

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

رساله جهت اخذ مدرک دکتری در رشته صنایع خمیر و کاغذ

تأثیر تیمار آنزیمی خمیر سودای باکاس بر عملکرد ساکارز در بهبود ماندگاری مواد پرکننده و ویژگی‌های نانوکامپوزیت کاغذ

پژوهش و نگارش:

وحید وزیری

استاد راهنما:

دکتر احمد رضا سرانیان

اساتید مشاور:

دکتر الیاس افرا

دکتر فرشید فرجی

تابستان ۱۳۹۲

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب وحید وزیری دانشجوی رشته صنایع خمیر و کاغذ مقطع دکتری تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می شوم

وحید وزیری

مرداد- ۱۳۹۲

تقدیم به :

روح والای پدرم،

مادر بزرگوارم

همسر فداکارم

و فرزند عزیزم

تشکر و قدردانی

آفریدگارا:

سپاس بی مثال تنها تو را سزاست که به مصلحت از نعماتت به ما می‌بخشی و به حکمت از ما می‌ستانی و برترین حمد فقط تو را سزاست و عالی‌ترین ثنا فقط برای تو که تنها مهربان‌ترین هستی بجا و رواست. پس تو را سپاس می‌گوییم که بر من منت نهادی تا توانستم با توکل بر یاری پرکرامت و لطف بی‌پایانت این تحقیق را به انجام برسانم. اکنون که به فضل پروردگار علیم و حکیم نگارش پایان نامه دکتری را به پایان رسانده‌ام به نشانه حق‌شناسی بر خود وظیفه می‌دانم که سپاس آموزگارام را بجا آورم. سپاسگزار معلمان و استادان ارجمندی هستم که در تمامی مقاطع تحصیل از آن روز که الفبا را آموختم تا به امروز من را به دوست داشتنی‌ترین و افتخار آفرین‌ترین سرمایه حیات بشری به دانش و اندیشه رهنمون گشته، همچنین قدرشناس تلاش محققان و نویسندگانی هستم که حاصل پژوهش آنها روشن گر راه من بود. آنچه در این مجموعه گرد آمده است حاصل نمی‌شد مگر به یاری عزیزانی که در مدت ۲ سال گذشته به نحوی در مراحل مختلف این تحقیق من را یاری رساندند که در اینجا به رسم ادب لازم می‌دانم مراتب سپاس و قدردانی خویش را تقدیم شان کنم.

از استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر احمدرضا سرائیان که از راهنمایی‌های ارزنده شان در تمام مراحل بهره بردم صمیمانه سپاسگزارم.

از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر افرا که انجام بخش اعظم این پایان نامه مدیون ایشان است و در طول این تحقیق با رهنمودها و تشویق‌های خود من را مورد لطف خویش قرار دادند صمیمانه سپاسگزارم.

از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر فرشید فرجی که از مشاوره گرانبقدرشان بهره بردم کمال تشکر و امتنان را دارم.

از داوران محترم جناب آقای دکتر حسین رسالتی، دکتر علیرضا شاکری، دکتر علی قاسمیان و دکتر امید رضانی و نماینده محترم تحصیلات تکمیلی سرکار خانم دکتر وحیده پیام نور کمال تشکر را دارم. از پرسنل محترم آزمایشگاه گروه صنایع خمیرکاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان نهایت تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

از تمامی دوستان عزیزم که در طول این مدت افتخارآشنایی و مصاحبت با آنها را داشتم، به پاس محبت‌های بی‌دریغشان سپاسگزارم.

از خانواده خودم و همسر که دعای خیر، سعه صدر و تشویق‌های آنان، همواره در تمام مراحل زندگی امید بخش و روشن کننده راه من بوده است تقدیر و تشکر می‌نمایم
از همسر عزیزم خانم میترا سادات حسینی که در مراحل مختلف از همراهی و همدلی ایشان بهره بردم
قدردانی می‌کنم.
از برادر و خواهرهای عزیزم که همیشه مشوق من بوده‌اند تشکر می‌نمایم.

