فصلنامه مطالعات کمی در مدیریت

پاییز۱۴۰۳، دوره۱۵ ، شماره ۳، صفحه۱۰۴-۸۳

افزایش شاخص های کیفی موثر در کیفیت ماسه های سیلیسی ریخته گری(گروه AFS150) از طریق طراحی آزمایشات تاگوچی

غلامحسین باغبان[۱] ، عباس راد[۲]، حسن فارسیجانی[۳] و داود طالبی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۹

چکیده

ارزیابی کیفی محصولات سازمانها و بنگاه های اقتصادی جهت دستیابی به یک استراژی پایدار و افزایش سهم فروش در بازار پر ازرقابت یکی از مهمترین برنامه های راهبردی هر شرکت است. ماسه های سیلیسی از پرکاربردترین مواد مورد استفاده در صنعت به خصوص صنعت ریخته گری می باشد. هدف این مطالعه پیش بینی افزایش کیفیت، برای ماسه های سیلیسی صنایع ریخته گری از داده‌های بدست آمده از آزمایشگاه بر اساس طراحی آزمایشات به روش تاگوچی است. در این تحقیق براساس ادبیات پژوهش و مصاحبه‌های تخصصی انجام شده، برای شناسائی مولفه های مورد بررسی از تکنیک دلفی و نیز جهت انتخاب شاخص‌های موثر در افزایش کیفیت از روش تصمیم گیریAHP فازی استفاده شده است. بنابراین در این بخش به رتبه‌بندی این شاخص‌ها پرداخته شد. و در نهایت با استفاده از طراحی آزمایشات به روش تاگوچی در دو سطح برای شاخص های موثر مشخص گردید به ترتیب شاخص های اسید،زمان و نسبت وزن به حجم جهت افزایش کیفیت تاثیر قابل توجهی دارند.

واژه‌های کلیدی: معادن سیلیس ، طراحی آزمایش ،تاگوچی.

---

۱ دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی،گروه مدیریت صنعتی،دانشکده مدیریت،دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال،تهران،ایران؛ baghban.ksk@gmail.com

۲ استادیار گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی،تهران،ایران. (نویسنده مسئول)؛ a-raad@sbu.ac.i

۳ دانشیار گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی،تهران،ایران؛ H-Farsi@sbu.ac.ir

۴ استادیار گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی،تهران،ایران؛ d-talebi@sbu.ac.ir

مقدمه

طبقه‌بندی و تجزیه‌وتحلیل درست داده‌ها و استفاده صحیح از تکنیک‌های آماری به طبع استفاده از روش‌های مناسب پژوهش در نهایت منجر به دستیابی به نتایج قابل اتکا خواهد شد. پس از آنکه محقق داده‌ها را گردآوری، استخراج و طبقه‌بندی نمود و جدول توزیع فراوانی و نسبت‌های توزیع را تهیه کرد باید مرحله جدیدی از فرایند تحقیق که به تجزیه و تحلیل داده‌ها معروف است، آغاز شود. درمرحله تجزیه و تحلیل، نکته مهم این است که محقق باید اطلاعات و داده‌ها را در مسیر هدف، پاسخگویی به سؤال یا سؤالات تحقیق و نیز ارزیابی فرضیه‌های خود جهت داده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. (حافظ نیا ، ۱۳۸۲ : ۱۰۲)

در عصر حاضر، توجه صرف به تولید به موقع محصولات و عرضه آنها به بازار برای حفظ و رشد سهم سود تولیدکننده،کافی نیست.افزایش و رشد آگاهی مصرف‌کنندگان منجر به بالا رفتن توقعات آنها از کیفیت محصولات شده است (مونتگومری[1]، ۲۰۰۹). امروزه مقوله کیفیت، به یکی از اهرم‌های کلیدی تولید تبدیل شده و مدت زمان بسیار زیادی است که توجه محققان و سازمان‌ها به مباحث کیفیت، تضمین کیفیت، مدیریت کیفیت، سیستم کیفیت و این قبیل موارد جلب شده است (متقی و ربانی، ۱۳۸۶).

از آنجایی که اغلب مسائل موجود در حوزه های علمی، مهندسی، پزشکی، و مدیریتی نیاز به مطالعه متغیرهای تاثیرگذار بر نتایج، و انجام آزمایش دارند؛ لذا طراحی آزمایشات، در بسیاری از علوم، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. طراحی آزمایشات حتی در بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌های محصول نیز می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (*Yu et al., 2014*).طراحی آزمایشات می‌تواند به عنوان راهبرد در انجام آزمایش ها مورد توجه مدیران و کارشناسان قرار گیرد. به طوری که در آن آزمایش ها، اثرات چندین عامل، که در کیفیت محصول یا فرآیند تاثیرگذار هستند، به صورت هم زمان، مورد بررسی قرار گیرد. واژه «عامل‌ها» در طراحی آزمایشات در واقع معادل متغیرهای ورودی‌های سیستم، و اجزای اجرایی فرآیند است. به عبارت دیگر، منظور از «عامل‌ها»، متغیرهایی هستند که به صورت مستقیم روی عملکرد محصول یا فرآیند تاثیر می گذارند. فاکتور یا عامل، متغیری قابل کنترل است که اثر آن بر خروجی فرآیند یا محصول توسط آزمایش کننده، بررسی می‌شود. به عبارت دیگر، در طراحی آزمایشات، با تغییر عامل ها، آزمایش کننده سعی می‌کند تا متغیر پاسخ فرآیند، به مقدار بهینه خودنزدیک شود. عامل یا فاکتور را می‌توان به عنوان متغیر مستقل، در مقابل متغیر پاسخ (که همان خروجی فرآیند است در نظرگرفت. در *DOE* تاثیر عامل‌هادر خروجی فرآیند در سطوح مختلف استفاده از آنها را بررسی می‌کنند (*Karna & Sahai, 2012; Unal & Dean, 1990; Yu et al., 2014*).

طراحی آزمایش‌ها (*DoE*) برای مدت طولانی یک رویکرد اساسی در مهندسی و تحقیق برای مطالعه تأثیر متغیرهای متعدد به طور همزمان بوده است. در حوزه ریخته گری، *DoE* می تواند درک چگونگی تعامل خواص مختلف ماسه با شرایط ریخته گری و تاثیر بر کیفیت محصول نهایی را تسهیل کند (*Montgomery, D.C., 2008*).

هدف این مطالعه بررسی افزایش کیفیت برای ماسه های سیلیسی صنایع ریخته گری از داده‌های بدست آمده از آزمایشگاه از روش طراحی آزمایشات به روش تاگوچی میباشد. در این تحقیق براساس ادبیات پژوهش و مصاحبه‌های تخصصی انجام شده، برای شناسائی مولفه های مورد بررسی از تکنیک دلفی و نیز جهت انتخاب شاخص‌های تحقیق حاضر از مدل‌های تصمیم‌گیری *AHP* و رتبه بندی مولفه های موثر در افزایش کیفیت در سطوح مختلف استفاده شده است. بنابراین در این بخش به رتبه‌بندی این شاخص‌ها پرداخته خواهد شد. همچنین

[1] Montegomery

برای مشخص شدن سطح بهینه هر یک از مولفه های اصلی مرحله قبل در شرایط استاندارد آزمایش نیز از پرسشنامه ی خبرگان استفاده گردیده است و در نهایت نقش هریک از پارامترهای موثر که بیشترین تاثیر را بر افزایش کیفیت داشته ، از طریق مدل تاگوچی طراحی گردیده است.

