

علمی پژوهشی

بررسی مدل‌های همدمای جذب بر قابلیت حذف ناخالصی‌های ملاس رقیق چغندر قند با استفاده از کربن فعال پودری

بیوک آقا فرمانی^{۱*}، صمد بدبدک^۱، سعید داداشی^۲

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۳ / تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۱۱)

چکیده

کربن فعال پودری ظرفیت جذب بالایی داشته و دارای سطح غیرقطبی قابل توجهی است. نیروهای سطح (واندروالس و لاندن) جذب قوی‌تری را بین سطح کربن و ناخالصی‌ها نسبت به ملکول‌های موجود در ملاس رقیق به وجود می‌آورد. هدف این پژوهش حذف انواع ناخالصی‌ها مانند ترکیبات رنگی، عوامل کدورت‌زا، ترکیبات فنولی، آنتوسیانین و پروتئین ملاس رقیق چغندر قند (ملاس رقیق چغندر قند ۳۵٪) با استفاده از کربن فعال پودری در چهار سطح (۰/۶۱، ۰/۷۸، ۱/۱۳ و ۱/۸۳ g بر ۱۰۰ g ملاس رقیق) در pH ۴/۵ بود. برای پیش بینی کاهش ناخالصی‌های ملاس رقیق چغندر قند، مدل‌های همدمایی جذب فروندلیچ و لانگمویر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی همدماهای تعادلی جذب بر اساس ضریب تبیین و ظرفیت جذب نشان داد که جذب ناخالصی‌های مانند ترکیبات رنگی ($R^2=0/9605$ و ظرفیت جذب ۰/۰۷۹۴)، ترکیبات فنولی ($R^2=0/7605$ و ظرفیت جذب ۰/۹۷۵۵) و پروتئین ($R^2=0/9679$ و ظرفیت جذب ۱/۹۳۱۴) از مدل فروندلیچ پیروی کرد. عوامل کدورت‌زا و ترکیبات آنتوسیانینی از هیچ کدام از مدل‌های بررسی شده تبعیت نکرد.

کلید واژه‌گان: ملاس رقیق چغندر قند، همدمایی جذب، کربن فعال پودری، ناخالصی.

*مسئول مکاتبات: bfarmani@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

ترکیبات رنگی در طی استخراج و خالص‌سازی شربت خام چغندر قند و در طی مراحل مختلف فرآیند تصفیه تولید می‌شوند. در فرآیند دیفوزیون ترکیبات رنگی ملانین‌ها، ملانوییدین‌ها، ترکیبات رنگی حاصل از تجزیه هگزوزها در محیط قلیایی، کارامل‌ها و ترکیبات رنگی‌آهن‌دار تولید می‌شوند. طی مراحل تبخیر و کریستالیزاسیون هم ترکیبات رنگی از نوع ملانوییدین‌ها و کارامل‌ها از طریق واکنش‌های غیرآنزیمی حاصل می‌شوند [۱ و ۲].

روش‌های زیادی مانند احیاء و تهنشینی، تبادل یونی، الکترولیز، اسمز معکوس، استخراج با حلال، جذب سطحی و ترسیب الکتروشیمیایی برای حذف ناخالصی‌ها از یک محیط آبی پیشنهاد شده است. لذا در سال‌های اخیر روش‌های با کارایی بالا و هزینه پایین جایگزین روش‌های با کارایی پایین و پر هزینه برای حذف ناخالصی‌ها شده است [۳]. در بین روش‌های جذب سطحی، کربن فعال بهترین و بیشترین جذب را در حذف انواع ناخالصی‌ها نشان داده است [۴]. جذب سطحی می‌تواند روشی مفید و کم هزینه برای جداسازی انواع ناخالصی‌ها از ملاس باشد. این روش یک فرآیند انتقال جرم ماده از فاز مایع به سطح جامد است. سطح جاذب مورد استفاده باید متخلخل و دارای سطح ویژه زیادی باشد. کربن فعال به دلیل داشتن سطح تماس زیاد به طور مؤثری می‌تواند انواع ناخالصی‌های شیمیایی مانند ترکیبات رنگ‌زا و غیره را از فازهای مایع از طریق جذب سطحی حذف کند. به طوری که کربن فعال به طور وسیع برای حذف ترکیبات آلی از پساب و حذف رنگ در تصفیه‌خانه‌های قند استفاده می‌شود [۵ و ۶].

