



مبانی مهندسی پلیمریزاسیون
(جلد ششم)

کاتالیزورهای پلیمریزاسیون

(بخش اول)

کاتالیزورهای پلیمریزاسیون پلی‌اولفین‌ها

تألیف:

پروفسور وحید حدادی‌اصل

استاد دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
استاد نمونه کشوری

زمستان ۱۴۰۳

سرشناسه	: حدادی اصل، وحید، ۱۳۴۳-
عنوان و نام پدیدآور	: میانی مهندسی پلیمریزاسیون / تألیف وحید حدادی اصل.
وضعیت ویراست	: ویراست ۴.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۴۰۱-.
مشخصات ظاهری	: ج: مصور.
شابک	: دوره: ۱-۸۵۴-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸-۵۹۵۰۰۰۰ ریال: ج. ۱، ق. ۱-۲: ۸-۸۵۵-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸-۹۷۸-۲۷۰۰۰۰۰ ریال: ج. ۱، ق. ۳-۴: ۰-۸۶۴-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸-۳۸۰۰۰۰۰ ریال: ج. ۳: ۰-۸۶۴-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸-۲۲۵۰۰۰۰ ریال: ج. ۴: ۱-۸۶۷-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸-۹: ج. ۵: ۵-۹۴۲-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فاپا (چاپ دوم)
یادداشت	: ج. ۱، ق. ۴-۱: چاپ دوم: ۱۴۰۲.
یادداشت	: ج. ۶ (چاپ اول: ۱۴۰۳) (فیفا).
مندرجات	: ج. ۱، ق. ۱-۴. تکنولوژی پلیمرها. - ق. ۱-۲. شیمی فیزیک و خواص مکانیک پلیمرها و مواد پلیمری. - ق. ۳-۴. کاربردهای ویژه پلیمرها و روش های تولید، تخریب و بازیافت صنعتی پلیمرهای پر مصرف. - ج. ۳. روش های پلیمریزاسیون. - ج. ۴. طراحی راکتورهای پلیمریزاسیون. - ج. ۶ کاتالیست های پلیمریزاسیون بخش اول: کاتالیزورهای پلیمریزاسیون پلی اولفین ها.
موضوع	: پلیمریزاسیون.
موضوع	: Polymerization:
موضوع	: پلیمرها.
موضوع	: Polymers:
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing Center.
رده بندی کنگره	: TP ۱۵۶:
رده بندی دیویی	: ۶۶۸/۹:
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۸۱۷۷۳۶:

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۳/۱۰/۰۹ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: میانی مهندسی پلیمریزاسیون جلد ششم: کاتالیزورهای پلیمریزاسیون (بخش اول)
تألیف	: وحید حدادی اصل
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: زمستان ۱۴۰۳
قیمت	: ۴۱۰,۰۰۰ تومان
تیراژ	: ۱۰۰ نسخه
شابک دوره	: ۱-۸۵۴-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸
شابک جلد ششم (بخش اول)	: ۵-۹۴۲-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸
	ISBN : 978-964-463-854-1
	ISBN : 978-964-463-942-5