ریخته‌گری را به طور خلاصه فرآورش و تبدیل ماده خام به فراورده‌ای دیگر (مانند محصول ساخته شده) تعریف می‌کنند. از این لحاظ، این فرآیند در زمره فعالیتهای تبدیل ماده اولیه به قطعه نهایی تقسیم بندی می‌شود. ریخته‌گری ماسه‌ای[1] روشی در ریخته‌گری فلزات است که در آن از ماسه برای ساخت قالب استفاده می‌شود. در ریخته‌گری ماسه‌ای از ماسه طبیعی یا ماسه ترکیبی (ماسه دریاچه) استفاده می‌شود، که دارای یک ماده نسوز به نام سیلیکا (SiO_2) می‌باشد. دانه‌های شن باید به قدر کافی کوچک باشند تا بتوان آن‌ها را متراکم کرد؛ و در عین حال باید آنقدر درشت باشند تا گازهای تشکیل شده در هنگام ریخته‌گری از بین منافذ آنها خارج شوند.در این میان ماسه های گروه *AFS50* دارای استاندارد های کیفی مشخصی هستند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

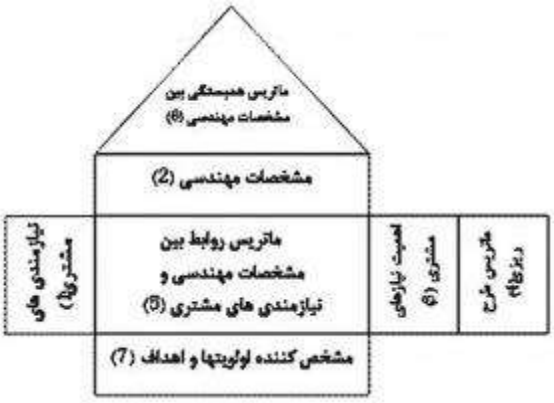
روشهای بهبود کیفیت

ماتریس خانه کیفیت برای مقایسه ی ماسه ها

ماتریس خانه کیفیت (QFD[2]) در بسیاری از صنایع به عنوان روشی برای بهبود فرایند، رضایت مشتری و کسب مزیت رقابتی شناخته شده است (آزادی و فرزین پور[3]، ۲۰۱۳). این ماتریس روشی سیستماتیک برای نمایش مهم‌ترین مشخصات فنی محصول با توجه به نیازهای مشتریان است (چن و همکاران[4]، ۲۰۰۶). مطابق شکل ۱، سمت چپ ماتریس خانهٔ کیفیت، نشان‌دهنده ورودی الزامات مشتری است (یعنی مشتری چه چیزهایی را سفارش می‌دهد). سمت راست آن، نشان دهنده ارزیابی رقابتی گزینه‌های کیفی از دید مشتریان است. سقف این ماتریس، الزامات فنی مورد نظر برای ارضای الزامات کیفی مشتریان را نشان داده و ارتباط دوبه دوی آنها را مشخص می‌کند. داخل ماتریس، نشاندهنده روابط متقابل و درجه ارتباط بین الزامات کیفی مشتریان و الزامات فنی است و قسمت پایینی ماتریس، خروجی آن، یعنی اهمیت الزامات فنی در طراحی محصول را مشخص می‌کند (ضیافی و همکاران[5]، ۲۰۱۲).

---

[1] Sand casting
[2] Quality Function Deployment
[3] Azadi & Farzipoor Saen
[4] Chen et al.
[5] Xiafei *et al.*



شکل ۱- ماتریس خانه کیفیت (HOQ)

کنترل کیفیت آماری

کنترل کیفیت آماری روشی برای نظارت بر فرآیندها در جهت شناسایی علل ویژه تغییرات و انجام اقدامات اصلاحی است. جلوگیری از تولیدمحصولات معیوب با به کارگیری روش‌های آماری و به منظور کنترل فرآیند تولید تحت عنوان کنترل فرآیند آماری شناخته شده که عموماً برای نظارت و آزمایش یک فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد (رودریگوئز و همکاران[1]، ۲۰۰۹).برای کنترل یک مشخصه کیفی، میانگین و واریانس آن در طول زمان بررسی می‌شود. همچنین X میانگین فرآیند به وسیله نمودار کنترل میانگین تغییرپذیری فرآیند را می‌توان بوسیله نمودارهای کنترل در حالت‌های انحراف کنترل کرد. در بحث کنترل R و S معیار یا دامنه تغییرات با نمودارهای کیفیت آماری، نمودارهای کنترل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند و به نوعی بخش اصلی فرآیند کنترل کیفیت را به خود اختصاص می‌دهند.این نمودارها، روشی برای بهبود بهره‌وری می‌باشند (نظیف و همکاران، ۱۳۹۸).

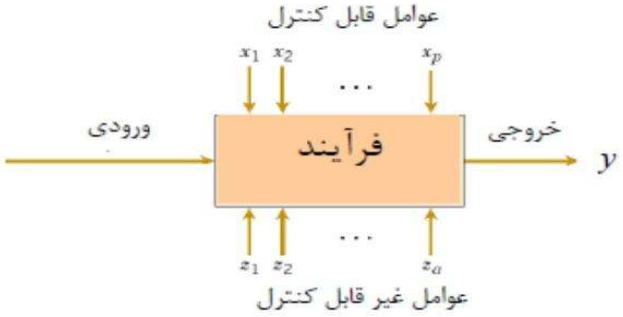
طراحی آزمایشات

طراحی آزمایشات شاخه ای از آمار کاربردی است، که شامل برنامه ریزی، آزمایش، ثبت نتایج، تجزیه و تحلیل، و تفسیر نتایج آزمایش های انجام شده است. طراحی آزمایشات برای ارزیابی تاثیر عواملی است که بر

[1] Rodriguez *et al.*

نتایج یک فرآیند تولیدی، خدماتی، و یا تحقیقاتی اثر می گذارد. هدف از طراحی آزمایشات، تشریح و تفسیر تغییرات، در اطلاعات حاصل از نتایج آزمایشات است. (آتشگر، ۱۳۹۷: ۵-۶).