ترکیبات رنگی ملانوییدینی موجود در ملاس حاصل از صنایع قند و پساب صنایع تخمیری در صورت تخلیه به داخل آب باعث آلودگی سیستم منابع آب می‌شوند. ملانوییدین به علت داشتن رنگ قهوه‌ای تیره، مانع از نفوذ نور خورشید به داخل آب شده و از فتوسنتز گیاهان دریایی جلوگیری می‌کند. در نتیجه‌ی این عمل شرایط غیر هوازای ایجاد شده و اکثر گیاهان دریایی هوازی از بین می‌روند [۵]. با توجه به بررسی حذف رنگ و سایر ناخالصی‌ها از محلول‌های قندی با مقادیر متفاوت کربن فعال، مشاهده شده

است که بیشترین عمل رنگ‌بری و ناخالصی‌زدایی توسط کربن فعال پودری با مقادیر متفاوت کربن فعال در طی زمان تماس ۱۵-۱۰ min بوده که به عنوان نقطه تعادل بین فاز جامد و محلول می‌باشد و بعد از آن با صرف زمان بیشتر، ناخالصی بیشتری از محلول قندی جداسازی نمی‌شود [۷].

مهم‌ترین ویژگی کربن فعال ماهیت غیرقطبی بودن سطح آن است. نیروهای سطح مانند واندروالسی^۱ جذب قوی‌تری را بین سطح کربن و ملکول‌های رنگی نسبت به ملکول‌های رنگی و لیکور قند به وجود می‌آورند. ملکول‌های رنگی درشت در سطح کربن فعال در نقاط متعدد به طور قوی جذب و نگه داشته می‌شوند. ناحیه سطحی وسیع ($2000-5000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) قابل استفاده همراه با ساختار متخلخل نشان‌دهنده این است که مقادیر زیاد ناخالصی ممکن است قبل از اشیاع کربن فعال، جذب شود [۸].

در خالص‌سازی ویناس چغندر قند با استفاده از انواع کربن فعال تجاری، برای جذب و حذف ترکیبات پلی‌فنلی و رنگ تیره مطالعات زیادی انجام شده است. تیمار ویناس چغندر قند با کربن فعال پودری به عنوان یک مرحله ضروری برای استفاده از رزین‌های تبادل یونی برای تکمیل مراحل بعدی فرآیند خالص‌سازی بیان شده است. کاکپورت و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که pH پایین (۳ pH) کارایی خوبی در حذف انواع ترکیبات آلی و پلی‌فنلی دارد [۹].

امروزه برای توصیف رفتار جاذب، معادلات همدمای جذب مختلفی توسعه پیدا کرده است. به این منظور همدمایی‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی قرار می‌گیرد که در این خصوص از داده‌های بدست آمده از آزمایشات تجربی استفاده می‌شود. جذب در یک سیستم جامد-مایع شامل جذب ماده حل شدنی از محلول و تجمع آن در سطح ماده جامد است. در این حالت بین غلظت ماده حل شدنی موجود در محلول با غلظت آن در سطح ماده جامد تعادل دینامیکی ایجاد می‌شود. نسبت توزیع ماده حل شدنی بین دو فاز تابعی از غلظت ماده حل شدنی مورد نظر، غلظت و ویژگی‌های مواد حل شدنی رقیب و ویژگی‌های محلول است. بهترین روش برای بیان این توزیع، تعیین مقدار ماده حل شدنی جذب شده در واحد جرم جاذب به عنوان تابعی

1. van der Waal's forces

شده از کاغذ صافی ۲ لایه (آلمانی کاهی، پرزدار و نقوش‌دار برجسته، بدون خاکستر با مارک MN و تیپ ۶۲۰) استفاده شد. در مرحله دوم، مدل‌های همدمایی جذب فروندلیچ و لانگمویر برای پیش‌بینی جذب ترکیبات رنگی، کدورت، فنل، آنتوسیانین پروتئین، همراه با شفافیت با توجه به داده‌های تجربی بدست آمده از تیمار ماس رقیق چغندر قند بررسی شد.

۲-۲-۲- آزمايشات فیزیکی و شیمیایی

۲-۲-۲-۱- تعیین بریکس و pH

بریکس (درصد مواد جامد محلول) نمونه‌ها در شرایط آزمايشگاهی (۲۰°C) با رفاکتومتر رومیزی (اتاگو، مدل NAR 1T، ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری pH از pH متر (هاننا، مدل 211، آمریکا) بعد از کالیبره کردن با بافرهای ۷ و ۴ استفاده شد [۱۲].

