چگونگی بهبود کیفیت محصول با استفاده از تکنیک طراحی آزمایشها(DOE)، (مطالعه موردی بر روی آجر MgO-C درشرکت فراورده‌های نسوز پارس)

هایده متقی[1*]، مژده ربانی[2]

۱- استادیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد، تهران، ایران

دریافت: ۸۵/۲/۲۷ پذیرش: ۸۶/۸/۲۷

چکیده

امروزه کیفیت محصولات تولیدی کارخانجات صنعتی، به مسأله‌ای چالش‌آفرین برای سهم بازار آنها در دنیای رقابتی تبدیل شده‌است. روش طراحی آزمایشها به عنوان یکی از روشهای بهبود کیفیتی نوین، با انجام طرحهای آزمایشی، مهمترین عوامل مؤثر بر کیفیت محصول را شناسایی و سطوح بهینه آنها را تنظیم می‌کند. در این میان، طرحهای کسری عاملی در طراحی آزمایشها، به دلیل کاهش تعداد آزمایشها، ارجحیت دارند. تاکنون در ایران از طرحهای تاگوچی که زیرگروه طرحهای کسری هستند، به دلیل سادگی تحلیلشان استفاده شده‌است، اگرچه این طرحها قابلیت تفکیک آثار متقابل عوامل را نداشته‌اند. در این مقاله، طرحهای کسری با درجه تفکیک بالای آثار اصلی و متقابل، در قالب مطالعه موردی در زمینه کیفیت محصول آجر دیرگداز در شرکت فراورده‌های نسوز پارس معرفی شده‌اند. در این راستا، طرح 2^{5-1}_{V} با درجه تفکیک بالای V، طراحی و پیاده شده‌است. نتایج نشان دادند که تنظیم وکنترل آثار اصلی و متقابل در سطوح بهینه، امکان تولید محصول در حداقل زمان تولید و افزایش مشخصه کیفیتی محصول به میزان ٤١ درصد را به وجود می‌آورد.

واحدهای تحقیقات وتوسعه می‌توانند با اجرای طرحهای کسری با درجه تفکیک مناسب و تجزیه وتحلیل آثار اصلی و مخصوصاً آثار متقابل، منجر به ارتقای کیفیت محصولات کشور شوند.

---

*نویسنده مسؤول مقاله: E-mail:hydehm@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

کلید واژه‌ها: ارتقای کیفیت، طراحی آزمایشها، طرحهای عاملی کسری، آثار اصلی و متقابل.

۱- مقدمه

امروزه مقوله کیفیت، به یکی از اهرمهای کلیدی تولید تبدیل شده و توانسته با به کارگیری تکنیکهای کنترل کیفیت آماری فرایند(SPC)[۱] نمونه‌گیری جهت پذیرش و طراحی آزمایشها (DOE)[۲]، مزیتی رقابتی برای شرکتهای تولیدی کسب کند.

روش طراحی آزمایشها یکی از روشهای نوین آمار کاربردی است که به وسیله آن می‌توان متغیرهای کلیدی را که بر مشخصه کیفی مورد نظر فرایند اثر می‌گذارند شناسایی کرد. با به کارگیری این روش می‌توان عاملهای ورودی قابل کنترل را به طور سیستماتیک تغییر داد و آثار آنها را بر روی پارامترهای محصول خروجی ارزیابی کرد. آزمایشهایی که به طور آماری طراحی گردند می‌توانند به مقدار قابل توجهی از میزان تغییرات در مشخصات کیفی بکاهند و همچنین سطوح متغیرهای قابل کنترل را که باعث بهینه‌کردن عملکرد فرایند می‌گردند تعیین کنند. طراحی آزمایشها یکی از عمده ترین ابزارهای کنترل کیفیت قبل از تولید[۳] است که غالباً در فعالیتهای تحقیقات و توسعه و در مراحل اولیه تولید به کار می‌رود، در حالی که روشهای کنترل فرایند در حین تولید و در زمان تولید[۴] محصول استفاده می‌گردند.

زمانی که متغیرهای مهم شناسایی شدند و ارتباط موجود بین متغیرهای مهم و مدل خروجی فرایند آزمایش گردید، می‌توان از روش کنترل فرایند آماری حین تولید جهت نظارت بر فرایند به طور مؤثر استفاده کرد. نمودارهای کنترل را همچنین می‌توان به منظور تهیه بازخورد برای اپراتورها و مهندسان جهت کاهش تغییرپذیری فرایند استفاده کرد.

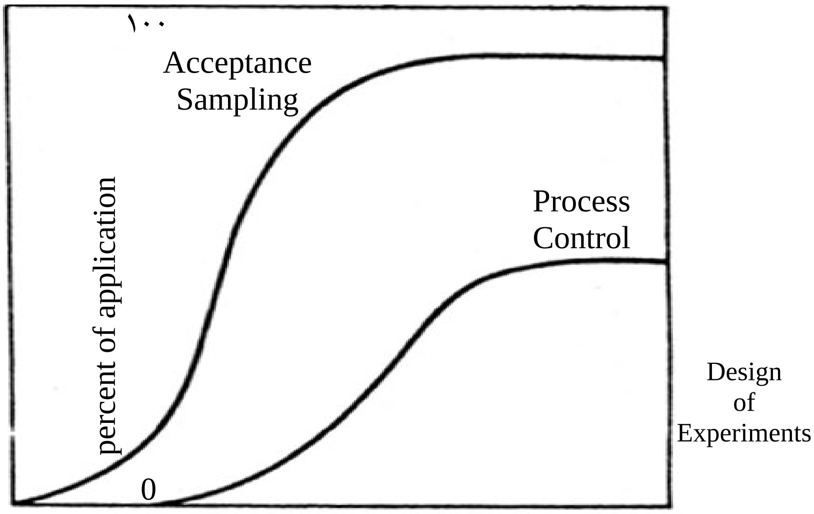
شکل۱ مراحل تکامل این روشها را در سازمانهای تولیدی نشان می‌دهد[۱،ص۱۸]. در پایینترین مرحله تکامل، مدیریت اغلب در مورد مسائل کیفیت اطلاع و آگاهی ندارد و احتمالاً هیچ گونه فعالیت مؤثر و سازماندهی شده‌ای در زمینه تضمین کیفیت وجود نخواهد داشت. با

1. Statistical Process Control
2. Design of Experiment
3. Off Line Quality Control
4. On Line Quality Control

Archive of SID

www.SID.ir

این حال، گاهگاهی به میزان نسبتاً کم از روشهای نمونه‌گیری جهت پذیرش برای بازرسی مواد ورودی استفاده می‌گردد. با رشد سازمان، فعالیتهای بازرسی افزایش می‌یابد. روش نمونه‌گیری جهت پذیرش تا زمانی که پی برده شود که دیگر نمی‌توان به وسیله بازرسی، کیفیت محصولات را افزایش داد، استفاده می‌شود[۱،ص۱۷].