طراحی آزمایش را می‌توان «ایجاد تغییرات هدفمند در مشخصه‌ها و عوامل اثرگذار، برای مشاهده تغییرات در مشخصه خروجی یا پاسخ» تعریف کرد. روش طراحی آزمایشات به عنوان یکی از روش‌های نوین آمار کاربردی محسوب می‌شود. این روش با انجام طرح‌های آزمایشی سعی می‌کند تا مهمترین عوامل موثر (متغیرهای کلیدی) بر کیفیت محصول را شناسایی کرده و سپس سطح بهینه هر یک از آنها را تنظیم نماید. با استفاده از روش طراحی آزمایشات می‌توان به طور نظام‌مندعامل‌های ورودی قابل کنترل را تغییر داد و تاثیر آنها را بر روی پارامترهای محصول خروجی ارزیابی کرد. آزمایش‌هایی که به طور آماری طراحی می‌شوند، قادرند تا به طور قابل توجهی از میزان تغییرات در مشخصات کیفی کاسته و همچنین سطوح متغیرهای قابل کنترل را که باعث بهینه کردن عملکرد فرایند می‌شوند، تعیین نمایند (متقی و ربانی، ۱۳۸۶). روش طراحی آزمایشات تاگوچی[1] رویکردی است که برای تجزیه و تحلیل اثرات تعاملی زمانی که که فاکتورهای قابل کنترل مختلف رتبه‌بندی و غربال‌گری می‌شوند، به خوبی سازمان یافته است و علاوه بر این، توانایی این روش برای حل مسائلی که در برگیرنده‌ی متغیرهای پیوسته، گسسته و کیفی هستند اثبات شده است. روش تاگوچی برای طراحی پیکره‌بندی بهینه، حتی باوجود تعاملات بین متغیرهای کنترل، مناسب است. همچنین این روش قادر است تا آزمایش‌های فاکتوریلی را توسعه داده و نتایج مرتبط با آنها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد (هونگ[2]، ۲۰۱۲).



شکل ۲- مدل عمومی یک فرایند (آتشگر، ۱۳۹۷: ۷)

[1] Taguchi
[2] Hong

روش شناسی پژوهش

گردآوری اطلاعات

به منظور گردآوری اطلاعات ۱۰ معدن سیلیس در شهرستان ابهر انتخاب شدند (جدول۱). تعداد ۵۰ نمونه سنگ از هر معدن به صورت تصادفی و در یک دوره یکساله از این معادن برداشت شده است.

جدول۱- معادن انتخاب شده جهت گردآوری اطلاعات

ردیف	نام معدن	شهرستان-استان
۱	ترکانده	ابهر-زنجان
۲	کلنگرز	ابهر-زنجان
۳	چنگوری	ابهر-زنجان
۴	غرب ازناب	ابهر-زنجان
۵	چشین	ابهر-زنجان
۶	شاه بلاغی	ابهر-زنجان
۷	چالچوق	ابهر-زنجان
۸	ینگجه	ابهر-زنجان
۹	سرخه دیزج	ابهر-زنجان
۱۰	قزلجه	ابهر-زنجان

مأخذ: یافته‌های تحقیق

روش گردآوری اطلاعات

در تحقیق حاضر از طریق مطالعات کتابخانه‌ای شامل: کتب، مقالات، پایان‌نامه‌ها و اینترنت به‌منظور تهیه مبانی و ادبیات موضوع تحقیق استفاده شده است. همچنین برای طراحی یک مدل پیش‌بینی کیفیت برای ماسه‌های سیلیسی صنایع ریخته‌گری از بررسی وضعیت اطلاعات ماسه‌های سیلیسی در صنایع ریخته‌گری از طریق گردآوری و تدوین اطلاعات موجود در ادبیات و همچنین بانک‌های اطلاعاتی موجود در صنایع ریخته‌گری و سازمان صنعت و معدن استفاده شد.

ابزار گردآوری اطلاعات

در این پژوهش از روش مصاحبه و استفاده از اسناد و مدارک موجود مربوط به کیفیت ماسه‌های سیلیسی، در صنایع ریخته‌گری، برای گرداوری و دست‌یابی به داده‌ها استفاده شده است. همچنین از ابزار پرسشنامه به

منظور شناسایی عوامل موثر بر کیفیت ماسه‌های سیلیسی گروه AFS50 و عوامل اثر گذار در طراحی با نظرخواهی از خبرگان این حوزه استفاده شد.

روش دلفی فازی

با توجه به گزینه‌های پیشنهادی و تعریف متغیرهای زبانی، پرسشنامه مورد نظر طراحی شد. این پرسشنامه که شامل ۱۴ متغییر: ADV ، نقطه زینتر،Lol ،PH، Sio_2 ، خاک رس، نفوذپذیری گاز،AL_2O_3، Na_2O ، MgO،Cao، Cr_2O_3، Fe_2O_3،K_2O بود به خبرگان برای اولویت بندی آنها درکیفیت ماسه های سیلیسی ارائه شد. ابتدا پرسشنامه‌ای بر اساس ادبیات تحقیق و مصاحبه با متخصصان این حوزه، با ۲۰ خبره اولیه طراحی شده وبه اعضای گروه ارسال شد.سپس طبق روش شناسی دلفی فازی به جمع‌آوری داده‌ها پرداخته شد. هدف این پرسشنامه انتخاب دسته‌ای از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در در کیفیت ماسه‌های سیلیسی گروه AFS50بود و در طی سه مرحله پرسشنامه توزیع و جمع‌آوری گردید تا توافق کلی نظر خبرگان نسبت به طبقه‌بندی به دست آید.

جدول ۲- امتیاز شاخص های خبرگان بر اساس روش دلفی فازی

ردیف	کد	شاخص	امتیاز
۱	F1	ADVتأثیر پارامتر	19,6
۲	F4	Sio_2خلوص	۱۹.۸
۳	F5	PH	۱۷.۸
۴	F13	Na2o+K2o	۱۶.۸
۵	F14	Mgo+Cao	۱۷.۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

تکنیک *AHP* فازی

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روشهای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه[1] یا **MCDM** جای خود را باز کرده‌اند. (قدسی‌پور، ۱۳۸۷) در این گونه تصمیم گیری ها چندین شاخص یا هدف که گاه با هم متضاد هستند در نظر

[1]. Multiple Criteria Decision Making, MCDM

گرفته می‌شوند. اگر در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه **(MCDM)** منظور از معیار شاخص[1] باشد آنرا به نام تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه۲ **(MADM)** می‌شناسند(حبیبی، ۱۳۹۰).یکی از نخستین روشهای تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه **(MADM)** روش تحلیل سلسله‌مراتبی[3] **(AHP)** میباشد.در فاز دوم این مطالعه با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی اقدام به اولویت‌بندی معیارهای اصلی انتخاب تامین کنندگان گردیده است. طراحی مورد نظر براساس ترکیبی از خبرگان با تخصص‌های گوناگون تعیین گردید و از نمونه‌ای به حجم ۱۰ نفر استفاده شده است. این تحلیل براساس دیدگاه ۱۰ نفر از خبرگان و براساس مقایسه‌های زوجی صورت گرفته است.

روش تاگوچی

یکی از اولین روش هایی که در زمینه طراحی آزمایش ارائه شد روش فاکتوریل بود. که تعداد آزمایش ها را به وسیله رابطه N=Lmبدست می آوردند. اشکال عمده این روش این بود که در صورت وجود متغیر های زیاد تعداد آزمایشها خیلی زیاد میشود و این مسئله از نظر زمان و هزینه به صرفه نیست. روش تاگوچی یکی از راه هایی است که تعداد آزمایشها را کم می کند. یکی از این اصلاحات ایجاد شده در روش قبل بود. در این روش سه عامل مورد توجه است:

- کیفیت مورد نظر را هنگام تولید محصول طراحی کرده و در آن ایجاد کنیم.
- تاثیر عواملی را که نمیتوانیم کنترل کنیم را کم کرده و در طورت ممکن تاثیر آنها را از بین ببریم.
- میزان ضرر و زیان به انحراف از حالت استاندارد(کیفیتی که برای ما مطلوب است) بستگی دارد.

