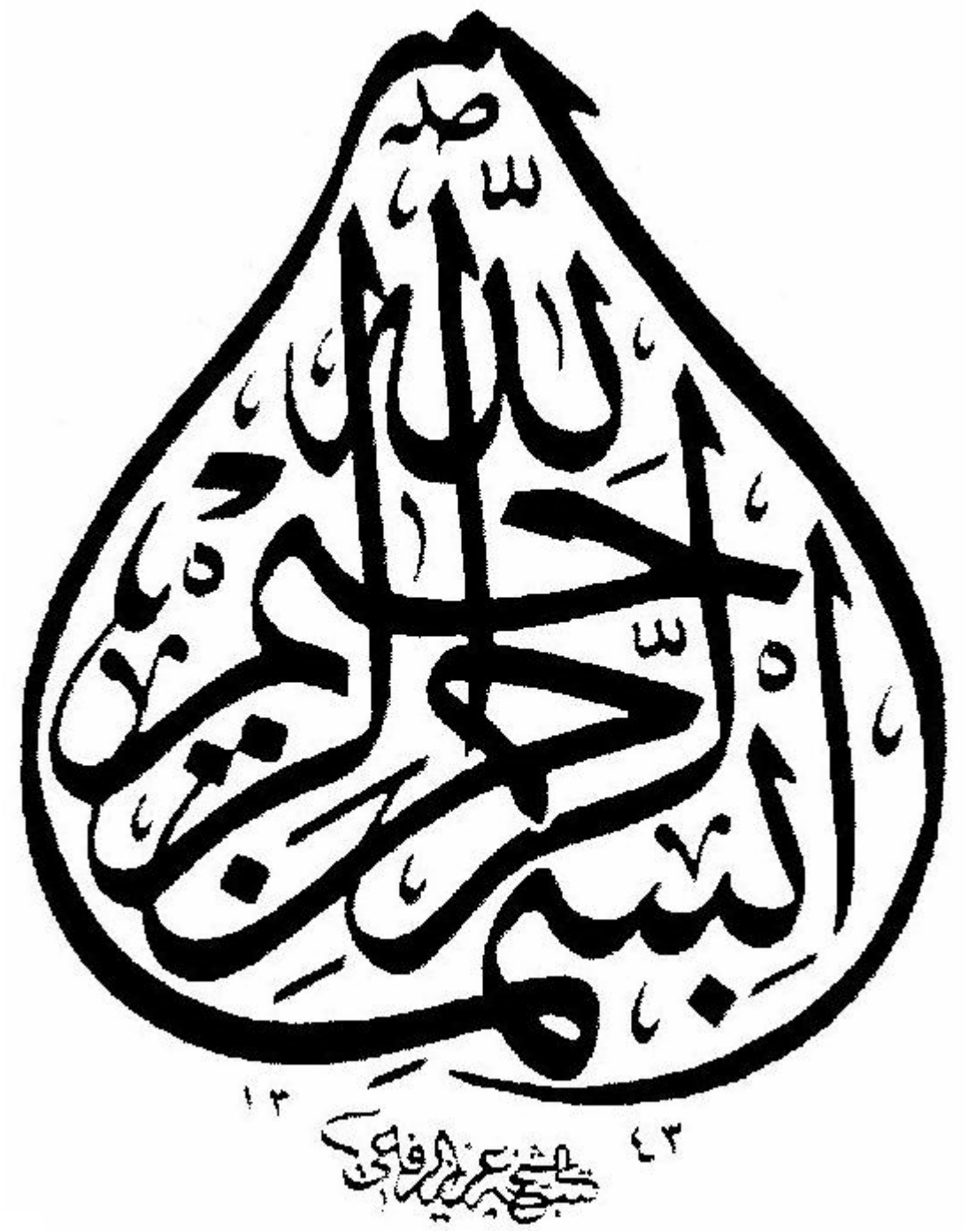

و صلی الله علیک یا ولی العصر

بنام خدا

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی شیمی

بررسی اثرات جریان برگشتی در فرایند تولید زانتان

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی

حامد تفضلی شادپور

بهار ۸۴

بنام خدا

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی

بررسی اثرات جریان برگشتی در فرایند تولید زانتان

حامد تفضلی شادپور
استاد راهنما : دکتر شاهرخ شاه‌حسینی

بهار ۸٤

تهران- نارمک- دانشگاه علم و صنعت ایران.