۲-۲-۲-۲- اندازه‌گیری رنگ محلول

مقدار جذب نمونه‌های صاف و خنثی شده (pH=۷) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (جنوی، مدل 6405 UV/Vis، انگلستان) در طول موج ۴۲۰ nm اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار رنگ نمونه‌ها بر حسب واحد ایکومزا محاسبه شد [۱۲].

۲-۲-۲-۳- تعیین مقدار کدورت

کدورت نمونه‌ها با تعیین مقدار جذب در طول موج ۹۰۰ nm با دستگاه اسپکتروفتومتر (جنوی، مدل 6405 UV/Vis، انگلستان) و بر حسب NTU محاسبه گردید [۱۳].

۲-۲-۲-۴- اندازه‌گیری شفافیت

شفافیت نمونه‌ها با اندازه‌گیری درصد میزان نور عبوری در ۶۶۰ در دمای اتاق با دستگاه اسپکتروفتومتر مشخص شد [۱۴].

۲-۲-۲-۵- تعیین مقدار پروتئین

از روش برادفورد در طول موج ۵۹۵ nm با اسپکتروفتومتر برای اندازه‌گیری پروتئین استفاده شد [۱۵]. برای بیان مقدار پروتئین از منحنی استاندارد رسم شده با استفاده از پروتئین آلبومین سرم گاوی استفاده گردید.

۲-۲-۲-۶- مقدار فنل کل

فنل نمونه‌ها با روش فولین-سیوکالتو [۱۶] با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ nm اندازه‌گیری شد. برای بیان

از غلظت باقیمانده ماده حل شده در حال تعادل در دمای ثابت می‌باشد، به این بیان همدمایی جذب گفته می‌شود. بنابراین همدمایی جذب برای تعیین ظرفیت تئوریک جذب یک و یا تعداد ناخالصی مشخص به کار می‌رود که در صنعت قند برای پیش‌بینی حذف انواع ناخالصی‌ها کاربرد دارد [۱۰ و ۱۱].

هدف از این مطالعه، ارزیابی همدمایی جذب انواع ناخالصی‌های ماس نهایی رقیق شده چغندر قند در سیستم واقعی با استفاده از غلظت‌های مختلف کربن فعال پودری به عنوان جاذب بود و بررسی برآزش مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ با داده‌های تجربی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌های ماس رقیق

چغندر قند

ماس نهایی چغندر قند (pH = ۸/۹) از کارخانه قند میان‌دوآب تهیه شد. مواد شیمیایی با درجه آنالیتیکال از شرکت مرک و سیگما آلمان تهیه شدند. برای تهیه ماس رقیق (۳۵٪ w/w) استفاده شد. مهم‌ترین ویژگی‌های ماس رقیق چغندر قند، درصد ساکاروز بالا (۱/۱۸/۱٪)، رنگ (۵۶۲۵۵/۲۷ ایکومزا)، کدورت (۴۵/۸۵ NTU)، شفافیت (۲۴ T%)، فنل کل (معادل ۸۳/۹ mg اسید گالیک در ۱۰۰ mL نمونه)، آنتوسیانین کل (۱/۴۶۹ mg) و پروتئین (معادل ۲۱۱ mg پروتئین آلبومین سرم گاوی در ۱۰۰ mL نمونه) بودند.

در مرحله اول، تاثیر کربن فعال پودری در ۴ سطح (۰/۷۸، ۰/۳۱، ۱/۱۳ و ۱/۸۳ g) در pH ۴/۵ (از محلول غلیظ اسید سیتریک برای تغییر pH ماس رقیق استفاده شد) بر میزان ترکیبات رنگی، کدورت، شفافیت، فنل کل، آنتوسیانین کل و پروتئین ماس رقیق ۳۵٪ مورد بررسی قرار گرفت. شرایط عملیاتی برای هر مرحله شامل: دما ۷۵°C (افزایش دما با استفاده از بن‌ماری بوچی، مدل RII، انگلستان)، زمان هم‌زدن ۱۵ min (همزن IKA آلمان) و سرعت هم‌زدن ۱۲۰ rpm بود. در پایان فرآیند عملیات برای جداسازی کربن فعال پودری استفاده شده از ماس رقیق تیمار

مقدار فنل کل از منحنی استاندارد رسم شده با استفاده از اسید گالیک استفاده گردید.

۲-۷- مقدار آنتوسیانین کل

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین کل نمونه‌ها از روش اختلاف pH استفاده شد [۱۷]. در این روش میزان جذب دو رقت تهیه شده با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۷۰۰ و ۵۲۰ nm اندازه‌گیری شدند و با استفاده از معادله مربوطه آنتوسیانین کل محاسبه گردید.