آدرس مرکز بخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

VI	پیشگفتار
۱	فصل اول: آشنایی با کاتالیزورهای شیمیایی
۱-۱	مقدمه
۲-۱	ویژگی های یک کاتالیزور مناسب
۳-۱	تقسیم بندی کاتالیزورها
۴-۱	مسمومیت کاتالیزورها
۵-۱	نقش کاتالیزورها در صنعت
۶-۱	مراجع
۷	بخش اول: کاتالیزورهای پلیمریزاسیون پلی اولفین ها
۹	فصل دوم: کاتالیزورهای تیتانیومی و وانادیومی
۹-۲	مقدمه
۱۰-۲	پلیمریزاسیون مونومرهای کئوردینه شده
۱۵-۲	ساختمان کاتالیزورهای تیتانیومی
۱۶-۲	کمک کاتالیزور
۱۷-۲	حامل ها و پایه ها
۱۷-۲	الکترون دهنده ها
۱۸-۲	توسعه کاتالیزورهای تیتانیومی فضاگزین
۳۳-۲	تقسیم بندی کاتالیزورها بر اساس محیط واکنش
۳۴-۲	۱-۸-۲ کاتالیزورهای همگن
۳۴-۲	۲-۸-۲ کاتالیزورهای شبه همگن
۳۴-۲	۳-۸-۲ کاتالیزورهای ناهمگن
۳۶-۲	۹-۲ مراکز فعال
۳۶-۲	۱-۹-۲ ناهمگنی مراکز فعال
۳۷-۲	۲-۹-۲ مدل های مراکز فعال در کاتالیزورهای تیتانیومی
۳۹-۲	۱۰-۲ مکانیسم عملکرد کاتالیزورهای تیتانیومی
۳۹-۲	۱-۱۰-۲ انتشار در پیوند فلز- آلکیل
۴۰-۲	۲-۱۰-۲ انتشار در پیوند فعال کننده- آلکیل
۴۰-۲	۳-۱۰-۲ مکانیسم تریگر
۴۴-۲	۱۱-۲ مراحل سینتیکی پلیمریزاسیون
۴۵-۲	۱-۱۱-۲ مرحله القا
۴۶-۲	۲-۱۱-۲ مرحله پایا
۴۶-۲	۳-۱۱-۲ مرحله کاهش
۴۶-۲	۱۲-۲ پارامترهای عملیاتی مؤثر بر سینتیک پلیمریزاسیون
۴۷-۲	۱۳-۲ فعال سازی میکروسکوپی کاتالیزور با کمک کاتالیزور

فهرست مطالب

۴۷	۱-۱۳-۲ فعال سازی کاتالیزور.....
۴۷	۲-۱۳-۲ شروع زنجیر.....
۴۸	۳-۱۳-۲ انتشار زنجیر.....
۴۹	۴-۱۳-۲ انتقال زنجیر.....
۵۰	۱۴-۲ بررسی فعال سازی کاتالیزور از طریق ابر الکترونی.....
۵۱	۱۵-۲ مراجع.....
۵۳	فصل سوم: مکانیسم واکنش های پلیمریزاسیون با کاتالیزورهای تیتانیومی و وانادیمی.....
۵۳	۱-۳ مقدمه.....
۵۴	۲-۳ مکانیسم هایی برای پلیمریزاسیون آلفا- آلکن ها.....
۵۴	۱-۲-۳ مکانیسم های اولیه.....
۵۶	۲-۲-۳ انتشار در پیوند فلز- آلکیل.....
۶۷	۳-۳ مراجع.....
	فصل چهارم: سینتیک و مدل سازی واکنش های پلیمریزاسیون با کاتالیزورهای تیتانیومی و وانادیمی.....
۶۹	۱-۴ مقدمه.....
۶۹	۲-۴ نمودارهای سینتیکی سرعت- زمان.....
۷۰	۳-۴ مدل های سینتیکی پلیمریزاسیون با کاتالیزورهای زیگلر- ناتا.....
۷۳	۱-۳-۴ مدل های سینتیکی.....
۱۲۲	۲-۳-۴ مدل های نفوذی.....
۱۴۵	۴-۴ مراجع.....
۱۴۷	فصل پنجم: سینتیک کاتالیزورهای چندمرکزی.....
۱۴۷	۱-۵ مقدمه.....
۱۵۲	۲-۵ سینتیک پلیمریزاسیون اتیلن با کاتالیزورهای تیتانیومی.....
۱۵۳	۱-۲-۵ اثر غلظت مونومر بر سینتیک واکنش.....
۱۵۴	۲-۲-۵ اثر دما بر سینتیک واکنش.....
۱۵۶	۳-۵ کاتالیزورهای چندمرکزی.....
۱۵۹	۱-۳-۵ تأثیر هیدروژن بر هموپلیمریزاسیون اتیلن.....
۱۶۳	۲-۳-۵ اثر کمک کاتالیزور.....
۱۶۳	۴-۵ سینتیک کوپلیمریزاسیون اتیلن / ۱- هگزن.....
۱۶۳	۱-۴-۵ تأثیر ۱- هگزن بر سینتیک پلیمریزاسیون در غیاب هیدروژن.....
۱۶۵	۲-۴-۵ اثر هیدروژن بر سینتیک کوپلیمریزاسیون اتیلن / ۱- هگزن.....
۱۶۶	۳-۴-۵ اثر سموم کاتالیزور بر سینتیک کوپلیمریزاسیون اتیلن / ۱- هگزن.....
۱۶۹	۵-۵ مدل سازی با روش معادلات ممان ها و شبیه سازی با روش مونت کارلو.....
۱۷۰	۱-۵-۵ مدل سازی با روش معادلات ممان.....
۱۸۸	۲-۵-۵ شبیه سازی به روش مونت کارلو.....

