@sut.ac.ir

We use many kinds of combinations of raw materials and production levels in producing composite materials. Testing all the states are difficult or even impossible. Taguchi method is a numerical method which predicts optimum state of composite materials using special orthogonal arrays. In this research we have discussed useability of this method and its' potential in finding optimum mix design of LWACs. With making 54 different mix designs in laboratory and comparison between taguchi's prediction and real experiments' results we will show the useability of finding optimum mix design of LWAC with a suitable accuracy by this method.

**Keywords:** taguchi method, Orthogonal arrays (OAs), Lightweight aggregate concrete (LWAC), Optimum mix design