به راستی که واژگان در بیان خوبی انسان‌های بزرگ ناتوانند

با احترام- وحید وزیری

چکیده

در این تحقیق تاثیر استفاده از تیمار آنزیمی خمیر سودای باگاس بر عملکرد ساکارز در بهبود ماندگاری ماده پرکننده و ویژگی‌های نانوکامپوزیت کاغذ مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از آنزیم ویسکوزیم (مخلوط آنزیم‌های تجزیه کننده کربوهیدرات‌ها)، خمیرکاغذ سودای باگاس کارخانه هفت تپه پارس، کربنات کلسیم (۱۰ درصد) و ساکارز (با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) استفاده شد. آنزیم ویسکوزیم حاصل از قارچ *Aspergillus sp* در مقادیر ۰/۵، ۱ و ۲IU و زمان‌های ۰/۵، ۱ و ۲ ساعت بر خمیرکاغذ سودای باگاس تاثیر داده شد. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم و زمان واکنش، درجه روانی و درجه پلیمریزاسیون خمیرکاغذ کاهش یافت. از طرف دیگر، با اعمال پیش تیمار آنزیمی، شاخص مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به ترکیدن بهبود یافت. با غلظت آنزیم ۰/۵IU و زمان واکنش یک ساعت، بیشترین شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن به دست آمد و با افزایش غلظت آنزیم و زمان واکنش به دلیل کاهش درجه پلیمریزاسیون، مقاومت‌ها کاهش یافتند. ولی همچنان در مقایسه با نمونه شاهد دارای مقاومت‌های بیشتری بودند. از خمیر سودای باگاس قبل و بعد از پیش تیمار آنزیمی بهینه پس از افزودن ساکارز و کربنات کلسیم، کاغذهایی مطابق با استاندارد تاپی ساخته شد. نتایج نشان داد که بین نمونه شاهد (فاقد ساکارز و کربنات کلسیم) با کاغذهای ساخته شده دارای ساکارز و کربنات کلسیم به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. مقدار ماندگاری ماده پرکننده تا مقدار ۵ درصد ساکارز افزایش یافت. در خمیرهای کاغذ سودای باگاس بدون پیش تیمار آنزیمی و با پیش تیمار آنزیمی به ترتیب با افزایش ساکارز تا غلظت ۱۵ و ۱۰ درصد، مقادیر دانسیته، مقاومت به عبور هوا، مقدار ماندگاری آب، مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن افزایش یافته و بالک، مقاومت به پارگی و درجه ماتی کاهش یافتند. با استفاده از کربنات کلسیم به همراه ساکارز، ساکارز به خاطر اتصالات هیدروژنی بیشتر و افزایش پیوند بین الیاف از افت مقاومت‌های کاغذ جلوگیری کرد و حتی سبب بهبود مقاومت‌های آن نیز شد. به طور کلی، زمانی که مقدار ساکارز باقیمانده در کاغذ به حدود ۴ درصد وزنی رسید. ساکارز تاثیر مثبتی بر خصوصیات کاغذ داشت و افت ناشی از اضافه کردن ماده پرکننده را جبران کرد.

واژه های کلیدی: آنزیم ویسکوزیم، خمیرکاغذ سودای باگاس، ساکارز، درجه پلیمریزاسیون، پیش تیمار آنزیمی بهینه.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه.....	۲
۱-۱- کلیات.....	۲
۱-۱-۱- صنعت کاغذ.....	۲
۱-۱-۲- شیوه‌های متداول بهبود ویژگی‌های کاغذ.....	۳
۱-۲-۱-۱- پالایش.....	۳
۱-۲-۲-۱-۱- افزودنی‌های شیمیایی.....	۴
۱-۲-۲-۱-۱-۱- افزودنی‌های مقاومت خشک.....	۴
۱-۲-۲-۱-۱-۲- افزودنی‌های مقاومت تر.....	۴
۱-۲-۲-۱-۱-۳- مواد کمک نگهدارنده و آب‌گیرنده.....	۵
۱-۳-۱-۱- مکانیسم ماندگاری.....	۵
۱-۴-۱-۱- فناوری نانو.....	۷
۱-۴-۱-۱-۱- نانوذرات.....	۸
۱-۵-۱-۱- کاربرد زیست فناوری در صنایع خمیرکاغذ.....	۱۰
۱-۵-۱-۱-۱- مزایای استفاده از آنزیم در صنایع.....	۱۰
۱-۵-۱-۱-۲- کاربردهای آنزیمی در صنایع خمیرکاغذ.....	۱۰
۱-۵-۱-۱-۱- آنزیم‌ها و مکانیسم عمل آن‌ها در پالایش.....	۱۱