در مرحله اول عوامل مؤثر را مشخص کرده و برای هرکدام چند حالت را در نظر می گیریم. با توجه به تعداد پارامتر های مؤثر و تعداد سطوح هر کدام از آن‌ها تعداد آزمایش ها مشخص می شود. در این تحقیق نیز پس از مشخص شدن پارامترهای تاثیرگذار و سطح بهینه آنها، برای سه فاکتور pH، زمان و درصد وزن به حجم در در دو سطح متفاوت اطلاعات به نرم افزار طراحی تاگوچی داده شد.

یافته‌های پژوهش

اولویت‌بندی معیارها جهت افزایش کیفیت با تکنیک AHP فازی

مفهوم فازی بودن در روش **AHP** کلاسیک به صورت غیرمستقیم و بدون استفاده از مجموعه‌های فازی مورد توجه قرار گرفته است. در واقع در این روش با استفاده از عبارات کلامی ، مفهوم فازی بودن در تعیین

---

[1]. Attribute
[2]. Multiple Attribute Decision Making, MADM
[3]. Analytical Hierarchy process, AHP

ماتریس‌های مقایسه زوجی دخالت داده می‌شود. بنابراین با تعمیم روش فوق، روش‌هایی ارائه می‌گردد که در آن‌ها از اعداد فازی برای بیان میزان ارجحیت عناصر استفاده می‌شود. هدف این بخش از پژوهش اولویت بندی و انتخاب متغیرهای کلیدی بر کیفیت محصول در طراحی آزمایشات است. بنابراین در گام نخست معیارهای مدنظر شامل عوامل قابل کنترل انتخاب شده است. این معیارها شامل pH، زمان، سرعت، اندازه ذرات، وزن به حجم و دما هستند، که درجدول زیر نشان داده شده است . به طور کلی این معیارها در شرایط آزمایشگاهی به عنوان عوامل قابل کنترل شناخته می شوند.

جدول ۳- معیارهای انتخاب شده جهت الویت بندی

نماد	معیار
C1	pH
C2	زمان
C3	سرعت
C4	اندازه ذرات
C5	وزن به حجم
C6	دما

مأخذ: یافته‌های تحقیق

تعیین اولویت معیارها

برای انجام تحلیل سلسله‌مراتبی، نخست معیارهای اصلی براساس هدف بصورت زوجی مقایسه شده‌اند. رتبه‌بندی در این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی صورت می‌گیرد. مقایسات زوجی با استفاده از پرسشنامه و بر اساس دیدگاه خبرگان انجام شد و دیدگاه خبرگان نیز با استفاده از تکنیک میانگین هندسی، تجمیع گردید.

جدول ۴- مقایسه زوجی حاصل از تجمیع دیدگاه خبرگان

معیار	pH	زمان	سرعت	وزن به حجم	اندازه ذرات	دما
Ph	۱	۰.۸۹۶	۲.۲۴۳	۱.۷۲۰	۲.۲۲۹	۰.۸۸۵
زمان	۱.۱۱۶	۱	۲.۴۳۶	۱.۸۱۰	۲.۰۶۲	۱.۲۰۶
سرعت	۰.۴۴۶	۰.۴۱۰	۱	۰.۶۱۸	۱.۲۶۵	۰.۵۷۳
وزن به حجم	۰.۵۸۱	۰.۵۵۲	۱.۶۱۹	۱	۲.۱۸۰	۰.۷۱۱
اندازه ذرات	۰.۴۴۹	۰.۷۹۰	۰.۷۹۰	۰.۴۵۹	۱	۰.۵۷۳
دما	۱.۱۲۹	۰.۸۲۹	۱.۷۴۵	۱.۴۰۷	۱.۷۴۵	۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس روش AHP فازی ، میانگین هندسی هر سطر برای تعیین وزن معیارها محاسبه گردید که به صورت رابطهٔ ۱ است.

$$\pi_1 = \sqrt[8]{1 * 0.896 * 2.243 * 1.720 * 2.229 * 0.8850} = 1.377 \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

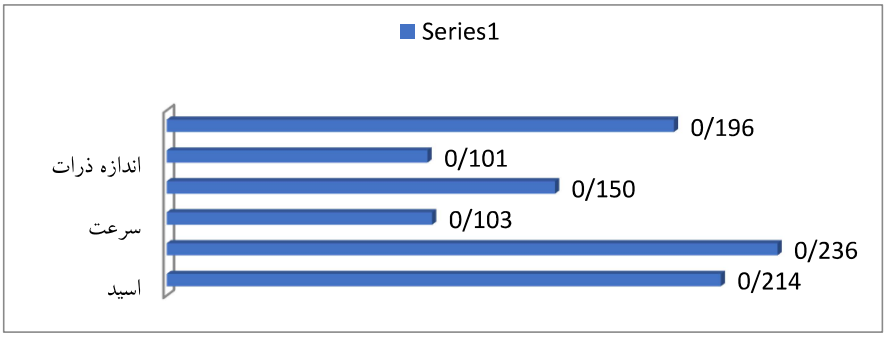
میانگین هندسی سایر سطرها نیز به همین ترتیب محاسبه شده و در نهایت مجموع میانگین هندسی تمامی سطرها محاسبه می‌شود. با تقسیم میانگین هندسی هر سطر بر مجموع میانگین هندسی سطرها مقدار وزن نرمال بدست می‌آید که به آن برداروِیژه نیز گفته می‌شود. میانگین هندسی و بردار ویژه در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول۵- میانگین هندسی و بردار ویژه معیارها

معیار	میانگین هندسی	بردار ویژه
Ph	۱.۳۷۷	۰.۲۱۴
زمان	۱.۵۱۸	۰.۲۳۶
سرعت	۰۶۵۹	۰.۱۰۳
وزن به حجم	۰.۹۶۵	۰.۱۵۰
اندازه ذرات	۰۶۴۷	۰.۱۰۱
دما	۱.۲۶۱	۰.۱۹۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس بردار ویژه بدست آمده معیار زمان با وزن نرمال شده ۰/۲۳۶ از بیشترین اولویت برخوردار است. معیار pH با وزن ۰/۲۱۴ در اولویت دوم قرار دارد. معیار وزن به حجم با وزن نرمال ۰/۱۹۶ در اولویت سوم قرار دارد. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۳۸ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد. اولویت معیارهای اصلی در نمودار شکل۱ نشان داده شده است.



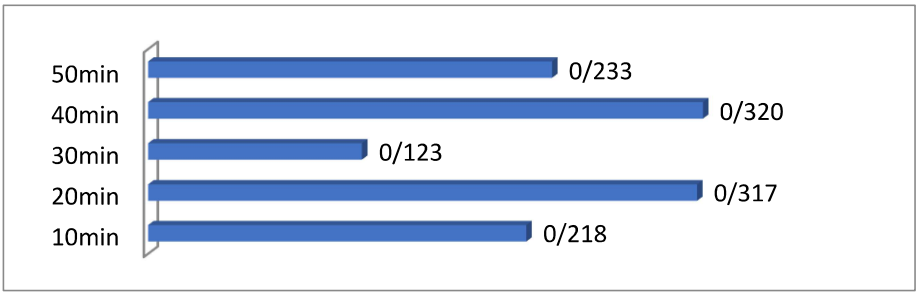
شکل ۱- نمودار الویت بندی معیارهای اصلی

در گام دوم از تکنیک AHP زیرمعیارهای هر معیار بصورت زوجی مقایسه شده‌اند. بر اساس مدل تحقیق، گام بعدی محاسبه اولویت بندی معیارهای فرعی سه متغیر تاثیر گذار در ماسه های سیلیس می باشد، بدین معنا که زیرمعیارهای مربوط به هر معیار بصورت زوجی مقایسه می شوند که با توجه به انتخاب مرحله یک ، سه پارامتر زمان، pH و دما انتخاب گردیدند. لذا سطح بهینه این سه پارامتر جهت طراحی آزمایش با کمک تکنیک AHP مشخص گردید.