برای آنها که دوستشان دارم ...

... آنان که مهربانانه در کنارمند

چکیده

صمغ زانتان یک پلی‌ساکارید با منبع میکروبی است و با کشت میکرواورگانیسم *زانتوموناس کمپستریس* تشکیل می‌شود. این صمغ دارای کاربردهای فراوانی در بازیافت نفت، داروسازی وصنایع غذایی به عنوان سیال ویسکوز می‌باشد. مشکل اصلی فرایند ناپیوسته، گرانروی بالای محیط کشت بدلیل حضور زانتان است. برای تولید و جداسازی پیوسته این صمغ فرایندی سه مرحله ای پیشنهادشد. در مرحله دوم پس از تولید در بیورآکتور، بخشی از زانتان بوسیله میکروفیلتراسیون و در مرحله سوم محیط کشت بوسیله اولترافیلتر از جریان محصول جدا می‌گردد. بدین ترتیب با افزایش غلظت زانتان در مسیر خروجی، میزان الکل مصرفی در پایین دستی، برای ترسیب زانتان، کاهش می‌یابد. همچنین بدلیل بازگشت محیط کشت و میکرواورگانیسم‌ها به داخل بیورآکتور، هزینه تهیه آنها نیز در مجموعه حفظ می‌گردد. در این تحقیق مراحل اول و دوم این فرایند مورد بررسی قرار گرفت. می‌توان گفت اثر غلظت اولیه زانتان در خوراک میکروفیلتر، در فشارهای بالا چندان قابل مشاهده نیست. غلظت خاصی از زانتان وجود دارد که حداقل میزان جریان نفوذی و درصد جداسازی را داراست.افزایش جریان حجمی و اختلاف فشار دو سمت فیلتر به افزایش جریان نفوذی کمک می‌کند. کاهش فشاروافزایش جریان حجمی باعث افزایش درصد جداسازی می‌شود.

در کشت میکروبی با بیورآکتور در شرایط پیوسته و ناپیوسته غلظت زانتان تا ۹،۹ گرم بر لیتر و غلظت باکتری تا ۱،۸ گرم بر لیتربدست آمد. میزان بیشینه بازده برای زانتان به گلوکز۱،۴۷ و برای باکتری به نیتروژن ۲،۱۲۴ گرم بر گرم تعیین شد. نرخ رشد ویژه برابر ۰،۱۲ بر ساعت وقابلیت تولید برای زانتان برابر ۰،۲۱ و برای باکتری ۰،۰۲۹ گرم بر لیتر بر ساعت بدست آمد.

قابلیت تولید در واحد سطح میکروفیلتر در بازه ۳ تا ۰،۹٤ گرم بر ساعت بر مترمربع ارائه شد. سطح حداقل فیلتر برای برابری قابلیت تولید سامانه میکروفیلتر در قیاس با بدون آن برابر ۰،۲۲۳ متر مربع است.

مدلی مناسب برای بررسی فرایند ناپیوسته صمغ زانتان ارائه گردید که مجموع مربعات خطا برای پیش بینی غلظت‌ها بر مبنای گرم بر لیتر، تقسیم بر تعداد نقاط تجربی برابر ۰،۰۰۵۹ برای سلول و ۰،۰۷۸۲ برای زانتان بدست آمد.

کلمات کلیدی: زانتان، *زانتوموناس کمپستریس*، میکروفیلتر، اولترافیلتر

"نفرین و آفرین‌ها بی ثمر است " **و تنها او شایسته ستایش است** ...

پشتیبانی علمی و فنی جناب آقای **دکتر شاه‌حسینی** استاد راهنما در این تحقیق شایان ستایش و تقدیر است.

از **خانم مهندس صالحین** همکار ارجمندم در آزمایشگاه تحقیقاتی بیوتکنولوژی دانشگاه علم و صنعت، که بدون حضور ایشان این تحقیق به فرجام نمی‌رسید نهایت تشکر را دارم.