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۱	۱-۱-۲-۵-۱-۱- آنزیم سلولاز.....
۱۲	۱-۱-۲-۵-۱-۲- آنزیم همی سلولاز.....
۱۲	۲-۱- بیان مسئله.....
۱۳	۳-۱- اهداف تحقیق.....
۱۳	۴-۱- فرضیات.....
۱۶	۲- مروری بر مطالعات انجام شده.....
۱۶	۱-۲- باگاس.....
۱۷	۲-۲- ماده افزودنی.....
۲۱	۳-۲- کمک نگهدارنده.....
۲۳	۴-۲- آنزیم.....
۲۸	۳- مواد و روش‌ها.....
۲۸	۱-۳- مواد اولیه.....
۲۸	۱-۱-۳- الیاف مصرفی (خمیرکاغذ پایه).....
۲۸	۲-۱-۳- ساکارز.....
۲۹	۳-۱-۳- کربنات کلسیم.....
۲۹	۴-۱-۳- پلی آکریل آمید کاتیونی.....

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
..... ۳-۱-۵- آنزیم	۲۹
..... ۳-۲-۲- روش‌ها	۲۹
..... ۳-۲-۱- افزودن ساکارز و کربنات کلسیم	۲۹
..... ۳-۲-۲- تیمار آنزیمی	۳۰
..... ۳-۲-۳- ساخت کاغذ دست ساز	۳۰
..... ۳-۲-۴- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذ	۳۰
..... ۳-۲-۴-۱- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی کاغذ	۳۰
..... ۳-۲-۴-۱-۱- ضخامت	۳۰
..... ۳-۲-۴-۱-۲- بالک و دانسیته	۳۱
..... ۳-۲-۴-۱-۳- مقاومت به عبور هوا	۳۱
..... ۳-۲-۴-۱-۴- مقدار ماندگاری آب	۳۱
..... ۳-۲-۴-۱-۵- مقدار ماندگاری ماده پرکننده	۳۲
..... ۳-۲-۴-۱-۶- مقدار ساکارز باقیمانده در کاغذ	۳۲
..... ۳-۲-۴-۱-۷- اندازه‌گیری پتانسیل زتا	۳۳
..... ۳-۲-۴-۱-۸- اندازه‌گیری درجه روانی خمیر کاغذ	۳۳
..... ۳-۲-۴-۱-۹- اندازه‌گیری درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ	۳۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۲-۴-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی کاغذ.....	۳۴
۳-۲-۴-۱- شاخص مقاومت به کشش.....	۳۴
۳-۲-۴-۲- شاخص مقاومت به ترکیدن.....	۳۴
۳-۲-۴-۳- شاخص مقاومت به پارگی.....	۳۴
۳-۲-۴-۳- اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری کاغذ.....	۳۵
۳-۲-۴-۱- درجه روشنی.....	۳۵
۳-۲-۴-۲- درجه ماتی.....	۳۵
۳-۲-۵- مطالعات آنالیز تصویری با میکروسکوپ‌های الکترونی.....	۳۵
۳-۲-۶- طیف سنج پراش اشعه ایکس.....	۳۶
۳-۲-۷- ترکیب‌های مختلف برای تولید کاغذ دست ساز.....	۳۶
۳-۳- طرح آماری.....	۳۷
۴- نتایج و بحث.....	۳۹
۴-۱- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودای باگاس.....	۴۱
۴-۱-۱- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص فیزیکی خمیر کاغذ سودای باگاس.....	۴۱
۴-۱-۱-۱- حجم ویژه (بالک) و دانسیته کاغذ.....	۴۲