تعیین سطوح آزمایشات با تکنیک AHP فازی

تعیین اولویت زیرمعیارهای بهینه شاخص زمان

زیرمعیارهای زمان شامل ۱۰ دقیقه (S11)، بیست دقیقه (S12)، ۳۰ دقیقه (S13)، ۴۰ دقیقه (S14) و ۵۰ دقیقه (S15) می باشد. نتایج حاصل از مقایسهٔ زوجی زیرمعیارهای پارامتر زمان در شکل۲ نشان داده شده است.

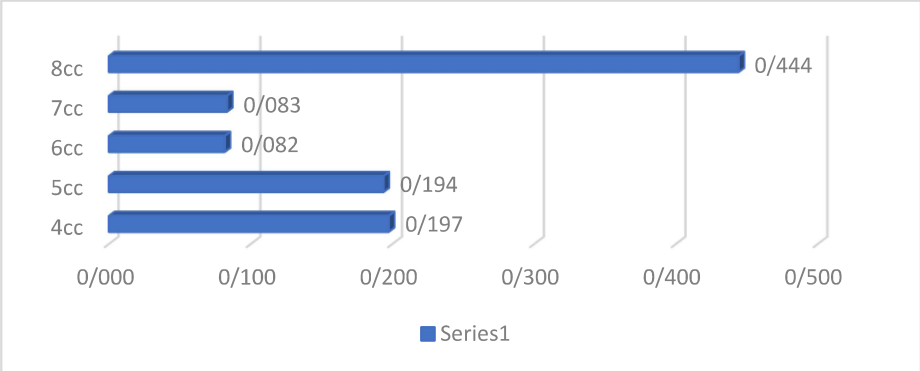


شکل ۲- نمودار تعیین اولویت زیرمعیارهای بهینه شاخص زمان

براساس بردار ویژه بدست آمده بیشترین اولویت مربوط به شاخص زمان ۴۰ دقیقه با وزن ۰/۳۲۰ است. شاخص زمان ۲۰ دقیقه با وزن نرمال ۰/۳۱۷ در اولویت دوم قرار دارد و و زمان ۳۰ دقیقه با وزن ۰/۱۲۳ از کمترین اولویت برخوردار است. همچنین ضریب سازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۳۳ بدست آمده است که چون کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

تعیین اولویت زیرمعیارهای بهینه شاخص pH

زیرمعیارهای pH شامل ۴ سی سی (S21)، ۵ سی سی (S22)، ۶ سی سی (S23)، ۷ سی سی(S24) و ۸ سی سی (S25) می باشند. نتایج حاصل از مقایسهٔ زوجی زیرمعیارهای پارامتر زمان در شکل ۳ نشان داده شده است.

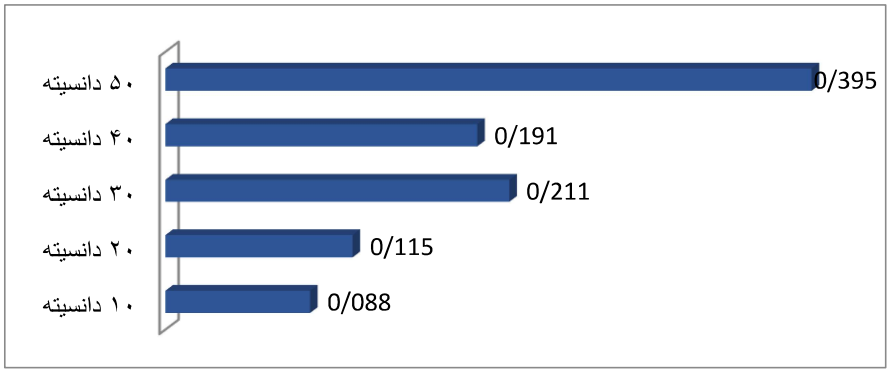


شکل ۳- تعیین اولویت زیرمعیارهای بهینه شاخص pH

براساس بردار ویژه بدست آمده بیشترین اولویت مربوط به شاخص ۴ سی سی با وزن ۰/۱۹۷ است. شاخص ۸ سی سی با وزن نرمال ۰/۴۴۴ در اولویت دوم قرار دارد. ۶ سی سی با وزن ۰/۰۸۲ از کمترین اولویت برخوردار است. همچنین ضریب سازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۳۳ بدست آمده است که چون کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

تعیین اولویت زیرمعیارهای بهینه شاخص وزن به حجم

زیرمعیارهای زمان شامل دانسیته ۱۰ (S21)، دانسیته ۲۰ (S22)، دانسیته۳۰ (S23)، دانسیته ۴۰ (S24) و دانسیته ۵۰ (S25) هستند. نتایج حاصل از مقایسهٔ زوجی زیرمعیارهای پارامتر وزن به حجم در شکل۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- تعیین اولویت زیرمعیارهای بهینه شاخص وزن به حجم

براساس بردار ویژه بدست آمده بیشترین اولویت مربوط به شاخص ۵۰ دانسیته با وزن ۰/۳۹۵ است. شاخص ۳۰ دانسیته با وزن نرمال ۰/۲۱۱ در اولویت دوم قرار دارد. ۲۰ دانسیته با وزن ۰/۰۸۸ از کمترین اولویت برخوردار است. همچنین ضریب سازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۳۳ بدست آمده است که چون کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

نتایج طراحی آزمایشات تاگوچی

معادن مورد مطالعه ده معدن سیلیس استان زنجان واقع در شهرستان ابهر بوده که از هر معدن ۵۰ نمونه اولیه بصورت سیستماتیک دریافت و آزمایشات با دستگاه جذب اتمی و **pH** متر برای مشخص شدن پارامترهای مورد نظر خبرگان انجام و از ۱۰ معدن جامعه مورد مطالعه ۳ معدن طبق جدول ۶ ویژگی لازم راداشته و برای ۷ معدن آزمایشات ۴ گانه طراحی شده (تاگوچی) را برای افزایش کیفیت که مجموعا ۱۴۰۰ آزمایش را دربرمیگرفت انجام گردید.