فهرست مطالب

۲۰۳	۶-۵ مراجع
۲۰۵	فصل ششم: روش‌های شناسایی مراکز فعال کاتالیزورها
۲۰۵	۱-۶ مقدمه
۲۰۶	۲-۶ روش‌های شناسایی مراکز فعال
۲۰۶	۱-۲-۶ پلیمریزاسیون جریان ایستا
۲۰۶	۲-۲-۶ روش برچسب‌گذاری رادیویی
۲۰۷	۳-۲-۶ روش فرونشانی
۲۰۹	۳-۶ اختلاف عملکرد روش‌ها
۲۱۰	۱-۳-۶ فرونشانی با متانول رادیواکتیو
۲۱۱	۲-۳-۶ برچسب‌گذاری رادیویی با ^{14}CO
۲۱۱	۳-۳-۶ برچسب‌گذاری با CS_2
۲۱۲	۴-۶ مراجع
۲۱۵	فصل هفتم: کاتالیزورهای متالوسنی
۲۱۵	۱-۷ مقدمه
۲۱۵	۲-۷ متالوسن‌ها
۲۱۷	۱-۲-۷ ساختمان متالوسن‌ها
۲۱۹	۲-۲-۷ خواص متالوسن‌ها
۲۲۱	۳-۲-۷ کمک کاتالیزور
۲۲۷	۴-۲-۷ قراردادن متالوسن‌ها روی پایه
۲۲۹	۵-۲-۷ خانواده کاتالیزورهای متالوسن
۲۳۷	۶-۲-۷ روند عمومی در پلیمریزاسیون با متالوسن‌ها
۲۴۵	۳-۷ کاتالیزورهای فضاگزین
۲۴۸	۱-۳-۷ کاتالیزورهای متالوسن با فضاگزینی سیندیوتاکتیک
۲۴۹	۴-۷ کاتالیزورهای بدون فضاگزینی
۲۵۰	۵-۷ کاتالیزورهایی برای پلی‌پروپیلن الاستومری
۲۵۰	۶-۷ سایر کاتالیزورهای همگن
۲۵۱	۷-۷ کاتالیزورهای متالوسن قرار داده شده بر روی پایه
۲۵۱	۸-۷ مکانیسم پلیمریزاسیون
۲۵۴	۹-۷ انواع متالوسن‌ها برای پلیمریزاسیون اولفین‌ها
۲۵۵	۱-۹-۷ متالوسن‌های پل نشده
۲۶۳	۲-۹-۷ متالوسن‌های پل شده
۲۶۹	۱۰-۷ پلیمریزاسیون پروپیلن با کاتالیزورهای متالوسنی
۲۷۰	۱-۱۰-۷ کاتالیزورهای متالوسن
۲۷۰	۲-۱۰-۷ پلی‌پروپیلن ایزوتاکتیک
۲۷۶	۳-۱۰-۷ پلی‌پروپیلن سیندیوتاکتیک