خانم دکتر نعیم‌پور، جناب آقای دکتر مقصودی مسوولین محترم آزمایشکاه بیوتکنولوژی دانشگاه علم و صنعت، از حمایت و همیاری شما متشکرم.

و بر خود فرض می‌دانم از زحمات **جناب آقای اصفهانی** و **فلاح** مسوولین محترم آزمایشگاه‌های شیمی آلی و عملیات واحد، و تمامی صاحب‌نظران، دوستان و همکاران که به نحوی در پیشبرد این تحقیق سهیم بودند قدردانی نمایم.

فهرست نمادها

A: ثابت مدلهای سینتیکی ($(mol\ O_2).(g\ X)^{-1}.h^{-1}$)

B: ثابت مدلهای سینتیکی ($(mol\ O_2).(g\ X)^{-1}$)

A_1تا A_6 و B_1تا B_4 ضرایب مدلهای فیلتراسیون

CB : غلظت ماده حل شونده در ژل($mol.Cm^{-3}$)

C_b: غلظت مولی ماده حل شونده در حلال ($mol.L^{-1}$)

C_i: غلظت ماده i ($g.L^{-1}$). برای O_2 ($mol.L^{-1}$) با رو نویس × به معنای غلظت اشباع

C_{Xm}: نشانگر بیشینه غلظت قابل دسترس برای میکرواورگانیسم

D_{fi} : ضریب نفوذ برای فیلتر($C_m^2.s^{-1}$)

H_{fi} : ارتفاع نگهدارنده فیلتر(C_m)

J_V: جریان نفوذی ($L.m^{-2}.h^{-1}$)

K_{mt} : ضریب انتقال جرم

K_S و K_N : ثابت اشباع در معادله موناد

Lc: ثابت معادلات فیلتراسیون

L_{fi} : طول فیلتر (Cm)

MWCO: Molecular weight cut-off

N: عدد دور پره (rpm)

ΔP : اختلاف فشار دو سر فیلتر (bar)

Q : جریان حجمی خوراک به فیلتر ($L.h^{-1}$)

R: ثابت گازها

T : دما (کلوین)

Vs: نرخ جریان ظاهری هوا ($m.s^{-1}$)

Y: بازده ($g.g^{-1}$)

d_h: شعاع هیدرولیکی (Cm)

kLa: ضریب انتقال جرم اکسیژن (h^{-1})

k_x: بیشینه رشد ویژه $((g\ X).(g\ N)^{-1}.(g\ X)^{-1}.h^{-1})$

k_P: ثابت نفوذپذیری(در مبحث فیلتراسیون) بیشینه رشد ویژه$((g\ P).(g\ S)^{-1}.(g\ X)^{-1}.h^{-1})$

$m\,k_P$: ثابت مدلهای سینتیکی$((g\ P).(g\ X)^{-1}.h^{-1})$

n: ثابت مدلهای سینتیکی $((g\ P).(g\ X)^{-1})$

m_{o2} : ثابت مصرف اکسیژن $((mol\ O_2).(g\ X)^{-1}.h^{-1})$

t : زمان (h)

α: ثابت مدلهای سینتیکی $((g\ S).(g\ X)^{-1}.h^{-1})$

β: ثابت مدلهای سینتیکی $((g\ S).(g\ X)^{-1})$

δ: نشانگر اثر متقابل بین محلول و حلال است. اگر غشاء کل ماده حل شونده را رد نکند $\delta = 1$ و اگر هر دو حلال و ماده حل شونده از غشاء عبور کنند $\delta = 0$ خواهد بود.

μ: گرانروی (CP)

μ_m: نرخ رشد ویژه بیشینه (h^{-1})

Re،SC،Sh اعداد بدون بعد به ترتیب رینولد، اشمیت و شروود

A'،ω ،θ ،β ،α : ضرایب بدون بعد کمکی در معادلات فیلتراسیون

زیر نویس‌ها:

B,b: نشانگر خاصیت در بالک مایع

D:انحلال (T_D: دمای انحلال[1])

M:اندازه‌گیری (T_M: دمای اندازه‌گیری[2])