جدول۶- معادنی که واجد ویژگی های لازم جهت طراحی آزمایشات نبودند

ردیف	نام معدن	شهرستان-استان
۱	ترکانده	ابهر-زنجان
۲	کلنگرز	ابهر-زنجان
۳	چنگوری	ابهر-زنجان

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

درک نظری پیش بینی و بهبود کیفیت ماسه سیلیسی در صنعت ریخته گری میتواند منجر به تولید محصول

با کیفیت شود. با شناسایی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی مؤثر بر کیفیت ماسه سیلیسی، (همانند کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، مقدارسیلیس، ADV و pH) میتوان کنترل و مدیریت بهینه تری بر کیفیت محصول را ارائه کرد.کاهش عناصر مزاحم در ترکیب ماسه های سیلیسی بر کیفیت آن اثرگذار است بدین منظور معمولا فرآیند های شیمیایی به شکلی طراحی می شود که عناصر مزاحم را کاعش و عناصر مطلوب را به مقدار استاندارد نزدیک نماید ، باتوجه به کمی بودن شاخص های فرآیند میتوان انتظار داشت که نتایج آزمایش از دقت بالایی برخوردار باشد.

در این پژوهش ۱۰ معدن سیلیس مورد مطالعه قرار گرفت،۳ معدن به علت مطلوب بودن شاخص های کیفی از فرایند آزمایشات کنار گذاشته شدند ، سپس طراحی آزمایشات به روش تاگوچی برای معادن باقی مانده انجام شد. از میان عوامل اثرگذار در آزمایشات نیز ۳ عامل اسید، زمان و نسبت وزن به حجم (مخلوط ماسه و آب) به عنوان عوامل با بیشترین اثر گذاری در میان عوامل دیگر رتبه بندی شده بودند. این آزمایشات برای هر نمونه معدنی به صورت ۴گانه صورت گرفت که در هر حالت عوامل مورد آزمایش شرایط خاصی داشتند. نتایج حاصله نشان می دهد با در نظر گرفتن کلیه شاخص ها در دو ۱-حالت بیشترین بهترین است و یا ۲-کمترین بهترین است ۳ عامل مورد نظر در آزمایشات یعنی اسید،زمان و حجم ماسه به آب در کلیه نمونه های معادن مورد مطالعه، به ترتیب اسید، زمان و حجم دارای بالاترین اثرگذاری جهت کاهش عناصر مزاحم و افزایش ویژگی های مورد نظر خبرگان را دارا می باشند. به جهت غنی سازی مطالعات در این زمینه میتوان موارد ذیل را پیشنهاد نمود:

-نظارت و کنترل منظم عوامل حیاتی: دست اندرکاران صنعت باید نظارت و کنترل عناصر قلیایی خاک (کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم) و سایر عوامل کلیدی شناسایی شده در مطالعه (مقدار سیلیس، ADV، pH) را در اولویت قرار دهند. اجرای یک سیستم نظارت قوی و ایجاد اقدامات کنترلی به حفظ سطوح بهینه این عوامل کمک می‌کند و از تولید ماسه سیلیسی با کیفیت و پایدار اطمینان می‌دهد.

-بهینه سازی پارامترهای فرآیند: مطالعات آینده باید بر روی بهینه سازی پارامترهای فرآیند مانند اسیدیته، زمان و نسبت وزن به حجم تمرکز کنند. با تنظیم و کنترل دقیق این پارامترها، تولیدکنندگان می توانند کیفیت ماسه سیلیسی را افزایش دهند. انجام آزمایش‌ها با استفاده از روش تاگوچی و تجزیه و تحلیل نتایج، بینش‌های ارزشمندی را در مورد مقادیر بهینه این پارامترها برای بهبود نتایج کیفیت ارائه می‌دهد. در این جهت می توان استفاده از سایر اسیدها مقرون به صرفه صنعتی و یا استفاده از چند پارامتر قابل کنترل دیگر (که توسط خبرگان پیشنهاد داده می شود) را مورد مطالعه قرار داد .

-همکاری با مؤسسات تحقیقاتی: همکاری بین دست اندرکاران صنعت و مؤسسات تحقیقاتی می تواند

نوآوری و تبادل دانش را تقویت کند. ایجاد مشارکت و مشارکت در پروژه‌های تحقیقاتی مشترک می‌تواند اجرای تکنیک‌ها و متدولوژی‌های پیشرفته را تسهیل کند و منجر به پیشرفت در پیش‌بینی کیفیت و بهبود در صنعت ریخته‌گری شود.

–آموزش مداوم و توسعه مهارت: با توجه به ماهیت پویای صنعت ریخته‌گری و پیشرفت‌های فناوری، باید مواد ورودی بر اساس شاخص هر واحد تولیدی به شاغلین آموزش مداوم داده شود تا توسعه مهارت فردی در حین آزمایش به ثبات کیفیت ماسه های سیلیسی مورد استفاده منتهی گردد.

–استفاده از سایر روشهای تصمیم گیری مانند تاپسیس فازی که یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب بهترین گزینه براساس فاصله فازی از ایده‌آل‌های مثبت و منفی میباشد میتواند در رتبه بندی بهنر عوامل و در نهایت به تاثیر گذار بودن آنها کمک نماید.

منابع و مآخذ

Aloudat, m. (2006). A methodology for quality conformance analysis and prediction (vol. 68)
Anderson, m. j., & whitcomb, p. j. (2016). Rsm simplified: optimizing processes using response surface methods for design of experiments: productivity press.
Antony, j. (2006). Taguchi or classical design of experiments: a perspective from a practitioner. Sensor review, 26(3), 227-230.
Bahrami, a. r., golbabai, f., mahjub, h., qorbani, f., aliabadi, m., & barqi, m. (2008). Determination of exposure to respirable quartz in the stone crushing units at azendarian-west of iran. Industrial health, 46(4), 404-408. (persian)
b, a. (2014). On the effect of triz training on the entrepreneurship spirit enhancement. Journal of new approaches in educational administration, 5(17), 153-174.
Chang, d.-y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy ahp. European journal of operational research, 95(3), 649-655.
Davis, r., & john, p. (2018). Application of taguchi-based design of experiments for industrial chemical processes. Statistical approaches with emphasis on design of experiments applied to chemical processes, 137.
De hoyos-lopez, m., perez-aguilar, n. v., & hernandez-chavero, j. e. (2017). Imaging of silica sand to evaluate its quality to use it as foundry core sand. International journal of metalcasting, 11, 340-346.
Durakovic, b. (2017). Design of experiments application, concepts, examples: state of the art. Periodicals of engineering and natural sciences, 5
Götze, j., & möckel, r. (2012). Quartz: deposits, mineralogy and analytics: springer.
Graupe, d. (2013). Principles of artificial neural networks (vol. 7): world scientific.
Guharaja, s., noorul haq, a., & karuppannan, k. (2006). Optimization of green sand casting

process parameters by using taguchi’s method. The international journal of advanced manufacturing technology, 30, 1040-1048.
Hafeez, f., hussain, s., ahmad, w., & jahanzaib, m. (2020). Optimisation of sand casting process for impeller using taguchi. (persian)
Karna, s. k., & sahai, r. (2012). An overview on taguchi method. International journal of engineering and mathematical sciences, 1(1), 1-7.
Köksal, g., batmaz, i., & testik, m. c. (2011). A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry. Expert systems with applications, 38(10), 13448-13467
Unal, r., & dean, e. b. (1990). Taguchi approach to design optimization for quality and cost: an overview. Paper presented at the 1991 annual conference of the international society of parametric analysts.
Yu, l. x., amidon, g., khan, m. a., hoag, s. w., polli, j., raju, g., & woodcock, j. (2014). Understanding pharmaceutical quality by design. The aaps journal, 16, 771-783.