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۳	۴-۱-۱-۲- مقاومت به عبور هوای کاغذ.....
۴۴	۴-۱-۱-۳- مقدار ساکارز باقیمانده در کاغذ.....
۴۵	۴-۱-۱-۴- مقدار ماندگاری آب.....
۴۶	۴-۱-۲- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص مکانیکی کاغذ سودای باگاس.....
۴۷	۴-۱-۲-۱- شاخص های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن.....
۴۹	۴-۲-۱-۲- شاخص مقاومت به پارگی.....
۵۰	۴-۱-۳- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص نوری کاغذ سودای باگاس.....
۵۱	۴-۱-۳-۱- درجه روشنی و درجه ماتی.....
	۴-۲- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز پس از افزودن ماده پرکننده بر ویژگی های خمیر کاغذ سودای باگاس و ماندگاری ماده پرکننده و مقایسه آن با کمک نگهدارنده پلی آکریل آمید کاتیونی.....
۵۳	۴-۲-۱- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص مکانیکی کاغذ سودای باگاس پس از افزودن کربنات کلسیم.....
۵۴	۴-۱-۲-۱- شاخص های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن.....
۵۵	۴-۲-۱-۲- شاخص مقاومت به پارگی.....

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۲-۴- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص نوری کاغذ سودای باگاس پس از افزودن کربنات کلسیم	۵۶
۱-۲-۲-۴- درجه روشنی و درجه ماتی	۵۷
۳-۲-۴- نتایج بررسی اثر ماندگاری ماده پرکننده در کاغذ با استفاده از ساکارز و مقایسه آن با کمک نگهدارنده پلی آکریل آمید کاتیونی	۵۹
۳-۴- آنالیز تصویری با میکروسکوپ الکترونی ریشی گسیل میدان	۶۰
۴-۴- نتایج حاصل از طیف سنج پراش اشعه ایکس	۶۱
۵-۴- نتایج حاصل از اندازه گیری پتانسیل زتا ساکارز	۶۲
۶-۴- نتایج بررسی تاثیر تیمار آنزیمی بر ویژگی های خمیرکاغذ سودای باگاس	۶۲
۱-۶-۴- نتایج بررسی تاثیر تیمار آنزیمی بر خواص فیزیکی خمیرکاغذ سودای باگاس	۶۳
۱-۱-۶-۴- حجم ویژه (بالک) و دانسیته کاغذ	۶۴
۲-۱-۶-۴- درجه روانی	۶۵
۳-۱-۶-۴- مقدار ماندگاری آب	۶۶
۴-۱-۶-۴- درجه پلیمریزاسیون	۶۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۶-۴- نتایج بررسی تاثیر تیمار آنزیمی بر خواص مکانیکی کاغذ سودای باگاس.....	۶۸
۱-۲-۶-۴- شاخص مقاومت به کشش.....	۶۹
۲-۲-۶-۴- شاخص مقاومت به ترکیدن.....	۷۰
۳-۲-۶-۴- شاخص مقاومت به پارگی.....	۷۱
۳-۶-۴- نتایج بررسی تاثیر تیمارهای آنزیمی بر خواص نوری کاغذ سودای باگاس.....	۷۲
۱-۳-۶-۴- درجه روشنی و درجه ماتی.....	۷۳
۷-۴- آنالیز تصویری با میکروسکوپ الکترونی روشی گسیل میدان.....	۷۵
۸-۴- معادلات امتیازدهی.....	۷۶
۹-۴- نتایج تاثیر تیمار آنزیمی بهینه بر عملکرد ساکارز در بهبود ویژگی های کاغذ.....	۷۷
۱-۹-۴- نتایج تاثیر استفاده از تیمار آنزیمی بهینه و ساکارز بر خواص فیزیکی کاغذ سودای باگاس.....	۷۷
۱-۱-۹-۴- حجم ویژه (بالک) و دانسیته کاغذ.....	۷۸
۲-۱-۹-۴- مقاومت به عبور هوا.....	۸۰
۳-۱-۹-۴- مقدار ساکارز باقیمانده در کاغذ.....	۸۱
۴-۱-۹-۴- مقدار ماندگاری آب.....	۸۱