N: نشانگر منبع نیتروژنی

O_2: نشانگر اکسیژن

P: نشانگر زانتان

S: نشانگر منبع کربنی

w: نشانگر خاصیت در کنار دیواره

X: نشانگر میکرواورگانیسم

0: نشانگر میزان اولیه

[1] Dissolution Temperature

[2] Measurment Temperature

فهرست مطالب

چکیده.....ب

فهرست نمادها..... .....د

فهرست مطالب.....و

فهرست اشکال.....ی

فهرست جداول.....ص

فصل اول: مروری بر تحقیقات پیشین ۳

۱-۱ خصوصیات صمغ زانتان.....٤

۱-۱-۱ خصوصیات عمومی‌صمغ زانتان.....٤

۱-۱-۲ کاربردهای صمغ زانتان.....۱۰

۱-۲ خصوصیات میکرواورگانیسم *زانتوموناس کمپستریس*.....۱۳

۱-۳ نگاهی اجمالی به فرایند تولید و فراوری صمغ زانتان ۱۸

۱-۳-۱ سویه میکرواورگانیسم و شرایط نگهداری.....۱۹

۱-۳-۲ مایه تلقیح.....۲۰

۱-۳-۳ شرایط مورد استفاده در رشد میکرواورگانیسم وتولید محصول ۲۱

۱-۳-۴ نتایج رشد و تولید محصول و ارائه منحنی‌های رشد، تولید و مصرف ۲۷
۱-۳-۵ روش‌های آنالیز ۳۲
۱-۳-۶ متابولیسم تولید صمغ زانتان در میکرواورگانیسم *زانتوموناس کمپستریس* ۳٤
۱-۴ فرایند فراوری صمغ زانتان در سامانه‌های فیلتراسیون ۳۵
۱-۴-۱ تئوری فیلتراسیون‌های غشایی ۳۵
۱-۴-۲ اثر عوامل مختلف براولترافیلتراسیون ٤۱
۱-۴-۳ بررسی اقتصادی فرایند اولترافیلتراسیون ۵۱
۱-۴-۴ فرایند الکتروفیلتراسیون در جداسازی صمغ زانتان ۵۵
۱-۵ مدل‌سازی فرایند تولید صمغ زانتان ۵٦
۱-۵-۱ مدل‌های غیر ساختاری ۵۷
۱-۵-۲ مدل‌های ساختاری ٦۲
۱-۵-۳ مدل‌های متفرقه ۷۱
فصل دوم: مواد و روشها ۷۲
۲-۱ تجهیزات ۷٦
۲-۱-۱ بیورآکتور ۷٦
۲-۱-۲ سامانه میکروفیلتراسیون ۷۹
۲-۲ طراحی آزمایش‌ها ۸۲

۲-۲-۱ چیدمان آزمایش‌ها درسامانه فیلتراسیون ۸۲

۲-۲-۲ طراحی آزمایش‌ها در فرایند کشت ناپیوسته، فرایند کشت پیوسته با سامانه میکروفیلتر و مدل‌سازی فرایندکشت نا پیوسته ۸۵