۲-۳- روش محاسبه با استفاده از مدل‌های

همدمایی جذب

۲-۳-۱- مدل همدمای جذب لانگمویر

در همدمای جذب لانگمویر فرض بر این است که تنها یک لایه جذب شونده به صورت یکنواخت با تعداد محدود مکان‌های جذب بر روی سطح جاذب تشکیل می‌شود. فرم خطی مدل همدمای جذب لانگمویر [۱۸] به صورت معادله زیر می‌باشد:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (1)$$

که: C_e : غلظت ناخالصی مورد نظر در محلول در لحظه تعادل یا غلظت تعادلی ($mg L^{-1}$)، q_e : مقدار ناخالصی جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در شرایط تعادل ($mg g^{-1}$)، q_m : حداکثر ناخالصی جذب شده ($mg kg^{-1}$) (ظرفیت جذب بیشینه) و K_L ثابت تعادل جذب ($L g^{-1}$) (در دمای معین) مربوط به انرژی جذب است. برای محاسبه K_L می‌توان از رابطه (۲) استفاده کرد:

$$K_L = q_m \times b \quad (2)$$

که در آن، b : شیب و q_m : عرض از مبدا معادله خطی رسم شده می‌باشد.

پارامتر اصلی معادله لانگمویر که شکل منحنی همدمای جذب را نشان می‌دهد، یک ثابت بدون بعد به نام پارامتر تعادل یا R_L است که با استفاده از معادله (۳) تعیین می‌شود:

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (3)$$

که در آن، C_0 : غلظت اولیه ناخالصی مورد نظر ($mg L^{-1}$) است. مقدار $R_L = 0$: بیانگر همدمایی جذب غیر قابل برگشت،

$0 < R_L < 1$: همدمایی جذب مطلوب، $R_L = 1$: همدمایی جذب خطی و $R_L > 1$: همدمایی جذب نامطلوب است.

۲-۳-۲- همدمای جذب فروندلیچ

همدمای جذب فروندلیچ برای جذب تک لایه‌ای و همچنین برای جذب چندلایه‌ای می‌باشد. در این مورد بر این فرض استوار است که جذب شونده روی سطح غیرهمگن یک جاذب جذبی می‌شود [۱۹]. فرم خطی معادله فروندلیچ به صورت معادله (۴) می‌باشد:

$$(4)$$

که: C_e : غلظت ناخالصی مورد نظر در محلول در لحظه تعادل یا غلظت تعادلی ($mg L^{-1}$)، q_e : مقدار ناخالصی جذب شده به ازای واحد جرم جاذب در شرایط تعادل ($mg g^{-1}$)، K_f : ضریب ثابت فروندلیچ مربوط به ظرفیت جذب ($mg L^{-1}$) و n : شدت جذب می‌باشد. وقتی که منحنی $\log q_e$ بر حسب $\log C_e$ رسم می‌شود، یک خط راست با شیب $1/n$ (شاخصی از شدت جذب) و عرض از مبدا $\log K_f$ (شاخصی از ظرفیت جذب) به دست می‌آید. اگر مقدار $1/n$ کمتر از ۱ باشد، بیانگر جذب همدمای فروندلیچ خواهد بود. از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ برای رسم منحنی‌ها، تعیین معادلات و ضریب تبیین استفاده شد.

۲-۴- روش تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف کربن فعال پودری بر ویژگی‌های مورد بررسی، از روش طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. آنالیز واریانس به روش ANOVA و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ ($p < 0/05$) و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت و جهت رسم شکل‌ها از آن نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر غلظت‌های مختلف کربن فعال

پودری بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی ملاس

رقیق چغندر قند

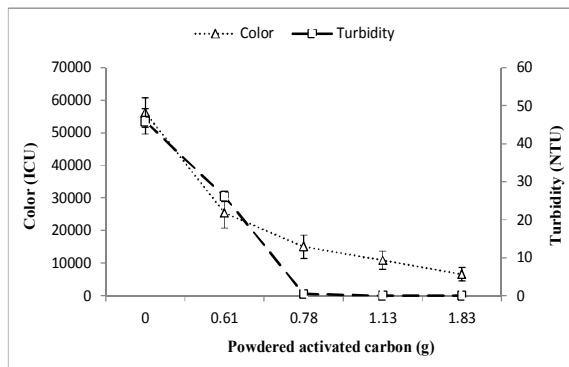


Fig 1 Impact of powdered activated carbon (0.61, 0.78, 1.13 and 1.83 g 100g⁻¹ dilute molasses) at pH 4.5 on sugar beet dilute molasses color and turbidity.