شکل ۱ نمودار استفاده از روشهای مهندسی کیفیت [۱٦، ص۱۸]

درمیان سه روش بهبود کیفیت، استفاده از طراحی آزمایشها(DOE) در کنار کنترل فرایند آماری باعث خواهد شد تا تغییرپذیری فرایند به حداقل میزان خود برسد و در نتیجه، محصولات تولید شده فاقد هر گونه عیب گردند. شکل۲ این ارجحیت را نشان می‌دهد [۱،ص۱۹].

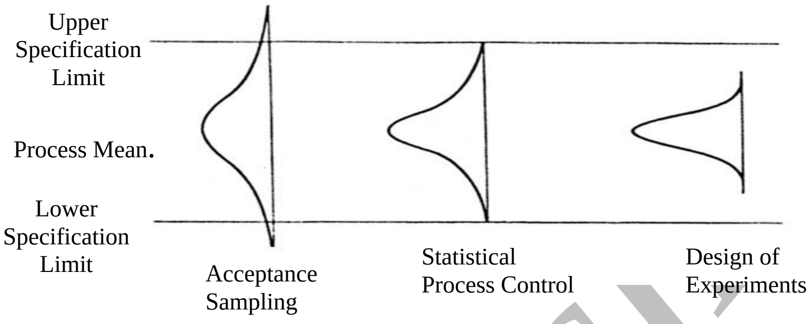
روش طراحی آزمایشها(DOE)) به عنوان روشی که در مراحل اولیه و طراحی، بسیاری از هزینه‌ها را کاهش می‌دهد، با بررسی همزمان آثار اصلی و متقابل[1] متغیرهای مستقل، متغیر خروجی مشخصه کیفی را بهینه می‌کند و در نهایت متغیرهای کلیدی مؤثر بر مشخصه کیفی و سطوحی از آنها را که منجر به بهینه شدن فرایند شده‌اند مشخص می‌کند، مزیت

1. Main & Interaction Effect

Archive of SID

www.SID.ir

رقابتی را برای صنایع به ارمغان آوردهاست[۱،ص۲۰].



شکل۲ کاربرد روشهای بهبود کیفیت و کاهش سیستماتیک تغییرات فرایند [۱٦، ص۱۹]

۲- پیشینه تحقیق

در این قسمت به تحقیقات گذشتگان در زمینه تکنیک DOE به صورت کلی و طرحهای آزمایش کسری به صورت خاص اشاره شدهاست.

بت[1] (۱۹۹۲) در تحقیقات خود نشان داده شرکتهایی که برای بهبود محصولات، سهم بازار، سود و بازگشت سرمایهشان اشتیاق نشان میدهند از اصول مدیریت کیفیت کمک میگیرند و DOE ابزار قدرتمندی در بهبود کیفیت است [۲،ص۲۳۱]. پینکرتن[2] (۱۹۹۳) نشان داده که DOE راهی برای دستیابی کیفیت در کلاس جهانی است[۳،ص۵۱]. کندا، راجورکار، بیشا، گوها و پارسون[3] (۱۹۹۹) در تحقیقات خود نشان دادهاند که DOE ابزاری کیفیتی است که در مباحثی چون کشف عوامل معنادار در فرایند، تأثیر هر عامل بر خروجی، واریانس(پراکندگی) فرایند، عیبیابی مشکلات ماشین، بررسی و نمایش پارامترها و مدلسازی فرایند به کار میرود و بسیاری از صنایع از DOE برای باقی ماندن در دنیای رقابتی به وسیله طراحی محصول پایدار[4] با قابلیت اطمینان[5] بالا استفاده میکنند و اثر چندین متغیر را به صورت همزمان و همچنین ارتباطات وتعاملات بین متغیرها را بررسی میکنند؛ کاری که

1. Bhote
2. Pinkerton
3. Konda, Rajurkar, Bisha, Guha and Parson
4. Robust
5. Reliability

www.SID.ir

سایر تکنیکهای آماری با حجم پایین مورد نیاز درDOE قادر به انجام آن نیستند[٤،ص٥٦]. آنتنی[1] (۲۰۰۱) بهبود کیفیت فرایند ساخت و تولید از طریق DOE را درقالب مطالعه موردی[2] نشان داد[٥،ص٨١٢]. وی به همراه گروهی از مهندسین واحد تضمین کیفیت (۲۰۰٤) در تحقیقات خود نشان داد بهبود کارایی فرایند[3] و همچنین کاهش هزینه‌های کیفیتی همچون ضایعات، دوباره‌کاری و سایر هزینه‌های شکست از طریق تکنیک DOE قابل بررسی است[٦،ص٤٤٧]. ککس و ردمن[4](۲۰۰۷) DOE را به عنوان یکی از ابزارهای فلسفه کیفیتی شش سیگما[5] در مرحله بهبود[6] از چرخه DMAIC[7] معرفی کرده‌اند[٧،ص٤٤]. در ادامه واتسن[8] (۲۰۰۷) DOE را به عنوان راهی برای مدیریت تحول[9] در شش سیگما ارائه داده‌است[٨،ص٤٠]. چو، لیندرمن و اسکرودر[10] (۲۰۰۷) نیز در تحقیقات خود از روش DOE برای خلق دانش در قلمرو کیفیت استفاده کرده‌اند [٩،ص٩١٨].