فهرست مطالب

۲۷۸	۴-۱۰-۷ پلی پروپیلن نیمه ایزوتاكتيك.....
۲۸۰	۵-۱۰-۷ پلی پروپیلن فضا قطعه ای.....
۲۸۷	۱۱-۷ پلیمریزاسیون اسیکلیک آلفا- اولفین ها.....
۲۸۸	۱۲-۷ سیکلواولفین ها.....
۲۸۹	۱۳-۷ پلیمریزاسیون استایرن.....
۲۹۱	۱۴-۷ کوپلیمریزاسیون اتیلن، پروپیلن و آلفا- اولفین ها.....
۲۹۴	۱۵-۷ کوپلیمرهای سیکلواولفین.....
۲۹۵	۱۶-۷ مراجع.....
۲۹۷	فصل هشتم: کاتالیزورهای کرومی.....
۲۹۷	۱-۸ مقدمه.....
۲۹۸	۲-۸ سطح پایه سیلیکا.....
۲۹۸	۱-۲-۸ گروه های هیدروکسیل روی سطح سیلیکا.....
۳۰۰	۲-۲-۸ هیدروکسیل زدایی سطح سیلیکا.....
۳۰۲	۳-۲-۸ تعادل هیدروکسیل/سیلوکسان.....
۳۰۶	۳-۸ کاتالیزور کروم/سیلیکا.....
۳۰۹	۴-۸ فرایند احیا و حالت کروم احیاء شده.....
۳۱۱	۵-۸ اصلاح کاتالیزور کروم بر پایه سیلیکا.....
۳۱۳	۶-۸ بررسی ساختمان مراکز کروم با روش اسپکتروسکوپی.....
۳۱۳	۱-۶-۸ آزمون طیف سنجی مرئی - فرابنفش/طیف سنجی بازتابشی انتشاری.....
۳۱۸	۲-۶-۸ اسپکتروسکوپی مادون قرمز.....
۳۲۲	۳-۶-۸ اسپکتروسکوپی رامان.....
۳۲۶	۷-۸ پلیمریزاسیون با استفاده از کاتالیزورهای کرومی.....
۳۲۶	۱-۷-۸ کاتالیزورهای صنعتی فیلیپس.....
۳۳۲	۲-۷-۸ غلظت پایین مراکز فعال و تعداد زیاد معادلات تغییر و تبدیل.....
۳۳۴	۳-۷-۸ روش فعال سازی و فعالیت کاتالیزوری.....
۳۳۵	۴-۷-۸ اثر حضور مولکول های خارجی بر فعالیت کاتالیزور.....
۳۳۵	۵-۷-۸ مورفولوژی پلیمر.....
۳۳۶	۶-۷-۸ مدل کاتالیزور کاهش یافته با استفاده از مونواکسیدکربن.....
۳۴۱	۷-۷-۸ اصلاحات کاتالیزور کروم بر پایه سیلیکا.....
۳۴۲	۸-۷-۸ مطالعه مکانیسم شروع با استفاده از تابش مادون قرمز.....
۳۴۶	۸-۸ مکانیسم پلیمریزاسیون اتیلن با استفاده از کاتالیزور کروم/سیلیکا.....
۳۴۶	۱-۸-۸ مراحل کئوردیناسیون، شروع، انتشار و اختتام پلیمریزاسیون اتیلن.....
۳۵۰	۲-۸-۸ مرحله کئوردیناسیون اتیلن: محاسبات تئوری.....
۳۵۲	۳-۸-۸ مدل کاسی برای واکنش های شروع و انتشار.....
۳۵۴	۴-۸-۸ مدل کاربن برای واکنش های شروع و انتشار.....