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸۲	۴-۹-۲- نتایج بررسی تاثیر استفاده از تیمار آنزیمی بهینه و ساکارز بر خواص مکانیکی کاغذ سودای باگاس.....
۸۳	۴-۹-۲-۱- شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن.....
۸۵	۴-۹-۲-۲- شاخص مقاومت به پارگی.....
۸۵	۴-۹-۳- نتایج بررسی تاثیر استفاده از تیمار آنزیمی بهینه و ساکارز بر خواص نوری کاغذ سودای باگاس.....
۸۶	۴-۹-۳-۱- درجه روشنی و درجه ماتی.....
۸۸	۴-۱۰-۱- نتایج بررسی تاثیر تیمار آنزیمی بهینه خمیر سودای باگاس بر عملکرد ساکارز پس از افزودن ماده پرکننده بر ویژگی‌های کاغذ و ماندگاری ماده پرکننده.....
۸۸	۴-۱۰-۱-۱- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص مکانیکی خمیر کاغذ سودای باگاس پیش تیمار شده با آنزیم بهینه پس از افزودن ماده پرکننده.....
۸۹	۴-۱۰-۱-۱-۱- شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن.....
۹۰	۴-۱۰-۱-۲- شاخص مقاومت به پارگی.....
۹۱	۴-۱۰-۲- نتایج بررسی تاثیر استفاده از ساکارز بر خواص نوری خمیر کاغذ سودای باگاس پیش تیمار شده با آنزیم بهینه پس از افزودن ماده پرکننده.....
۹۲	۴-۱۰-۲-۱- درجه روشنی و درجه ماتی.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹۴	۴-۱۰-۳- نتایج بررسی اثر تیمار آنزیمی بهینه خمیر سودای باگاس بر عملکرد ساکارز در بهبود ماندگاری ماده پرکننده.....
۹۷	۵- نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۹۷	۵-۱- تاثیر استفاده از ساکارز بر ویژگی های خمیر کاغذ سودای باگاس.....
۹۷	۵-۲- تاثیر تیمار آنزیمی بهینه خمیر سودای باگاس بر عملکرد ساکارز و ویژگی های کاغذ سودای باگاس.....
۹۸	۵-۳- پیشنهادات.....
۹۸	۵-۳-۱- پیشنهادات نظری.....
۹۹	۵-۳-۲- پیشنهادات کاربردی.....
۱۰۱	منابع.....

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- ترکیب‌های مختلف برای تولید کاغذ دست ساز از خمیر کاغذ سودای باگاس.....	۳۷
جدول ۴-۱- نتایج استفاده از ساکارز بر خواص فیزیکی خمیر کاغذ و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۴۱
جدول ۴-۲- نتایج استفاده از ساکارز بر خواص مقاومتی کاغذ و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۴۷
جدول ۴-۳- نتایج استفاده از ساکارز بر خواص نوری کاغذ و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۵۱
جدول ۴-۴- نتایج استفاده از ساکارز و کربنات کلسیم بر خواص مقاومتی کاغذ و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۵۳
جدول ۴-۵- نتایج استفاده از ساکارز و کربنات کلسیم بر خواص نوری کاغذ و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۵۷
جدول ۴-۶- نتایج استفاده از ساکارز بر ماندگاری ماده پرکننده در کاغذ و مقایسه آن با کمک نگهدارنده پلی آکریل آمید کاتیونی و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۵۹
جدول ۴-۷- نتایج تاثیر تیمار آنزیمی بر خواص فیزیکی خمیر کاغذ سودای باگاس و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۶۳
جدول ۴-۸- نتایج تاثیر تیمار آنزیمی بر خواص مکانیکی کاغذ سودای باگاس و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۶۹