در میان طرحهای DOE، طرحهای عاملی کامل[11] طرحهایی هستند که در آنها در هر آزمایش، تمام ترکیبهای ممکن سطوح عوامل بررسی می‌شوند. این طرحها امکان بررسی آثار اصلی و آثار متقابل عوامل را به وجود می‌آورند. این طرحهای عاملی کاملa^k، قابلیت آزمایش k عامل در a سطح را دارند، اما واحدهای تحقیقاتی وآزمایشگاهی، به دلیل محدودیت زمان، مواد و تجهیزات باید از حداقل اجرا در آزمایشها استفاده کنند. بدین منظور، امروزه طرحهای عاملی کسری[12]، به تازه‌ترین مقوله به منظور افزایش کارایی تبدیل شده‌اند. در این طرحها برای هر عامل تنها دو سطح تست می‌شود، یعنی طرحهای2^k با k عامل و ۲ سطح. در نهایت به منظور کاهش هر چه بیشتر تعداد اجرا، طرحهای عاملی کسری2^{k-p}، با k-p عامل و ۲ سطح، پیاده خواهند شد[١،ص٧٠٦]. درویگا و ایچمن[13](۱۹۹۷) از طرح کسری 2^{7-4} با درجه تفکیک پایین III به منظور بررسی قابلیت اطمینان تولید تراشه‌های کامپیوتری در تستهای

1. Antony
2. Case Study
3. Process Capability
4. Cox and Redman
5. 6 Sigma
6. Improve
7. DMAIC(Define, Measure, Analyze, Improve, Control)
8. Watson
9. Change Management
10. Choo, Linderman and Schroeder
11. Full Factorial Design
12. Fractional Factorial Design
13. Drwiga and Eichman

Archive of SID

www.SID.ir

مخرب استفاده کرده‌اند[۱۰،ص۴۸۹]. قماشچی، رید واسپوزیک[1] (۱۹۹۷) به منظور بررسی عوامل مؤثر بر سایش سطح پوشش، از طرح عاملی[3]۲ بلوک‌بندی‌شده به علت گونه‌گونی مواد اولیه استفاده کرده‌اند[۱۱،ص۱۳۴]. داس، مندال و پراساد[2](۱۹۹۸) در تحقیقات خود به مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پوشش یک ترکیب آلیاژ آلومینیوم از طریق طرح آزمایشی تک تکراری [3]۲ پرداخته‌اند[۱۲،ص۵]. بوسکالیا، لیمایتر و نانی[3] (۲۰۰۰) از طرح عاملی کسری [۶-۲]۲ با درجه تفکیک IV به منظور بررسی ترکیبات مختلف BaTiO3 استفاده کرده‌اند[۱۳،ص۳۱۶]. دیجن، کسک ورکاک[4](۲۰۰۲) به بررسی آثار مؤثر بر ویسکوزیته و چگالی لایه ZnO با به کارگیری طرح تک تکراری [3]۲ها پرداخته‌اند[۱۴،ص۳۹۴].

با توجه به اهمیت به کارگیری DOE در بهبود کیفیت، دراین تحقیق در چارچوب مطالعه موردی در واحد تحقیقات شرکت فراورده‌های نسوز پارس، کیفیت یکی از محصولات آن به نام آجرهای نسوز MgO-C [5] با پیاده سازی تکنیک طراحی آزمایشها(DOE) و اعمال طرح کسری با درجه تفکیک بالای V بهبود داده شده‌است.

۳- روش تحقیق

روش تحقیق در اینجا از نوع پیمایشی[6] و موردکاوی[7] است، بدین ترتیب که برای پیمودن سه گام اولیه تکنیک طراحی آزمایشها DOE، از تحقیق پیمایشی استفاده شده و در چهار گام بعدی به شکل کاربردی[8] و موردکاوی تبدیل شده‌است که این هفت گام تکنیک طراحی آزمایشها DOE به ترتیب زیراست:

گام۱. شناسایی و بیان مسأله؛

گام۲. انتخاب عوامل و سطوح؛

گام۳. انتخاب متغیر پاسخ؛

گام۴. انتخاب طرح؛

---

1. Ghomashchi., Reid and Spuzic
2. Das, Mondal and Prasad
3. Buscaglia, Lemaitre and Nanni
4. Degen, Kosec and Rocak

۵. این آجر دیرگداز، از دو فاز منیزیا MgO و کربنC تشکیل شده است.

6. Survey
7. Case Study
8. Action Reserch

Archive of SID

www.SID.ir

گام۵. انجام آزمایش؛

گام٦. تحلیل داده‌ها؛

گام۷. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد.

جامعه آماری این تحقیق، شرکت فراورده‌های نسوز پارس واحد تحقیق و توسعه است که در آن، گروه آجرهای منیزیت گرافیت (MgO-C) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نمونه‌های آزمایشی به منظور استفاده از طرح عاملی کسری ۲^{k-p} که در آن k، ۵ عامل و p، عدد۱ به معنای کسر۱/۲ (به دلیل محدودیت مواد، زمان و امکانات)یعنی طرح $۲^{۵-۱}$ با ۱٦ نمونه‌اند.

ابزار گردآوری اطلاعات، چک لیست و نمودار استخوان ماهی است.

اینک با توجه به مطالعه موردی انجام گرفته در صنعت دیرگدازها، به شرح ۷ گام می‌پردازیم.

گام اول : شناسایی و بیان مسأله

باتوجه به اینکه قسمت اعظم محصولات شرکت، یعنی ٦۳ درصد آجرها در شرکت فرآورده‌های نسوز پارس را آجرهای نسوز MgO-C به خود تخصیص داده‌اند که جزء محصولات نسبتاً مرغوب شرکت نزد مشتریان صنایع فولاد آنها شناخته شده‌اند، در این پروژه، کیفیت این گروه از آجرها به عنوان جامعه آماری تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

گام دوم : انتخاب عوامل و سطوح

خواص یک دیرگداز متأثر از چند عامل مهم است که کنترل هر یک از آنها در خواص نهایی دارای اهمیت است. مواد اولیه و فرایند تولید از مهمترین این عوامل هستند[۱۵،ص۱٦٦]. مگنزیا، گرافیت، بایندر(رزین) و هگزامین مواد اولیه آجرهای MgO-C هستند و فرایند تولید آن بدین ترتیب است که مگنزیا پس از خرد شدن و دانه‌بندی توسط سرندها در سیلوهای خط تولید نگهداری می‌شود. پس از آن، طبق برنامه تولید، سطوح مختلف دانه‌بندی آن در درصدهای معین و مقادیر مورد نیاز تولید محصول وزن می‌شوند. ابتدا دانه‌بندیهای درشت مگنزیا وارد میکسرها که عملیات مخلوط‌کردن را انجام می‌دهند، می‌شوند. پس از آن، رزین و افزودنیها اضافه می‌شوند و در نهایت گرافیت و مگنزیا در سطح پودر وارد میکسرها می‌شوند. پس از اتمام عملیات مخلوط‌کردن، نوبت به پرس مخلوط نهایی می‌رسد. به این