۲-۳ روش انجام آزمایش‌ها ۸۵

۲-۳-۱ آزمایش در سامانه فیلتراسیون ۸۵

۲-۳-۲ سویه مورد استفاده و شرایط نگهداری ۸۸

۲-۳-۳ تهیه مایه تلقیح ۹۰

۲-۳-۴ تهیه محیط کشت تولید در بیورآکتور ۹۱

۲-۳-۵ شرایط تولید و شرح آزمایش‌ها در بیورآکتور ۹۳

۲-۴ روش‌های مدل‌سازی ۹۶

۲-۴-۱ مدل‌سازی جریان نفوذی در فیلتراسیون ۹۶

۲-۴-۲ مدل‌سازی درصد جداسازی در فیلتراسیون ۹۷

۲-۴-۳ مدل‌سازی برای رشد میکرواورگانیسم و تولید زانتان در بیورآکتور ۹۷

۲-۵ روش‌های آنالیز ۹۹

۲-۵-۱ تعیین غلظت سلول موجود در محیط کشت ۹۹

۲-۵-۲ تعیین غلظت صمغ زانتان ۱۰۰

۲-۵-۳ اندازه‌گیری نیترات آمونیوم ۱۰۱

۲-۵-۴ اندازه‌گیری گلوکز ۱۰۲

فصل سوم: نتایج ۱۰٤

۳-۱ فرایند فیلتراسیون ۱۰۵
۳-۱-۱ جریان نفوذی ۱۰۵
۳-۱-۲ درصد جداسازی ۱۱٤
۳-۲ مدل‌سازی فرایند فیلتراسیون ۱۱۹
۳-۳ آزمایش‌های بیورآکتور ۱۲۵
۳-۳-۱ منحنی رشد، تولید صمغ زانتان، مصرف سوبستراها، دور موتور و اکسیژن حل شده ۱۲۵
۳-۳-۲ محاسبه نرخ رشد ویژه بیشینه ۱۳۰
۳-۳-۳ محاسبه بازده ۱۳۱
۳-۳-۴ قابلیت تولید ۱۳۲
۳-۳-۵ اثرات سامانه میکروفیلتراسیون بعد از بیورآکتور ۱۳۳
۳-۴ مدل‌سازی فرایند تولید صمغ زانتان ۱۳٦
فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها ۱٤۲
منابع و مراجع ۱۵۰
پیوست: برنامه‌های کامپیوتری برای مدل‌سازی تحت Matlab ۱۵٤

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: ساختار پلی‌ساکارید خارج سلولی *زانتوموناس کمپستریس* ٦

شکل ۱-۲: ملکول تنهای زانتان (بالا و راست)شبکه ملکولی زانتان(بالا و چپ) شبکه ملکولی زانتان (پایین) ۷

شکل ۱-۳: سمت راست : تاثیر دمای اندازه‌گیری (T_M) بر گرانروی محلول زانتان(μ_a) (غلظت کلرید سدیم برابر۱ گرم بر لیتر، دمای انحلال برابر $^{\circ}C$ ۴۰ و غلظت زانتان برابر ۲ گرم بر لیتر) سمت چپ: اثر غلظت زانتان بر گرانروی محلول(دمای انحلال برابر $^{\circ}C$ ۴۰ و دمای اندازه‌گیری $^{\circ}C$ ۲۵و غلظت کلرید سدیم ۱ گرم بر لیتر است) ۹

شکل ۱-۴: گرانروی محلول زانتان اصلی استیل و پایروویک زدایی شده(کلرید سدیم=۱ گرم بر لیتر، غلظت زانتان ۲ گرم بر لیتر، دمای اندازه‌گیری و انحلال $^{\circ}C$ ۲۵) ۱۰

شکل ۱-۵: بیماری گیاهی حاصل از *زانتوموناس کمپستریس* ۱۳

شکل ۱-۶: عکسبرداری فلئوروسنس (راست) و Transmission electron micrograph(۱۲۰۰×) برای *زانتوموناس کمپستریس* ۱۵

شکل ۱-۷: کلونی‌های تولیدی بوسیله *زانتوموناس کمپستریس* ۱۸

شکل ۱-۸: نمونه‌ای از شرایط تولید میکرواورگانیسم و محصول زانتان ۲۵

شکل ۱-۹: میزان زانتان تولیدی و بازدهی تولید زانتان در مراجع مختلف ارائه شده بوسیله اوچوآ وهمکاران.....۲۸

شکل ۱-۱۰: (آ)و(پ) اثر pH وماده کنترل کننده آن بر تولید میکرواورگانیسم و محصول (ب)و(ت): پروفایل تخمیر و نتایج مدل ارائه شده.....۲۸

شکل ۱-۱۱: پروفایل تخمیر ارائه شده در دو دمای (آ):۲۸ (دمای بهینه رشد) و (ب): ۳۱ درجه سانتیگراد (دمای بهینه تولید) به همراه مقایسه مدلهای ارائه شده بر مبنای دما.....۲۹

شکل ۱-۱۲: اثر دور پره و دما بر تولید صمغ زانتان.آ: دما ۲۸ درجه سانتیگراد ب: ۲۱۰ دور بر دقیقه. محیط کشت هر دو مطابق مرجع.....۲۹

شکل ۱-۱۳ : پروفایل تخمیر ارائه شده توسط کارئون و همکاران برای دو حالت. کنترل اکسیژن حل شده در یک میزان با دور موتور. تغییر دور موتور در هر دو ساعت بوسیله حل در لحظه مدل سینتیکی.....۳۰