در بررسی تغییرات مربوط به شفافیت ملاس رقیق، مشاهده شد که با افزایش مقدار کربن فعال پودری از ۰/۶۱ به ۱/۸۳ g در pH ۴/۵، مقدار شفافیت از ۲۴ به ۹۹/۳ T% (افزایش ۷۵/۸۳٪) افزایش یافت (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کربن فعال پودری، شفافیت به طور معنی‌دار در ملاس رقیق افزایش یافت ($p < 0.05$) (شکل ۲). با افزایش غلظت کربن فعال پودری توانایی جذب شیمیایی ناخالصی‌های مانند رنگ و کدورت افزایش یافت که باعث افزایش شفافیت نمونه‌ها شد.

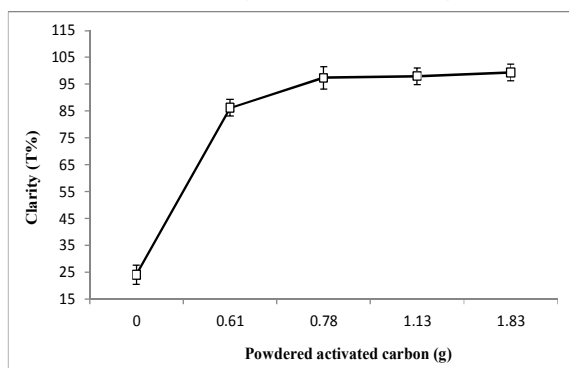


Fig 2 Impact of powdered activated carbon (0.61, 0.78, 1.13 and 1.83 g 100g⁻¹ dilute molasses) at pH 4.5 on sugar beet dilute molasses clarity.

با در نظر گرفتن نتایج مشاهده شده مربوط به کاهش قابل توجه ترکیبات رنگی و کدورت و افزایش قابل ملاحظه‌ی شفافیت (شکل‌های ۱ و ۲)، مقدار ۱/۸۳ g کربن فعال پودری در pH ۴/۵ مناسب‌ترین مقدار تعیین شد.

افزایش مقدار جذب ناخالصی‌ها از ملاس رقیق چغندر قند با تغییر pH از ۸/۹ به ۴/۵ از طریق جذب ترکیبات رنگی، کدورت و سایر ناخالصی‌ها با استفاده از کربن فعال پودری کاملاً مشهود بود. این موضوع ناشی از تغییر میزان یونیزاسیون گروه‌های عاملی موجود در جایگاه‌های جذب و در نتیجه تغییر بار سطح جاذب (کربن فعال پودری) و همچنین میزان یونیزاسیون ناخالصی‌های موجود در ملاس رقیق در طی تیمار می‌باشد. به طور مشابهی فرمانی و اسمعیلی (۲۰۱۷) گزارش کردند که بیشترین مقدار جذب ناخالصی‌های ملاس رقیق در pH ۴/۵ حاصل می‌شود. به طوری که با افزایش غلظت کربن فعال پودری از ۰/۶۱ به ۱/۸۳ بر ۱۰۰ g ملاس رقیق در pH ۴/۵، رنگ، کدورت، فنل کل، آنتوسیانین کل و پروتئین به ترتیب ۸۸/۳۱٪، ۱۰۰٪، ۷۶/۵۲٪، ۸۶/۳۹٪ و ۹۸/۵۱٪ کاهش و شفافیت ۷۵/۸۳٪ افزایش یافت. [۱۹].

مقادیر ترکیباتی که می‌تواند از محلول قندی توسط کربن فعال حذف شود بستگی به عواملی مانند زمان تماس، مقدار کربن فعال، دما، غلظت یا ویسکوزیته محلول قندی و ماهیت خود کربن فعال دارد [۲۰]. با توجه به بررسی حذف ترکیبات رنگی از محلول قندی با مقادیر مختلف کربن فعال، مشاهده شد که بیشترین کارایی رنگ‌بری در زمان تماس ۱۰-۱۵ min اولیه بوده و بعد از آن با صرف زمان بیشتر، رنگ‌بری از محلول قندی مشاهده نشد [۷].

در بررسی تغییرات همزمان ترکیبات رنگی و کدورت ملاس رقیق، مشاهده شد که با افزایش مقدار کربن فعال پودری از ۰/۶۱ به ۱/۸۳ g در pH ۴/۵، ترکیبات رنگی (از ۵۶۲۵۵/۲۷ به ۶۵۷۳/۴۷ ایکومزا) و کدورت (از ۴۵/۸۵ به ۰ NTU) به ترتیب ۸۸/۳۱٪ و ۱۰۰٪ کاهش یافتند (شکل ۱).

شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کربن فعال پودری، ترکیبات رنگی و کدورت به طور معنی‌دار کاهش یافته است ($p < 0.05$). بنابراین، کربن فعال پودری قابلیت جذب شیمیایی مانند ترکیبات رنگی و کدورت‌زا دارد.

نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش مقدار کربن فعال پودری از ۰/۶۱ به ۱/۸۳ g در pH ۴/۵، مقدار پروتئین ملاس رقیق از ۲۱۱ به ۳/۱۵ mg معادل پروتئین آلبومین سرم گاوی در ۱۰۰ mL نمونه (کاهش ۹۸/۵۱٪) رسید (شکل ۴).

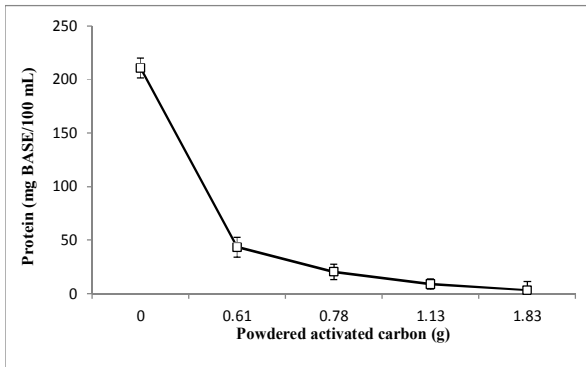


Fig 4 Impact of powdered activated carbon (0.61, 0.78, 1.13 and 1.83 g 100g⁻¹ dilute molasses) at pH 4.5 on sugar beet dilute molasses protein.

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب مربوط به کاهش فنل کل، آنتوسیانین کل و پروتئین، ۱/۸۳ g کربن فعال پودری در pH ۴/۵ مناسب‌ترین غلظت برای حذف ناخالصی‌ها از ملاس رقیق بود.

۲-۳- مدل‌سازی همدمای تعادلی جذب ناخالصی‌ها

نتایج بررسی همدمای جذب ناخالصی‌ها در جدول ۶-۱ آورده شده است. در یک سیستم دو جزیی شامل جاذب (کربن فعال پودری) و مواد حلشده (ناخالصی‌ها)، نموداری بین غلظت ناخالصی‌های جذب شده روی فاز جامد (q_e) و ناخالصی‌های موجود در فاز مایع، در حالت تعادل (C_e)، یک همدمای جذب سطحی در محلول را بیان می‌کند. در سیستم مایع-جامد، جذب سطحی نتیجه جداسازی ماده یا مواد حل شده از محلول بر روی سطح جامد است تا این که بین ماده حل شده باقیمانده در محلول با ماده جذب شده روی سطح جامد تعادل دینامیکی به وجود آید. در حالت تعادل یک محدودیت در توزیع ماده حل شده بین فازهای مایع و جامد وجود دارد که می‌تواند با همدمای‌های جذب متعدد توضیح داده شود. مدل‌های همدمای جذب لانگمویر و فروندلیچ اغلب برای تعیین همبستگی بین داده‌های تجربی استفاده می‌شوند که این داده‌ها برای تعیین پارامترهای مدل‌ها به کار می‌روند [۲۳]. در بررسی پدیده همدمای جذب با

کربن فعال پودری باعث حذف اکثر ترکیبات رنگی و ناخالصی‌ها از لیکور شکر می‌شود. علاوه بر این، کربن فعال دارای برخی از گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار می‌باشد که باعث جذب شیمیایی ملکول‌های قطبی می‌شود [۸]. کربن فعال ظرفیت بالایی برای جذب ترکیبات آلی دارد و در نتیجه به طور وسیع در صنعت برای کاهش ترکیبات پلی فنل استفاده می‌گردد [۲۱]. قبل از این که ناخالصی‌ها بتوانند توسط کربن فعال حذف شوند باید از طریق انتشار به داخل منافذ کربن فعال رسیده و خود را در موقعیت مناسب قرار دهند. ملکول‌های پلی‌مری خیلی بزرگ امکان انتشار به داخل کربن فعال را نداشته و محدود به جذب شدن در سطح می‌باشند. در حالی که ترکیبات کوچک‌تر بیشتر به داخل کربن فعال رسیده و اکثر مکان‌های قابل استفاده و مناسب را به دست می‌آورند. به طوری که توزیع اندازه منافذ در کربن فعال، به طور اساسی در تعیین مقادیر نسبی و نرخ حذف انواع مختلف ناخالصی‌ها مهم می‌باشد [۲۲].