Archive of SID

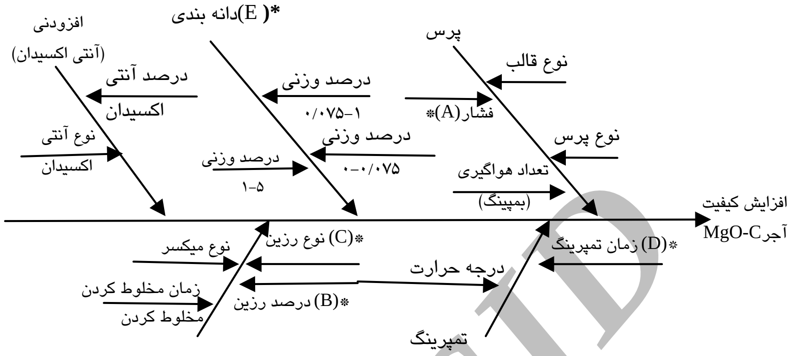
www.SID.ir

مرحله، عملیات فرمدهی نیز گفته می‌شود. در نهایت آجرهای پرس‌شده تحت عملیات تمپرینگ[1] قرار می‌گیرند. در این مرحله، واکنش بین رزین و هگزامین(افزودنی) انجام می‌گیرد و آجر به استحکام نهایی می‌رسد و برای بازرسی به عنوان محصول نهایی آماده می‌شود.

در این مرحله، با استفاده از روش توفان مغزی[2] عوامل بهبوددهنده فرایند در حیطه مواد اولیه و فرایند تولید آجرهای MgO-C شناسایی شدند و مطابق شکل۳ در نمودار استخوان ماهی[3] ترسیم گردیدند و پس از آن، واحد تحقیقات با توجه به محدودیتها و شرایط تولید، عوامل قابل کنترل و حداکثر و حداقل سطوح قابل تنظیم را مطابق جدول۱ مشخص کرد. عامل فشار(Press) با توجه به استقامت قالبهای آزمایشگاه در محدوده قابل اعمال ۱/۲-۱/۵ انتخاب شده که در حال حاضر خط تولید، به دلیل کاهش فرسودگی قالبها، فشار۱/۲ را اعمال می‌کند. عامل مقدار رزین(Rcontent) در استاندارد کارخانه محدوده۲-۳ درصد را به خود تخصیص داده که کارخانه به منظور صرفه‌جویی در این ماده اولیه از حداقل مقدار پیشنهادی استفاده می‌کند. عامل نوع رزین (Rkind) با دو جنس ایرانی و ترکیه‌ای در کارخانه موجود است که در کارخانه به صورت جایگزین استفاده می‌شود.برای عامل زمان تمپرینگ(Time) از زمان نرمال ۱۵ ساعت استفاده می‌شود، اما در صورت نقص کیفیتی آجرها، تمپرینگ مجدد انجام می‌گیرد که زمان تمپرینگ را به ۳۰ساعت می‌رساند. بنابراین، بازه زمانی ۱۵-۳۰ ساعت انتخاب می‌شود. عامل دانه‌بندی (Grain) در سه سطح ۰-۰/۰۷۵ (پودر)، ۰/۰۷۵-۱(متوسط)و۱-۵ (درشت) قابل تنظیم است که با توجه به پیشنهاد متخصصین واحد تحقیقات، دو دانه‌بندی(۱٦-۲۰-۵۹) و(۱۸-۲۵-۵۲) مورد آزمایش قرار گرفت که دانه‌بندی(۱٦-۲۰-۵۹) درحال حاضر به عنوان استاندارد تولید استفاده می‌شود. در اینجا از درصد پودر، یعنی۱٦-۱۸ درصد، به منظور نمایش این دو سطح استفاده شده‌است. البته این ۵ عاملA-E با توجه به قابلیتهای واحد تحقیقات کارخانه در کنترل آنها، از بین عوامل شناسایی‌شده در نمودار استخوان ماهی انتخاب شدند.

1. Tempering
2. Brain Storming
3. Fish-bone

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳ تعیین عوامل انتخابی در نمودار علت معلولی(استخوان ماهی)

جدول۱ سطوح عوامل

عامل	+(سطح بالا)	-(سطح پایین)
فشار(A)،Press	۱/۵	۱/۲
مقدار رزین (B)، Rcontent	٪۳	٪۲
نوع رزین (C)، Rkind	Iran	Turkey
زمان تمپرینگ (D)، Time	۳۰H	۱۵H
دانه بندی (E)، Grain	٪۱۸	٪۱۶

گام سوم : انتخاب متغیر پاسخ

استحکام فشاری سرد (*CCS*) [1]، تخلخل ظاهری (AP) [2]، استحکام خمشی سرد (M.O.R) [3]، مقاومت در برابر شوک حرارتی و مقاومت در مقابل سرباره از مهمترین متغیرهای پاسخی هستند که به عنوان مشخصه‌های کیفیتی آجرهای نسوز MgO-C قابل اندازه‌گیری هستند. از

1. Cold Crushing Strength
2. Apparent Porosity
3. Modulus of Rupture

Archive of SID
www.SID.ir

میان تستهای نام برده،CCS از معمولترین تستهایی است که روی آجرهای MgO-C انجام می‌شود و به عنوان فاکتور کیفیتی در کارخانه شناخته شده‌است. به همین علت در این تحقیق با توجه به دقت بالای دستگاههای تست، مشخصه CCS، مقدار فشاری که در دمای اتاق باعث خردشدن آجر می‌شود، به عنوان متغیر پاسخ و مشخصه کیفیتی قابل بهبود انتخاب شده‌است. در این مرحله، فرضیه‌های تحقیق معین شدند و بررسی اثرگذاری عوامل فشار(Press)، مقدار رزین(Rcontent)، نوع رزین(*Rkind*)، زمان تمپرینگ(Time) و دانه‌بندی(Grain) بر روی CCS آجرهایMgO-C به صورت آثار اصلی و متقابل در متن کار قرار گرفت. قابل ذکر است که استاندارد کارخانه، *مقدار*٤٠٠kgf/cm^٢ را حداقل مجاز برای CCS این آجرها تعیین کرده‌است که افزایش آن، منجر به برتری کیفیتی این آجرها در عمل می‌شود.