شکل ۱-۱۴ : آ میزان بازدهی برای جرم زنده(●)، دی اکسید کربن(○) و زانتان (□)، میزان نرخ ویژه رشد (●)، مصرف ساکاروز(■)، تولید دی اکسید کربن(○) و تجمع زانتان (□). ب: پروفایل غلظت و میزان مصرف برای نمک آمونیا(○)، و نمک نیترات(▲)و میزان نیتروژن درون سلولی(●). پ:پروفایل تخمیر شامل غلظت ساکاروز(■)، جرم زنده(●)، تجمع زانتان(□)، نرخ مصرف اکسیژن(♦)، نرخ تولید دی اکسید کربن(○).....۳۱

شکل ۱-۱۵: داده‌های تجربی اجزای درون سلول در طول فرایند تخمیر در بیورآکتور IPR (پروتئین‌های درون سلولی).....۳۲

شکل ۱-۱۶: شبکه متابولیکی سنتز زانتان و متابولیسم گلوکز در *زانتوموناس کمپستریس* NRRL-1459. ۳۵

شکل ۱-۱۷: انواع جداسازی‌ها بر مبنای اندازه ذرات ۳۷

شکل ۱-۱۸: تصویر شماتیک فرایندهای غشایی ۳۸

شکل ۱-۱۹: طریقه استفاده از معادلات پیشنهاد شده برای پیش بینی وضعیت جریان ۴۰

شکل ۱-۲۰: اثر زمان بر میزان جریان نفوذی در فرایند تغلیظ صمغ زانتان بوسیله اولترافیلتر برای دو غلظت اولیه مختلف برای زانتان در شرایط ۲۵ psig وجریان حجمی ۳۵۰ میلی‌لیتر ۴۴

شکل ۱-۲۱: بررسی اثر حضور یا عدم حضور سلول در اولترافیلتراسیون صمغ زانتان با غلظت ۲،۷٪ و فشار ۲۷psig و جریان حجمی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه ۴۵

شکل ۱-۲۲: اثر اختلاف فشار برجریان نفوذی و مقاومت فیلم غشا، (الف) برای آب، (ب) محلول ۲،۵٪ زانتان ۴۶

شکل ۱-۲۳: (آ) و (ب): اثر غلظت زانتان بر جریان نفوذی و بازدهی پمپ در ۲۵ psig (پ): اثر غلظت زانتان در مدول صفحه‌ای بر جریان نفوذی،(ت): اثر غلظت زانتان بر جریان نفوذی (ث): اثر غلظت زانتان در مدول صفحه‌ای بر جریان نفوذی در فشار ۱ بار ۴۸

شکل ۱-۲۴: اثر سرعت بر میزان جریان نفوذی ۴۹

شکل ۱-۲۵: اثر زانتان بر افت فشار ۴۹

شکل ۱-۲۶: اثر غلظت زانتان بر انرژی مصرفی ۵۰

شکل ۱-۲۷: اثر نرخ پمپاژ بر انرژی مصرفی ۵۰

شکل ۱-۲۸: اثر افت فشار دو سر فیلتر بر انرژی مصرفی ۵۱

شکل ۱-۲۹: محاسبه نرخ پمپاژ بهینه در دو قیمت متفاوت فیلتر ۵۲

شکل ۱-۳۰: اثر افت فشار بر قیمت زانتان تولیدی ۵۳

شکل ۱-۳۱: محاسبه غلظت بهینه در فرایند تولید زانتان با اولترافیلتر و الکل ٥٤

شکل ۱-۳۲: سمت راست: نمای شماتیک از فرایند الکتروفیلتراسیون. سمت چپ:توزیع زانتان در میدان الکتریکی و تولید لایه زانتان در اختلاف ولتاژ ۱،۸ در هر میلی‌متر و فشار صفر بار ۵۵

شکل ۱-۳۳: مسیر ساده متابولیکی برای مصرف نیتروژن در میکرواورگانیسم *زانتوموناس کمپستریس* ٦٦

شکل ۱-۳۴: انطباق دادهای تجربی با نتایج یک مدل ساختاری، Ochoa وهمکارانش ۲۰۰۴ ..... ٦٨