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۴-۹- نتایج تاثیر تیمار آنزیمی بر ویژگی‌های نوری کاغذ سودای باگاس و گروه بندی میانگین ها با آزمون آماری دانکن.....	۷۳
جدول ۴-۱۰- نتایج استفاده از تیمار آنزیمی بهینه و ساکارز بر خواص فیزیکی کاغذ و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۷۸
جدول ۴-۱۱- نتایج استفاده از ساکارز بر خواص مقاومتی خمیر کاغذ پیش تیمار شده با آنزیم بهینه و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۸۳
جدول ۴-۱۲- نتایج استفاده از ساکارز بر خواص نوری خمیر کاغذ پیش تیمار شده با آنزیم بهینه و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۸۶
جدول ۴-۱۳- نتایج استفاده از ساکارز و کربنات کلسیم بر خواص مکانیکی خمیر کاغذ پیش تیمار شده با آنزیم بهینه و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۸۸
جدول ۴-۱۴- نتایج استفاده از ساکارز و کربنات کلسیم بر خواص نوری خمیر کاغذ پیش تیمار شده با آنزیم بهینه و گروه بندی میانگین‌ها با آزمون آماری دانکن.....	۹۲
جدول ۴-۱۵- نتایج تاثیر تیمار آنزیمی بر عملکرد ساکارز بر ماندگاری ماده پرکننده.....	۹۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۴-۱- تغییرات بالک کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۲
شکل ۴-۲- تغییرات دانسیته کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۳
شکل ۴-۳- تغییرات مقاومت به عبور هوای کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۴
شکل ۴-۴- تغییرات مقدار ساکارز باقیمانده در کاغذ در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۵
شکل ۴-۵- تغییرات مقدار ماندگاری آب در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۶
شکل ۴-۶- تغییرات شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۸
شکل ۴-۷- تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۴۹
شکل ۴-۸- تغییرات شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۵۰
شکل ۴-۹- تغییرات درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۵۲
شکل ۴-۱۰- تغییرات درجه ماتی کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۵۲
شکل ۴-۱۱- تغییرات شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز در تیمارهای مختلف.....	۵۴
شکل ۴-۱۲- تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز در تیمارهای مختلف.....	۵۵
شکل ۴-۱۳- تغییرات شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز در تیمارهای مختلف.....	۵۶
شکل ۴-۱۴- تغییرات درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز در تیمارهای مختلف.....	۵۸
شکل ۴-۱۵- تغییرات درجه ماتی کاغذهای دست‌ساز در تیمارهای مختلف.....	۵۸
شکل ۴-۱۶- تغییرات مقدار ماندگاری ماده پرکننده کاغذهای دست‌ساز در تیمارهای مختلف.....	۶۰

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۴-۱۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی رویشی گسیل میدان سطح کاغذ سودای باگاس دارای ۱۰ درصد پرکننده کربنات کلسیم.....	۶۱
شکل ۴-۱۸- طیف پراش اشعه ایکس ساکارز.....	۶۲
شکل ۴-۱۹- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر حجم ویژه کاغذهای دست‌ساز.....	۶۴
شکل ۴-۲۰- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر دانسیته کاغذهای دست‌ساز.....	۶۵
شکل ۴-۲۱- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر درجه روانی خمیر کاغذ.....	۶۶
شکل ۴-۲۲- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر مقدار ماندگاری آب.....	۶۷
شکل ۴-۲۳- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ.....	۶۸
شکل ۴-۲۴- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز.....	۷۰
شکل ۴-۲۵- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز.....	۷۱
شکل ۴-۲۶- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز.....	۷۲
شکل ۴-۲۷- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز.....	۷۴
شکل ۴-۲۸- تاثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر درجه ماتی کاغذهای دست‌ساز.....	۷۵
شکل ۴-۲۹- تصاویر FE-SEM خمیر سودای باگاس بدون تیمار آنزیمی (الف) و خمیر پیش تیمار شده با غلظت آنزیم ۰/۵IU و زمان واکنش یک ساعت (ب).....	۷۶
شکل ۴-۳۰- تغییرات بالک کاغذهای دست‌ساز در مقادیر مختلف ساکارز.....	۷۹