گام چهارم : انتخاب طرح آزمایش

همان طور که در گام دوم مشخص شد، این طرح دارای ٥ عامل است. به منظور تست عوامل در حداقل تعداد ممکن، سطوح عوامل به ٢ تقلیل داده شده و از آنجا که به منظور تخمین خطا به حداقل ٢ تکرار نیاز است، به طرح آزمایشی $٢^{٥}$ با ٢ تکرار، یعنی ٦٤ اجرا است[١٦،ص٣٤١]. اما با توجه به محدودیت زمان، مواد و تجهیزات، این تعداد در عمل مقدور نست. به همین علت در این پروژه از طرح عاملی کسری $٢^{٥-١}$ تک تکراری با ١٦ اجرا از طرحهای عاملی کسری ٢^{k-p}، استفاده شده‌است. این طرح از درجه تفکیک بالای V برخوردار است[١٦،ص٣٩٨]، یعنی در این درجه تفکیک، هیچ اثر متقابل دو عاملی با هیچ اثر اصلی دیگر یا با اثر متقابل دو عاملی هم اثر نیست. اما اثرهای متقابل دو عاملی با اثرهای متقابل سه عاملی هم اثرند.

طبق اصول پایه‌ای طراحی آزمایشها، ترتیب انجام آزمایش باید به صورت تصادفی باشد و این کار به کمک جداول اعداد تصادفی صورت می‌گیرد[١٦،ص١١]. در جدول ٢، ترتیب تصادفی ١٦ اجرا در ستون *Run* نشان داده شده که علائم+ و − سطوح بالا و پایین عوامل را مشخص کرده‌اند و در نهایت ستون ترکیب تیماری، عواملی را که سطوح بالای آنها تست می‌شوند نشان می‌دهد. در ضمن باید گفت که به سبب همگنی فضای آزمایش از طرح کاملاً تصادفی استفاده می‌شود و به منظور کنترل عوامل دخالت‌کننده، نیازی به اجرای طرحهای بلوک‌بندی شده نیست[١٦،ص١٠]. در ازای کاهش تعداد آزمایشها مربوط به ٥ عامل در دو

www.SID.ir

سطح، یعنی 2^5 یا ۳۲ اجرا به تعداد 2^{5-1} و ۱٦ اجرا، هر اثر دارای یک هم اثر می‌شود؛ بدین معنا که آثار اصلی با آثار متقابل از درجه ٤ وآثار متقابل از درجه ۲ با آثار متقابل درجه۳ هم اثر هستند. براساس اصل تنک بودن اثرها [1] اثرهای متقابل از مرتبه سه به بالا قابل اغماض هستند[۱٦،ص۳۹٤]. بنابراین، این طرح با کارایی بالا، آثار اصلی و اثرهای متقابل مرتبه دوم را مشخص می‌کند.

جدول ۲ ترتیب تصادفی اعمال شده برای اجرای آزمایشها

NO.	*RUN*	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	ترکیب تیماری
۱	۱۳	−	−	+	+	+	*cde*
۲	۷	−	+	+	−	+	*bce*
۳	٥	−	−	+	−	−	*c*
٤	۱٥	−	+	+	+	−	*bcd*
٥	۸	+	+	+	−	−	*abc*
٦	۹	−	−	−	+	−	*d*
۷	۱۱	−	+	−	+	+	*bde*
۸	۱٤	+	−	+	+	−	*acd*
۹	۲	+	−	−	−	−	*a*
۱۰	۱٦	+	+	+	+	+	*abcde*
۱۱	۱۰	+	−	−	+	+	*ade*
۱۲	۱۲	+	+	−	+	−	*abd*
۱۳	۱	−	−	−	−	+	*e*
۱٤	٤	+	+	−	−	+	*abe*
۱٥	٦	+	−	+	−	+	*ace*
۱٦	۳	−	+	−	−	−	*b*

Archive of SID

1. Scarcity of Effect

www.SID.ir

گام پنجم : انجام آزمایش

در این مرحله، با کنترل و دقت زیاد، مطابق با فرایند تولید و سطوح ترکیبات مشخص‌شده در جدول۲، ۱۶ نمونه تهیه شد و در نهایت فاکتور کیفیتی *CCS* آنها اندازه‌گیری شد که به شرح جدول ۳ است.

جدول ۳ نتایج متغیر پاسخ

NO.	Run	Press	Rcontent	Rkind	Time	Grain	CCS
۱	۱۳	۱/۲	٪۲	*Iran*	۳۰	٪۱۸	۳۴۲
۲	۷	۱/۲	٪۳	*Iran*	۱۵	٪۱۸	۵۰۱
۳	۵	۱/۲	٪۲	*Iran*	۱۵	٪۱۶	۱۵۹
٤	۱۵	۱/۲	٪۳	*Iran*	۳۰	٪۱۶	۴۸۸
۵	۸	۱/۵	٪۳	*Iran*	۱۵	٪۱۶	۴۹۷
۶	۹	۱/۲	٪۲	*Turkey*	۳۰	٪۱۶	۳۴۳
۷	۱۱	۱/۲	٪۳	*Turkey*	۳۰	٪۱۸	۵۱۱
۸	۱٤	۱/۵	٪۲	*Iran*	۳۰	٪۱۶	۳۸۹
۹	۲	۱/۵	٪۲	*Turkey*	۱۵	٪۱۶	۲۵۱
۱۰	۱۶	۱/۵	٪۳	*Iran*	۳۰	٪۱۸	۵۶۰
۱۱	۱۰	۱/۵	٪۲	*Turkey*	۳۰	٪۱۸	۳۸۱
۱۲	۱۲	۱/۵	٪۳	*Turkey*	۳۰	٪۱۶	۵۰۰
۱۳	۱	۱/۲	٪۲	*Turkey*	۱۵	٪۱۸	۳۸۰
۱٤	٤	۱/۵	٪۳	*Turkey*	۱۵	٪۱۸	۵۳۳
۱۵	۶	۱/۵	٪۲	*Iran*	۱۵	٪۱۸	۴۰۸
۱۶	۳	۱/۲	٪۳	*Turkey*	۱۵	٪۱۶	۲۰۵