در بررسی تغییرات همزمان ترکیبات فنولی و آنتوسیانین مشاهده شد که با افزایش مقدار کربن فعال پودری از ۰/۶۱ به ۱/۸۳ g در pH ۴/۵، فنل کل از ۸۳/۹ به ۱۹/۷ mg معادل اسید گالیک در ۱۰۰ mL نمونه (کاهش ۷۶/۵۲٪) و آنتوسیانین کل از ۱/۴۷ به ۰/۲ mg در ۱۰۰ g نمونه (کاهش ۸۶/۳۹٪) رسید (p < ۰/۰۵) (شکل ۳). نتایج آزمایشات نشان دهنده قابلیت افزایش جذب شیمیایی فنل کل و آنتوسیانین کل با افزایش مقدار کربن فعال پودری بود.

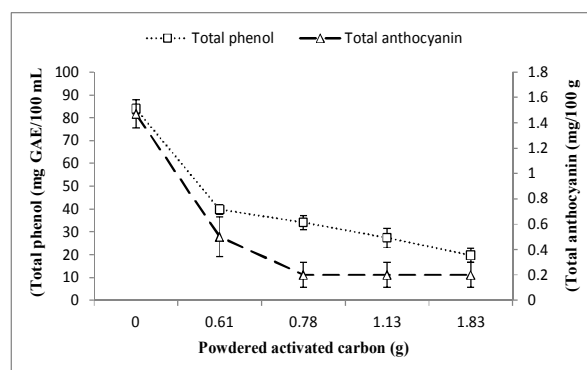


Fig 3 Impact of powdered activated carbon (0.61, 0.78, 1.13 and 1.83 g 100g⁻¹ dilute molasses) at pH 4.5 on sugar beet dilute molasses total phenol and total anthocyanin.

نشان داد. شیب جذب ترکیبات رنگی در مدل فروندلیچ در مقایسه با مدل لانگمویر حالت ملائم‌تری داشت. همچنین، به دلیل این که مقدار عددی $1/n$ در مدل فروندلیچ بین ۰ تا ۱ ($0 < 1/n < 1$) بود، بیانگر همدمایی جذب فروندلیچ بود. در نتیجه، می‌توان بیان داشت که جاذب (کربن فعال پودری) حالت ناهمگنی نسبت به جذب انواع ترکیبات رنگی داشت. در مدل لانگمویر پارامتر تعادل برابر صفر، بیانگر این موضوع بود که در این مدل همدمای جذب غیر قابل برگشت در حالت تعادل بین فاز جامد-مایع وجود داشت که این مدل را برای آنالیز داده‌های تجربی نامناسب می‌سازد.

استفاده از مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ باید به پارامترهای اصلی مانند ضریب تبیین (R^2)، حداکثر ناخالصی جذب شده (q_m)، ضریب b ، پارامتر تعادل (R_L)، ظرفیت جذب (K_f)، ضریب $1/n$ و شدت جذب (n) توجه کرد. با کمک داده‌های تجربی بدست آمده از آزمایشات، پارامترهای اصلی مدل بر اساس معادلات ریاضی مشخص می‌شوند.

در تفسیر جذب ترکیبات رنگی از ملاس رقیق چغندر قند با استفاده از مقادیر مختلف جاذب در pH ۴/۵ (جدول ۱)، می‌توان بیان کرد که مدل فروندلیچ ضریب تبیین بالاتری نسبت به مدل لانگمویر داشت. مدل فروندلیچ ظرفیت جذب ترکیبات رنگی بسیار بالایی را با شدت جذب ۲/۱۹۷۳ نسبت به مدل لانگمویر

Table 1 Coefficients of Longmuir and Freundlich sorption isotherm models for color (Adsorbent: powdered activated carbon, 75 °C, 15 min processing time and 120 rpm stirring).

Color	Longmuir model			Linear equation	
	R^2	$q_m(\text{mg/kg})$	b	R_L	$Y=0.8672x-0.3253$
	0.8554	0.3253	0.8672	0.0000	
Color	Freundlich model				Linear equation
	R^2	$K_f(\text{mg/L})$	$1/n$	n	$Y=-0.4551x+5.0794$
	0.9605	5.0794	0.4541	2.1973	

بررسی ضرایب معادلات ریاضی جدول انشان داد که ضریب تبیین و ظرفیت جذب ترکیبات رنگی مدل فروندلیچ در مقایسه با مدل لانگمویر در حد بالایی قرار دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که جذب رنگ ملاس رقیق چغندر قند توسط جاذب از مدل فروندلیچ تبعیت می‌کند. به طوری که، مدل فروندلیچ برای همدمای جذب ترکیبات رنگی با استفاده از کربن فعال پودری در سیستم واقعی پیشنهاد شد.