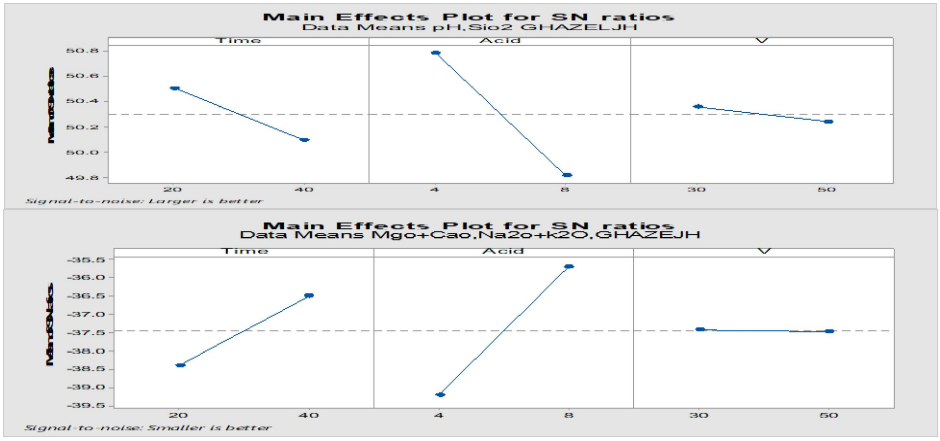
ضمائم

نتایج جدول طراحی چهارگانه تاگوچی

مجموع هر شاخص در جداول،به صورت جداگانه و برای هر معدن با نرخ میانگین داده های مرکزی به شرح ذیل است:

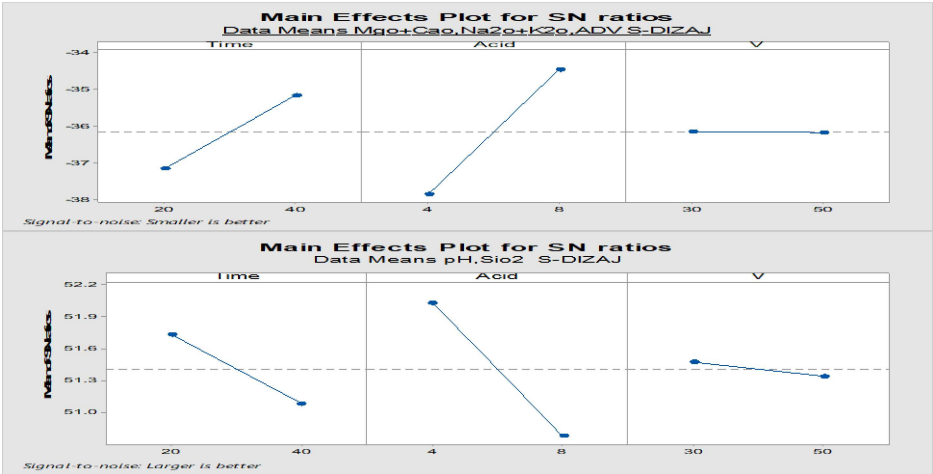
الف) معدن قزلجه

SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	Ph
4770.74	30.28	31.48	170.42	252.59
4808.24	26.45	26.73	111.99	222.88
4795.74	28.36	28.56	136.33	237.73
4820.74	24.91	24.89	87.64	215.45



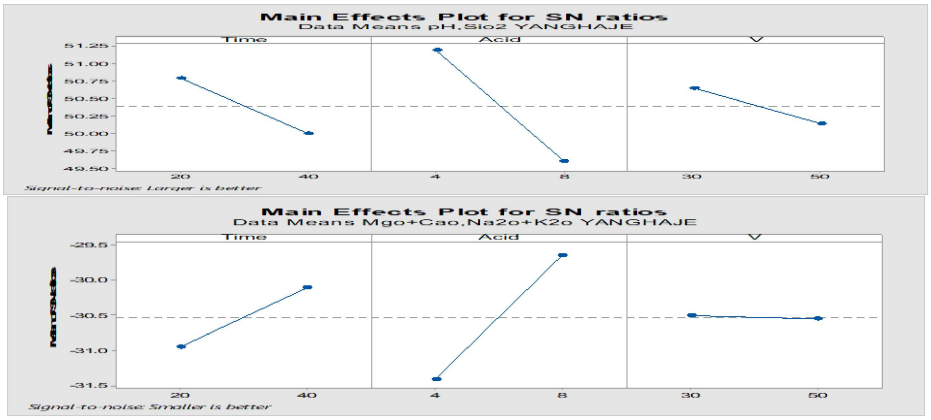
ب)معدن سرخه دیزج

SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	Ph
4774.98	33.42	35.36	143.72	296.22
4799.98	29.10	33.73	92.72	252.33
4789.98	32.24	34.54	111.26	270.62
4804.98	27.92	32.11	69.54	237.71



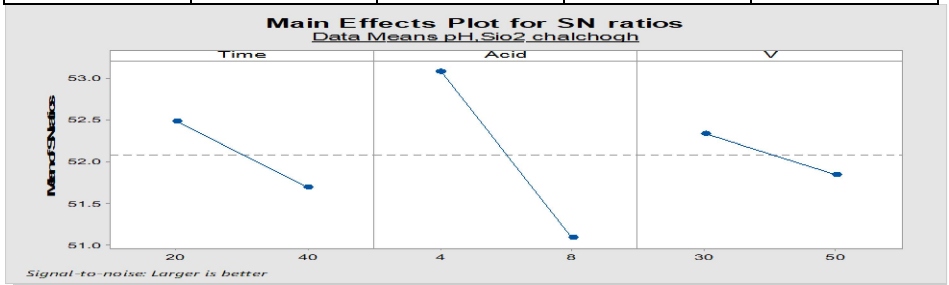
پ)معدن ینگجه

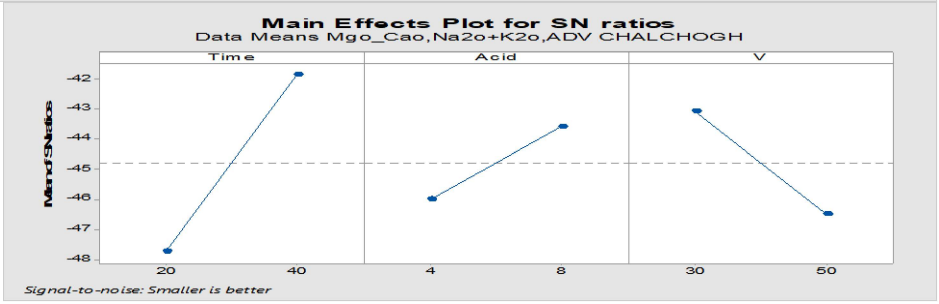
SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	Ph
4786.02	23.89	23.53	58.55	276.97
4811.02	20.43	20.07	47.40	217.37
4800.02	22.16	22.14	52.97	238.41
4814.52	16.27	15.57	44.61	210.36