Archive of SID

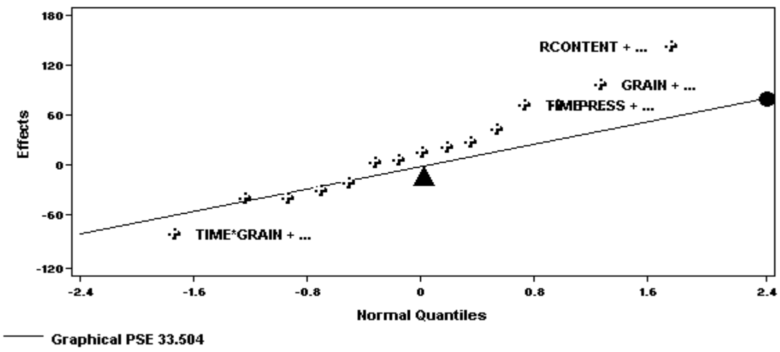
گام ششم : تحلیل داده‌ها

در این مرحله به منظور تحلیل داده‌ها از نرم افزارآماری *SAS* استفاده شده‌است. شکل ٤ نمودار احتمال نرمال آثار(روش دانیل[1](۱۹۵۹)) [۱۶،ص۳٤۱] است که با استفاده از آن، آثار

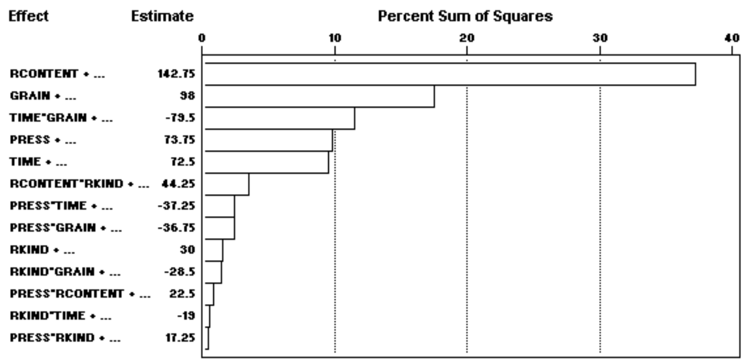
1. Daniel

www.SID.ir

مقدار رزین(rcontent)، دانه‌بندی(*grain*)، ضریب فشار (press)، زمان تمپرینگ (time) و زمان تمپرینگ و دانه‌بندی (time*grain) به عنوان عوامل مؤثر شناسایی شده‌اند. نمودار پارتو در شکل ٥ نیز مؤید این انتخاب است و اثر عوامل محاسبه‌شده به روش یتس[1](۱۹۳۷) را به ترتیب نزولی اثر نمایش داده‌است؛ معنادار بودن اثر متقابل زمان تمپرینگ و دانه‌بندی نشان می‌دهد که عملکرد عامل زمان تمپرینگ بر روی متغیر پاسخ، *CCS*، وابستگی زیادی به سطح عامل دانه‌بندی دارد[١٦، ص٤٠٩].



شکل ۴ نمودار احتمال نرمال آثار



شکل ٥ نمودار پارتو

1. Yates

www.SID.ir

برای این طرح تک تکراری، استفاده از نمودار احتمال نرمال باشد. به دلیل آنکه کلیه عوامل در آزمایشهای فوق دخالت دارند لذا امکان تخمین خطا در تحلیل آنالیز واریانس وجود ندارد. اما در اینجا براساس نمودار دانیل و پارتو عواملی که بیشترین اثر را در کنترل متغیر پاسخ CCS دارند و نزدیک خط قرار نمی‌گیرند، انتخاب شده‌اند و از ادغام آثار سایر عواملی که نزدیک خط هستند و آثار کمی دارند، برآوردی از خطای آزمایشی به دست آمده‌است.

پس از تشخیص عوامل مؤثر توسط نمودارهای دانیل و پارتو، به منظور تأیید معناداربودن اثر عوامل معرفی شده، از تحلیل واریانس استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا کفایت و قابل قبول بودن مدل بررسی می‌شود و لذا به منظور تست مدل نیاز به تحلیل باقیمانده‌ها است. بنابراین، ابتدا نمودار نرمال باقیمانده‌ها، نمودار باقیمانده استاندارد به ترتیب اجرای آزمایشها رسم گردید. نتایج، مؤید نرمال بودن باقیمانده‌ها و استقلال داده‌ها بود.

پس از تأیید کفایت و قابل قبول بودن مدل پیشنهادی، به تحلیل واریانس پرداخته شد. جدول ٤، تحلیل واریانس مدل انتخابی را نشان می‌دهد. این جدول، تأییدی بر نتایج روش دانیل است و اثر معنادار *Rcontent*، *Press*،*Time*،*Grain* ، *Time*Grain* را در سطح خطای α=۰/۰۵ تأیید می‌کند.

با این توضیح که فرض H۰ برای هر یک از عوامل، برابری اثر سطوح آنها با مقدار صفر یا مؤثر نبودن هر یک از عوامل بر روی متغیر پاسخ *CCS* است. آزمون «الف» برای آثار اصلی و آزمون «ب» برای آثار متقابل تست می‌شود.

ب

H۰ : $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{21} = (\alpha\beta)_{22} = 0$

H۱: حداقل یکی از $(\alpha\beta)_{ij}$ ها با صفر برابر نیست

الف

H۰: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$

H۱: حداقل یکی از α_i ها با صفر برابر نیست

در جدول٤، فرضیه H۰ برای عوامل، با Sig <۰/۰۵ رد شده‌است.