فهرست مطالب

۳۵۶	۵-۸-۸ مدل حلقه‌های فلزی برای مراحل شروع و انتشار.....
۳۶۱	۹-۸ مراجع.....
۳۶۳	فصل نهم: کاتالیزورهای نیکلی و پالادیمی
۳۶۳	۱-۹ مقدمه.....
۳۶۴	۲-۹ کاتالیزورهای فلزات واسطه انتهایی.....
۳۶۴	۳-۹ لیگاندهای خنثی.....
۳۶۹	۴-۹ لیگاندهای آنیونی.....
۳۸۴	۵-۹ مکانیسم پلیمریزاسیون اتیلن با کاتالیزورهای فلزات واسطه انتهایی.....
۳۹۰	۶-۹ پلیمریزاسیون اتیلن با سامانه‌های کاتالیزوری فلزات واسطه انتهایی.....
۳۹۳	۱-۶-۹ بررسی و آنالیز ساختار پلی‌اتیلن‌های تولیدی کاتالیزورهای فلزات واسطه انتهایی.....
۳۹۶	۲-۶-۹ کوپلیمریزاسیون اتیلن با کومونومرهای قطبی به وسیله کاتالیزورهای فلزات واسطه انتهایی.....
۴۰۰	۷-۹ تولید پلی‌پروپیلن با کاتالیزورهای فلزات واسطه انتهایی.....
۴۰۳	۸-۹ تولید آلفا-اولفین‌های دیگر با کاتالیزورهای فلزات واسطه انتهایی.....
۴۰۵	۹-۹ اثر استخلاف‌های حجیم لیگاند بر افزایش وزن‌مولکولی محصول تولیدی.....
۴۱۴	۱۰-۹ مراجع.....
۴۱۷	فصل دهم: کاتالیزورهای آهنی و کبالتی
۴۱۷	۱-۱۰ مقدمه.....
۴۲۰	۲-۱۰ بررسی اثر نسبت فعال‌کننده به کاتالیزور.....
۴۲۴	۳-۱۰ بررسی اثر انواع کوکاتالیزور آلومینوکسان روی وزن‌مولکولی و توزیع وزن‌مولکولی پلی‌اتیلن.....
۴۲۹	۴-۱۰ اثر انواع فعال‌سازهای تتراآلکیل آلومینواکسان روی کاتالیزورهای آهنی.....
۴۳۵	۵-۱۰ مراجع.....
۴۳۷	نمایه
۴۳۹	واژه‌نامه‌ها
۴۴۱	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....
۴۵۵	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....

پیشگفتار

امروزه باید به این نکته اذعان کرد که دانش پلیمری یکی از شاخه‌های علمی است که در مقایسه با رشته‌های علمی دیگر پیشرفتی قابل ملاحظه داشته است. رشد سریع این علم به دلیل کاربردهای فراوان مواد پلیمری در بسیاری از ابعاد زندگی بشر بوده است. شاید بتوان دنیای آینده را همچون مجسمه‌ای تجسم کرد که مغزی از دانش کامپیوتری و بدنی از مواد پلیمری دارد. سبکی، ارزانی، مقاومت شیمیایی بالا، شکل‌پذیری آسان و خواص فیزیکی- مکانیکی مناسب باعث شده‌اند که پلیمرها جایگزینی بسیار مناسب برای فلزات و غیرفلزات باشند.

همانند بقیه مواد تولیدی در صنایع مختلف، از دیدگاه یک مهندس هدف اصلی تولید پلیمرها نیز مباحث اقتصادی (مانند سودآوری) است. اقتصاد این صنعت نیز تابع سه عامل بسیار مهم؛ "سرعت تولید"، "خواص فیزیکی- مکانیکی" محصول نهایی و "میزان تبدیل" مواد اولیه (به‌ویژه مونومرها) است.

مهم‌ترین عامل در سرعت تولید، "علم سینتیک واکنش پلیمریزاسیون" است که به بررسی عوامل مؤثر بر سرعت واکنش و درنهایت سرعت تولید می‌پردازد.

خواص فیزیکی- مکانیکی یک محصول پلیمری اگرچه در حین فرایندهای شکل‌دهی نیز دستخوش تغییراتی می‌شوند ولیکن بسیاری از این خواص در حین واکنش پلیمریزاسیون تعیین می‌گردند. همچنین اگرچه برخی خواص نهایی محصولات پلیمری به خواص واکنشگرهای اولیه وابسته‌اند، ولی بسیاری از این خواص به فرایند تولید و پلیمریزاسیون اولیه آن‌ها و نیز فرایندهای شکل‌دهی نهایی آن‌ها بستگی دارند؛ بنابراین مهم‌ترین وظیفه برای افرادی که در صنعت تولید مواد پلیمری فعال هستند ابتدا پیدا کردن ارتباطی بین ساختار و خواص نهایی پلیمرها و در مرحله بعد یافتن راهی برای تولید پلیمر موردنظر با معماری و ساختار مولکولی مذکور است.