شکل ۱-۳۵: ارزیابی پروفایل غلظت بر اساس زمان برای جرم ز نده، زانتان، منبع کربن و نیتروژن آمینو اسیدها، DNA و RNA بوسیله مدل ساختاری اوچوآ و همکاران ۷۰

شکل ۱-۳۶: ارزیابی پروفایل غلظت مولی بر اساس زمان برای اکسیژن، پروفایل دور پره(دور بر دقیقه) و ضریب انتقال جرم اکسیژن(برساعت) بوسیله مدل ساختاری اوچوآ و همکاران ۷۰

شکل ۲-۱: نمایی شماتیک از فرایند پیشنهادی در مقایسه با فرایند مرسوم ۷٤

شکل ۲-۲: نمایی از بیورآکتور مورد استفاده ۷۹

شکل ۲-۳: دستگاه میکروفیلتراسیون..... ۸۰

شکل ۲-۴: نگهدارنده فیلتر ساخته شده ۸۱

شکل ۲-۵: : پلیت ۲۴ ساعته *زانتوموناس کمپستریس* ۹۰

شکل ۲-۶:تعیین وزن خشک سلول بر اساس دانسیته نوری در ۶۲۵ نانومتر برای داده‌های سری دوم آزمایش‌ها ۱۰۰

شکل ۲-۷: کالیبراسیون غلظت زانتان بر اساس گرانروی..... ۱۰۱

شکل ۲-۸:منحنی کالیبراسیون غلظت نیترات آمونیم با دانسیته نوری نمونه با معرف ۱۰۲

شکل ۳-۱:اثر غلظت زانتان و میکرواورگانیسم موجود درخوراک بر جریان نفوذی در جریان حجمی متوسط خوراک برابر ۱۴،۵۵ لیتر بر ساعت و اختلاف فشار ۰،۵ بار. با مقایسه نتایج آزمایش‌های۱(جریان حجمی خوراک برابر۱۷،۶۳ لیتر بر ساعت) و۲(۱۲،۵۲) و ۳(۱۵،۰۵)..... ۱۰۷

شکل ۳-۲: اثر غلظت زانتان و میکرواورگانیسم موجود در محلول بر جریان نفوذی در جریان حجمی متوسط خوراک برابر ۱۴،۵۵لیتر بر ساعت و اختلاف فشار۱،۵ بار. با مقایسه نتایج آزمایش‌های ۴(جریان حجمی خوراک برابر ۱۲،۵۲ لیتر بر ساعت) و۵(۱۵،۰۵) ۱۰۹

شکل ۳-۳: اثر غلظت زانتان و میکرواورگانیسم موجود در محلول بر جریان نفوذی در جریان حجمی متوسط خوراک برابر ۱۴،۵۵لیتر بر ساعت و اختلاف فشار۱،۵ بار.با

مقایسه نتایج آزمایش‌های ۴(جریان حجمی خوراک برابر ۱۲،۵۲ لیتر بر ساعت) و۵(۱۵،۰۵) ۱۰۹
شکل ۳-۴: اثر جریان حجمی خوراک بر جریان نفوذی در اختلاف فشار ۱ بار و غلظت اولیه زانتان در سطح ۲ بر اساس نتایج آزمایش‌های ۶(غلظت اولیه زانتان در خوراک۴،۲۹ گرم بر لیتر) و۷(۴،۷۸ گرم بر لیتر). ۱۱۰
شکل ۳-۵: اثر جریان حجمی خوراک بر جریان نفوذی در اختلاف فشار ۱ بار و غلظت اولیه زانتان در سطح ۲ بر اساس نتایج آزمایش‌های ۶(غلظت اولیه زانتان در خوراک۴،۲۹ گرم بر لیتر) و۷(۴،۷۸ گرم بر لیتر). ۱۱۱
شکل ۳-۶: اثر جریان حجمی خوراک و غلظت اولیه زانتان در خوراک بر جریان نفوذی در اختلاف فشار ۱ بار بامقایسه نتایج آزمایش‌های ۸و۹ ..... ۱۱۱
شکل ۳-۷: اثر اختلاف فشار و شوک فشاری بر جریان نفوذی در غلظت‌های مختلف با مقایسه نتایج آزمایش‌های۲و۴ و همچنین ۳و۵ ..... ۱۱۲
شکل ۳-۸:اثر غلظت اولیه زانتان در خوراک بر درصد جداسازی در اختلاف فشار ۰،۵ بار و جریان حجمی متوسط خوراک ۱۴،۵۵ لیتربر ساعت با مقایسه نتایج آزمایش‌های ۱،۲و۳ ..... ۱۱۵
شکل ۳-۹: اثرغلظت اولیه زانتان در خوراک بر درصد جداسازی در اختلاف فشار۱،۵ بار و جریان حجمی متوسط خوراک ۱۴،۵۵ لیتر بر ساعت در آزمایش‌های ۴و۵..... ۱۱۶