Archive of SID

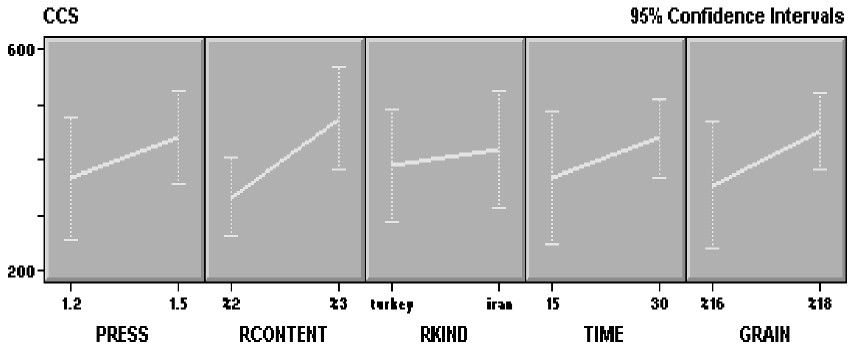
www.SID.ir

جدول ۴ جدول *ANOVA*

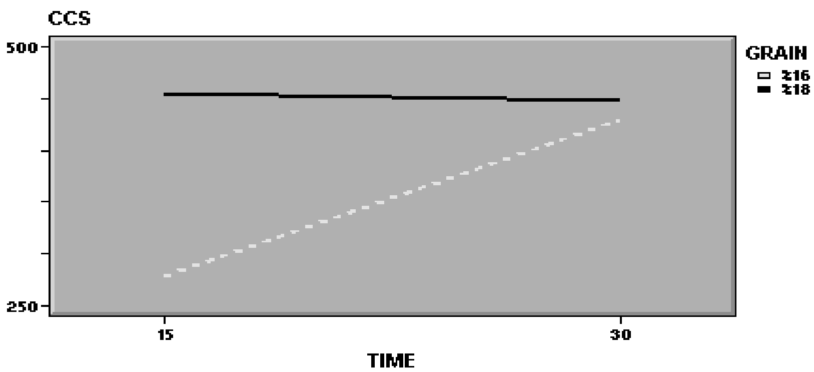
Source	DF	SS	MS	F	Sig
Press	۱	۲۱۷۵٦/۲٥	۲۱۷۵٦/۲٥	۰/۰۸۷۳	۰/۲۳۸
Rcontent	۱	۸۱٥۱۰/۲٥	۸۱٥۱۰/۲٥	۲٦/٥٥۲۷	۰/۰۰۰٤
Grain	۱	۳۸٤۱٦/۰۰	۳۸٤۱٦/۰۰	۱۲/٥۱٤٤	۰/۰۰٥٤
Time*Grain	۱	۲٥۲۸۱/۰۰	۲٥۲۸۱/۰۰	۸/۲۳٥٥	۰/۰۱٦۷
Time	۱	۲۱۰۲٥/۰۰	۲۱۰۲٥/۰۰	٦/۸٤۹۱	۰/۰۲٥۷
Error	۱۰	۳۰٦۹۷/٥	۳۰٦۹/۷٥		
Total	۱۵	۲۱۸٦۸٦/۰			
R-Square =۰.۸۵۹۶۲۸ Adjusted R-square = ۰.۷۸۹۴۴۱					

پس از اینکه عوامل با بیشترین اثر بر روی متغیر پاسخ CCS تعیین شدند، شیوه تأثیر این عوامل معنادار، یعنی اثر اصلی زمان تمپرینگ، پرس، دانه‌بندی، مقدار رزین و اثر متقابل دانه‌بندی و زمان تمپرینگ بر متغیر پاسخ CCS بررسی گردید. در شکل ٦ آثار اصلی نشان داده شده‌است. شیب خطوط، شدت اثر آن عوامل را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود نوع رزین، عامل مؤثری نیست، ولی ٤ عامل دیگر مؤثر هستند و با افزایش سطح عوامل، میزان متغیر پاسخ افزایش می‌یابد. شکل ۷ عملکرد زمان تمپرینگ روی CCS را برای دانه‌بندیهای مختلف نشان می‌دهد. در بررسی آثار متقابل، اگر خطوط موازی باشند، معلوم می‌شود که اثر متقابل این عوامل بر روی متغیر پاسخ CCS معنادار نیست[١٦،ص٢٣٣]. شکل ۷ نشان می‌دهد که دانه‌بندی اولیه (١٦–٢٠–٥٩) با ١٦درصد پودر، عملکرد CCS را وابسته به زمان تمپرینگ می‌کند، یعنی این دانه‌بندی در زمان تمپرینگ ۱٥ ساعت که زمان تولید کارخانه هم هست، CCS بسیار پایینی را نشان می‌دهد، ولی در زمان تمپرینگ ۳۰ ساعت که از نظر کارخانه تمپرینگ مجدد محسوب می‌شود، CCS را بهبود می‌دهد. در حالی که دانه‌بندی پیشنهادی (١٨–٢٥–٥٢) با١٨ درصد پودر عملکرد CCS را از زمان تمپرینگ مستقل می‌کند و در هر دو زمان CCS بالایی را نشان می‌دهد .

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۶ نمودار آثار اصلی عوامل



شکل۷ اثر متقابل دانه‌بندی و زمان تمپرینگ

CCS= ٤٠٣ + ٧١/٣٧٥ Rcontent + ٤٩Grain – ٣٩/٧٥Timmmme*Grain + ٣٦/٨٧٥Press + ٣٦/٢٥ Time

عوامل مؤثر و سطوح مطلوب به منظور پیش‌بینی متغیر پاسخ CCS مدل رگرسیونی ارائه می‌گردد[١٦،ص٣٢٥].

برای متغیرهای Rcontent، Grain، Time، Press و Time*Grain می‌توان مقادیر١+ و١- را برای سطوح بالا و پایین هر یک از این سه متغیر جاگذاری کرد تا به متغیر پاسخ بهینه

www.SID.ir

CCS رسید. سطوح بهینه پیشنهادی مقدار CCS ۵٦۳Kgf/cm^۲ را پیش‌بینی می‌کند که در مقابل استاندارد حداقل CCS مورد نیاز برای این آجر، یعنی ٤۰۰Kgf/cm^۲، بهبود قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. از بررسی این مدل رگرسیونی معلوم می‌شود که عامل زمان تمپرینگ (Time) در سطح پایین، ۱۵ ساعت، مشخصه CCS بالاتری را نشان خواهد داد.