در مراحل پلیمریزاسیون عواملی مهم در شکل‌گیری معماری مولکولی پلیمرها نقش دارند که بسیاری از آن‌ها در اختیار مهندسان فرایند پلیمریزاسیون نیستند، ولی این عوامل از برخی عناصر بیرون از واکنش (مانند غلظت واکنش‌گرها، فشار و دما) تبعیت می‌کنند که کنترل آن‌ها به‌دست این مهندسان است؛ بنابراین مهم‌ترین وظیفه مهندسان فرایندهای پلیمریزاسیون پیدا کردن ارتباطی بین شرایط و عوامل فرایندی در دسترس و معماری مولکولی پلیمر مطلوب درون راکتور در حین واکنش است.

معماری مولکولی پلیمرها در سه مقیاس میکرو یا ریز (واکنش‌های پلیمریزاسیون مانند واکنش‌های مرحله‌ای و زنجیره‌ای)، مزو یا متوسط (محیط‌ها و روش‌های پلیمریزاسیون مانند محیط‌های تک‌فازی و چندفازی) و ماکرو یا بزرگ (فرایندهای پلیمریزاسیون مانند سامانه‌های ناپیوسته، نیمه‌پیوسته و پیوسته) انجام می‌شود. برای طراحی و معماری صحیح مولکول‌های پلیمری به تسلط بر هر سه مقیاس طراحی نیاز است.

به این منظور در مجموعه کتاب‌های مبانی مهندسی پلیمریزاسیون، پس از آشنایی با کلیاتی در زمینه پلیمرها در جلد اول (تکنولوژی پلیمرها)، در جلد دوم (واکنش‌های پلیمریزاسیون) واکنش‌ها و محاسبات پلیمریزاسیون‌های مرحله‌ای، زنجیره‌ای و کوپلیمریزاسیون‌ها مطالعه شدند. در ادامه در جلد سوم (روش‌های پلیمریزاسیون) تأثیر محیط‌ها و روش‌های پلیمریزاسیون مانند محیط‌های تک‌فازی و چندفازی، در جلد چهارم (طراحی راکتورهای پلیمری) تأثیر فرایندهای پلیمریزاسیون بر معماری مولکولی برای دستیابی به خواص فیزیکی- مکانیکی محصولات پلیمری مطلوب، در جلد پنجم سنتز نانوپلیمرها (ذرات نانوپلیمری) و نانوکامپوزیت‌های پلیمری، در جلد ششم (کتاب حاضر) کاتالیزورهای پلیمریزاسیون، در جلد هفتم عوامل فعال سطحی و در جلد هشتم خواص فیزیکی- مکانیکی پلیمرها بررسی شده‌اند.

در این جلد کاتالیزورهای پلیمریزاسیون نیز در دو بخش تنظیم شده‌اند که با توجه به اهمیت و حجم تولید پلی‌اولفین‌ها، کاتالیزورهای تولید و سنتز این مواد در بخش اول (کتاب حاضر) و بقیه کاتالیزورهای مورد مصرف در تولید پلیمرهای دیگر در بخش دوم ارائه شده‌اند. در پایان از خداوند بزرگ سپاسگزار بذل عنایتش در طول بیش از سی سال پرداختن به این مجموعه هستم. همچنین از جناب آقای مهندس هادی رستمی پورشنیدی و مسئولین محترم و کارکنان زحمتکش انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر به‌ویژه سرکار خانم مهربانو ملکی، آقایان بابک رحیمی‌اکبر و میلاد جلیلی نیز به دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

وحید حدادی‌اصل

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

زمستان ۱۴۰۳