ت)معدن چالچوق

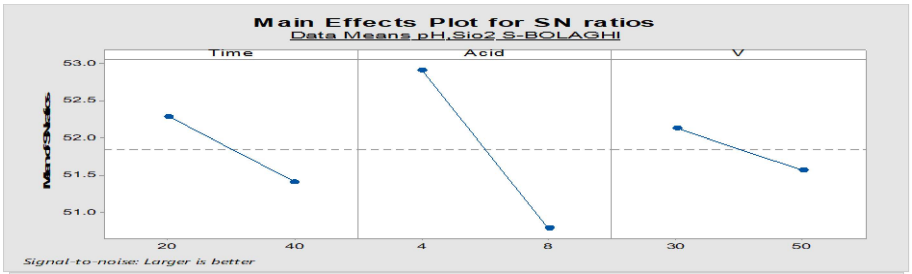
SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	pH
4792.37	30.40	28.77	395.84	344.30
4823.37	27.47	26.25	445.32	258.23
4812.87	29.30	28.41	296.88	296.96
4828.87	26.37	24.45	148.44	249.62

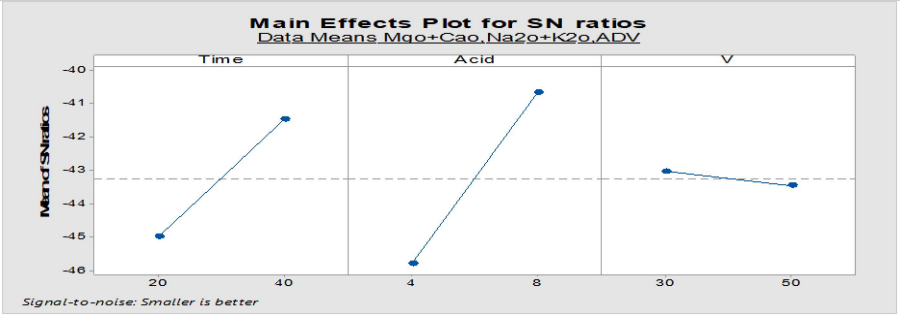




ج)معدن شاه بلاغی

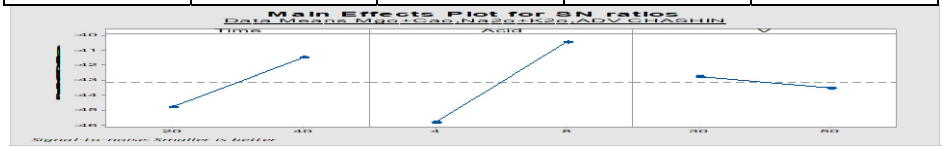
SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	pH
4808.25	31.70	35.00	400.52	339.80
4839.75	29.46	32.25	230.60	249.48
4830.75	30.95	33.43	279.15	288.19
4844.75	28.71	31.07	142.88	240.87

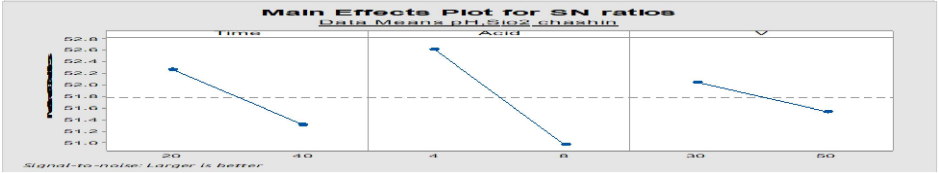




چ)معدن چشین

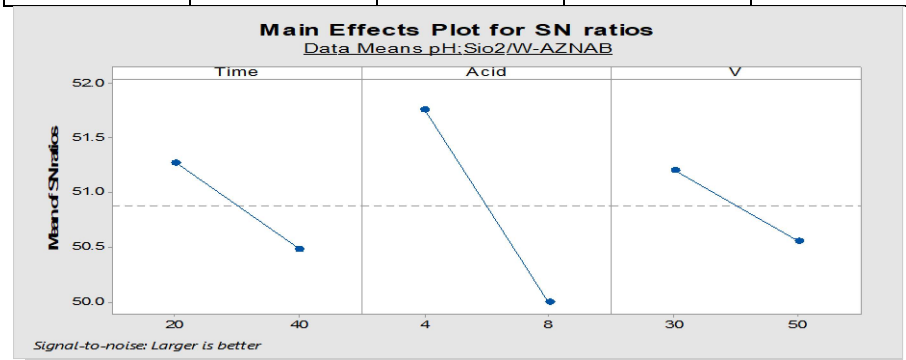
SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	pH
4812.03	31.37	33.98	390.14	329.44
4847.03	30.22	31.98	226.53	256.70
4837.03	30.98	33.18	289.46	278.10
4857.03	28.31	30.38	138.44	243.87

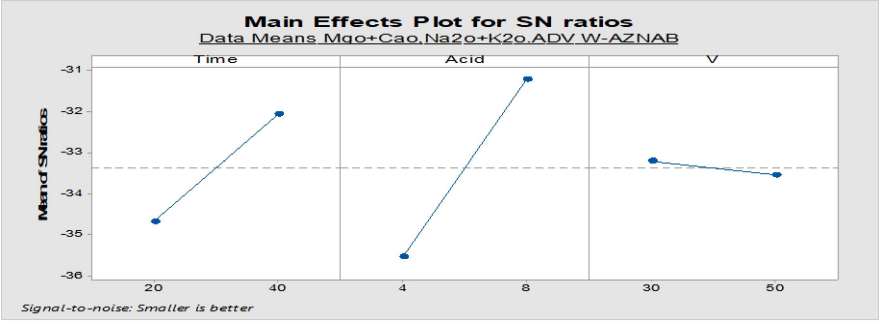




ح)معدن غرب ازناب

SiO2	K2o+Na2o	Cao+Mgo	ADV	PH
4828.19	31.73	29.25	109.92	298.26
4863.19	30.59	27.53	62.29	225.61
4853.19	31.35	28.22	80.61	252.38
4873.19	28.71	25.81	36.64	221.79





Investigating the increase in the quality of foundry silica sands (AFS150 group) through the design of Taguchi experiments (Study case of silica mines in Abhar city)

Gholamhosein Baghban[1] , Abbas Raad[2] , Hasan Farsijani[3], Davood Talebi[4]

Abstract

The qualitative evaluation of the products of organizations and economic enterprises in order to achieve a sustainable strategy and increase the sales share in the competitive market is one of the most important strategic plans of any company. Silica sand is one of the most widely used materials in the industry, especially in the casting industry. The purpose of this study is to predict the increase in quality for silica sands of foundry industries from the data obtained from the laboratory based on the design of experiments using the Taguchi method. In this research, based on the research literature and expert interviews, the Delphi technique was used to identify the investigated components, and the fuzzy AHP decision-making method was used to select the indicators effective in increasing the quality. Therefore, in this section, the ranking of these indicators will be discussed. And finally, by using the design of experiments by Taguchi method on two levels, it was determined that the indicators of acid, time, and weight-to-volume ratio have a significant effect in order to increase the quality.

Keywords: silica mines, experiment design, Taguchi

[1] Ph.D Student, Department of Industrial Management, School of Management, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. baghban.ksk@gmail.com.

[2] Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, University Shahid Beheshti, Tehran, Iran. a-raad@sbu.ac.ir.

[3] Associate Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, University Shahid Beheshti, Tehran, Iran. H-Farsi@sbu.ac.ir.

[4] Assistant Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, University Shahid Beheshti, Tehran, Iran. d-talebi@sbu.ac.ir.