شکل ۳-۱۰: اثر جریان حجمی خوراک بر درصد جداسازی در اختلاف فشار۱ بار و غلظت اولیه زانتان در سطح ۲با مقایسه نتایج آزمایش‌های ۶و۷(یک نقطه) و ارائه نتایج آزمایش‌های ۸ و۹ ..... ۱۱۷

شکل ۳-۱۱: اثر اختلاف فشار بر درصد جداسازی در جریان حجمی متوسط خوراک ۱۴،۵۵ لیتر بر ساعت از مقایسه نتایج آزمایش‌های ۳و۵ باهم و همچنین ۱و۴..... ۱۱۸

شکل ۳-۱۲: غلظت‌های جریان نفوذی درآزمایش‌های ۱تا۹. ..... ۱۱۹

شکل ۳-۱۳: نتایج حاصل از مدل‌سازی برای درصد جداسازی بوسیله معادله ۳-۱ ..... ۱۲۳

شکل ۳-۱۴: مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی برای جریان نفوذی بوسیله معادله ۳-۲ با داده‌های تجربی.از آزمایش‌های ۱ تا ۹ و کشت پیوسته با بیورآکتور. محور عمودی جریان نفوذی(لیتر بر ساعت بر مترمربع) و افقی زمان(دقیقه) است..... ۱۲٤

شکل ۳-۱۵: منحنی رشد، تولید زانتان و مصرف سوبستراها نتایج آزمایش ۱ نقطه چین و ۲ خط می‌باشد..... ۱۲۷

شکل ۳-۱۶: منحنی درصد اکسیژن حل شده در طول فرایند کشت ناپیوسته برای تولید صمغ زانتان از نتایج آزمایش‌های ۱ و ۲..... ۱۲۹

شکل ۳-۱۷: تغییرات دور موتور برای آزمایش‌های ۱ و ۲ ..... ۱۲۹

شکل ۳-۱۸: محاسبه نرخ رشد ویژه بیشینه برای آزمایش دوم ۱۳۰

شکل ۳-۱۹: بازده لحظه‌ای میکروارگانیسم بر حسب نیتروژن مصرفی بر مبنای اولین نمونه..... ۱۳۱

شکل ۳-۲۰: بازده لحظه‌ای زانتان نسبت به سوبسترای گلوکز بر مبنای اولین نمونه..... ۱۳۱

شکل ۳-۲۱: تغییرات جریان نفوذی پس از باز کردن مسیر میکروفیلتراسیون در ساعت ۴۲ از آغاز فرایند ناپیوسته ۱۳۵
شکل ۳-۲۲: مقایسه نتایج مدل‌سازی برای مدل‌های Bتا D باداده‌های مربوط به آزمایش اول ۱۳۸
شکل ۳-۲۳: مقایسه نتایج مدل پیشنهادی بر رشد میکرواورگانیسم و مصرف زانتان با داده‌های تجربی از آزمایش اول ۱۴۰
شکل ۳-۲۴: : مقایسه نتایج مدل پیشنهادی بر تولید زانتان و مصرف گلوکز با داده‌های تجربی از آزمایش اول ۱۴۰
شکل ۳-۲۵ مقایسه نتایج مدل پیشنهادی بر رشد میکرواورگانیسم و مصرف زانتان با داده‌های تجربی از آزمایش دوم ۱۴۱
شکل ۳-۲۶: مقایسه نتایج مدل پیشنهادی بر تولید زانتان و مصرف گلوکز با داده‌های تجربی از آزمایش دوم..... ۱۴۱