۴- نتیجه‌گیری

در قسمت قبل، شش گام شناسایی و بیان مسأله، انتخاب عوامل و سطوح، انتخاب متغیر پاسخ، انتخاب طرح آزمایش، انجام آزمایش و تحلیل داده‌ها به‌تفصیل توضیح داده شدند.در این بخش به گام هفتم پیاده‌سازی تکنیک طراحی آزمایشها(DOE)، یعنی نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

گام هفتم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

به منظور تولید آجر MgO-C با کیفیت مطلوب، یعنی CCS بالا و حداقل تغییرپذیری، طرح آزمایشی که دربرگیرنده ۵ عامل ضریب پرس، مقدار رزین، نوع رزین، زمان تمپرینگ و دانه‌بندی بود، انجام شد. نتایج نشان دادند که مؤثرترین عوامل برای بهبود کیفیت، عوامل مقدار رزین، دانه‌بندی، ضریب فشار و زمان تمپرینگ و اثر متقابل دانه‌بندی و زمان تمپرینگ هستند. مؤثربودن اثر متقابل عوامل، نتیجه بسیار مهمی است که در نتیجه اجرای طرح عاملی کسری با درجه تفکیک V به دست آمده‌است. متعاقب با معنادار شدن این اثر متقابل، زمان کمتر ۱۵ ساعت ،که برای خط تولید کارخانه بسیار مقرون به صرفه است، به عنوان سطح بهینه انتخاب شد.

در تنظیم بهینه‌ای که از اجرای طرح به دست آمد، ضریب فشار پرس بیشتر، درصد رزین بالاتر حتی با رزین ایرانی و دانه‌بندی پیشنهادی (۱۸-۲۵-۵۲) با ۱۸ درصد پودر و زمان تمپرینگ ۱۵ ساعت، بهترین حالت از لحاظ افزایش CCS را پیش‌بینی کرده‌اند. نکته قابل ذکر این است که نوع رزین، اثر خاصی بر CCS نداشته و شرکت می‌تواند رزینهای ایران و ترکیه را به صورت جایگزین استفاده کند و از این راه به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای دست یابد. مشخصه CCS پیش‌بینی‌شده در این حالت ۵٦۳ kgf/cm^۲ است که در مقابل حداقل CCS برای این نوع آجر، با ۵ درصد گرافیت، که به اندازه ٤۰۰kgf/cm^۲ تعیین شده، این تنظیم،

Archive of SID

www.SID.ir

میزان ٤١ درصدبهبود را در کیفییت محصول نشان داد. بدین ترتیب، صنعت دیرگدازها می‌تواند با پیاده‌سازی تکنیک آت‌آ کیفیت سایر محصولات نسوز، همچون جرمها وآجرهای کرومیتی، منیزیاگرافیتی و آلومینیایی را بهبود دهد.

۵- منابع

[۱] مونتگومری، داگلاس.سی.، کنترل کیفیت آماری، ترجمه دکتر رسول نورالسناء، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹.

[2] Bhote, K., "Design of Experiment Offers Powerful Tools for Quality Improvement", *National Journal of Productivity*, Vol 11, ISS 2, PP.231-238, 1992.

[3] Pinkerton, R., "World Class Quality: Using DOE to Make it", *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol 29, ISS 3, PP.51-62, , 1993.

[4] Konda, R., Rajurkar, K., Bisha, A., Guha, A., and Parson, M., "Design of Experiments to Study and Optimize Process Performance", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Bradford, Vol 16, ISS 1 , PP.56-70, 1999.

[5] Antony, J., " Improving the Manufacturing Process Quality Using DOE: A Case study ", *Journal of Operations and Production Management*, Bradford, Vol 21, ISS 5, PP. 812-82, V., Fergusson, C., and Blenchar, P., " Application of Taguchi Approach to Stati5, 2001.

[6] Antony, J., Somsun stical Design of Experiments in CZECH Republication Industries", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol 53, ISS 5, PP.447-460, 2004.

[7] Cox,C., and Redman, T., " 6 Sigma and Customer Facing Data Quality Metrics " , ASQ Six Sigma Forum Magazine, Vol 6, ISS 4, PP.43-59,2007.

[8] Watson, G., " Change Management: How Important is it for Six Sigma? " ,

Archive of SID

www.SID.ir

ASQ Six Sigma Forum Magazine, Vol 6, ISS 4, PP.39-53, 2007.

[9] Choo, A., Linderman, K., and Schroeder, R., " Method and Context Perspectives on Learning and Knowledge Creation in Quality Management", *Journal of Operation Management,* Vol 25, ISS 4, PP.918-931, 2007.

[10] Drwiga, R., and Eichman, E., " A Design of Experiment Analysis of Serial EEPRom Endurance*", Journal of Microelectron Reliability, Elsevier Applied Science"*, Vol 37, No.3, PP . 487-491, 1997.

[11] Ghomashchi, R., Reid , I., and Spuzic, S., " Fractional Design of Experiment Applied to a Wear Simulation", *Journal of Wear , Elsevier Applied Science,* Vol 212, PP. 131-139, 1997 .

[12] Das, S., Mondal, S., and Prasad , B.K., "Study of Erosive Corrosive Wear Characteristics of an Aluminium Alloy Composite through Factorial Design of Experiment*", Journal of Wear, Elsevier Applied Science* , Vol 217, PP.1-6, 1998.

[13] Buscaglia , MT., Lemaitre , J., and Nanni, P., " Low- Temperature Aqueous Synthesis(LTAS)of $BaTiO_3$:A Statistical DOE Approach", *Journal of ECERS, Elsevier Applied Science* ,Vol 20, PP.315-320 , 2000

[14] Degen , A , Kosec , M., and Rocak , D., " Ceramic Suspension Optimization Using Factorial Design of Experiments", *Journal of the European Ceramic* Society, Elsevier Applied Science , Vol 22, PP.391-395, 2002 .

[15] Rigaud, M.," Trends of the Steel Industry and Developments of New Refractory Material",Tehran International Conference on Refractories,pp.166-169,2004.

[۱٦] مونتگمری، داگلاس.سی.، طرح و تحلیل آزمایشها، ترجمه غلامحسین شاهکار، چاپ اول مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۰.

Archive of SID

www.SID.ir