در مورد جذب ترکیبات کدورت‌زا از ملاس رقیق چغندر قند (جدول ۲)، می‌توان بیان کرد که مدل فروندلیچ ضریب تبیین بالاتری در مقایسه با مدل لانگمویر داشت. مدل فروندلیچ ظرفیت جذب کدورت بسیار بالایی را با شدت جذب ۱/۵۶۲۳

نسبت به مدل لانگمویر نشان داد. شیب جذب ترکیبات کدورت‌زا در مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر تندتر بود. همچنین، به دلیل این که مقدار عددی $1/n$ در مدل فروندلیچ بین ۰ تا ۱ ($0 < 1/n < 1$) بود، بیانگر همدمای جذب فروندلیچ بود. در نتیجه، می‌توان گفت که جاذب (کربن فعال پودری) حالت ناهمگنی نسبت به جذب ترکیبات کدورت‌زا داشت. در مدل لانگمویر پارامتر تعادل برابر ۰/۰۸۲۲ ($0 < R_L < 1$)، بیانگر این موضوع است که همدمای جذب مطلوب در حالت تعادل بین فاز جامد-مایع وجود داشت که این مدل را برای آنالیز داده‌های تجربی مناسب ساخت.

Table 2 Coefficients of Longmuir and Freundlich sorption isotherm models for turbidity (Adsorbent: powdered activated carbon, 75 °C, 15 min processing time and 120 rpm stirring).

Turbidity	Longmuir model			Linear equation	
	R^2	$q_m(\text{mg/kg})$	b	R_L	$Y=-0.2434+0.8139$
	0.6152	0.8139	0.2434	0.0822	
Turbidity	Freundlich model				Linear equation
	R^2	$K_f(\text{mg/L})$	$1/n$	n	$Y=-0.6401+2.2679$
	0.7019	2.2779	0.6401	1.5632	

لانگمویر نشان داد. شیب جذب ترکیبات فنولی در مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر حالت ملایم‌تری داشت. همچنین، به دلیل این که مقدار عددی $1/n$ در مدل فروندلیچ بین ۰ تا ۱ ($0 < 1/n < 1$) بود، می‌توان گفت که جاذب (کربن فعال پودری) حالت ناهمگنی نسبت به جذب ترکیبات فنولی داشت. در مدل لانگمویر پارامتر تعادل برابر $0.0883 < R_L < 1$ ، بیانگر این موضوع بود که همدمای جذب مطلوب در حالت تعادل بین فاز جامد-مایع وجود داشت که نشان دهنده مناسب بودن این مدل برای آنالیز داده‌های تجربی است.

بررسی ضرایب معادلات ریاضی جدول ۲ نشان داد که مقادیر ضریب تبیین و ظرفیت جذب کدورت مدل فروندلیچ در مقایسه با مدل لانگمویر بیشتر است. در نتیجه، با وجود برتری نسبی ضریب تبیین در مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر هیچ کدام در مورد حذف کدورت از ملاس رقیق پیشنهاد نشد. در جذب ناخالصی ترکیبات فنولی از ملاس رقیق چغندر قند (جدول ۳)، مشاهده می‌شود که مدل فروندلیچ ضریب تبیین بالاتری در مقایسه با مدل لانگمویر داشت. مدل فروندلیچ ظرفیت جذب ترکیبات فنولیزادبا شدت جذب $2/6434$ نسبت به مدل

Table 3 Coefficients of Longmuir and Freundlich sorption isotherm models for phenolic compounds (Adsorbent: powdered activated carbon, 75 °C, 15 min processing time and 120 rpm stirring).

Phenolic compounds	Longmuir model			Linear equation	
	R ²	q _m (mg/kg)	b	R _L	Y=1.2304x+0.5584
	0.5982	0.5584	1.2304	0.0883	
Phenolic compounds	Freundlich model			Linear equation	
	R ²	K _f (mg/L)	1/n	n	Y=-0.3786x+0.9755
	0.7605	0.9755	0.3786	2.6434	

خیلی کمتری اما با شدت جذب (n) $52/316$ در مقایسه با مدل لانگمویر نشان داد. شیب جذب آنتوسیانین در مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر حالت ملایم‌تری داشت. همچنین، به دلیل این که مقدار عددی $1/n$ در مدل فروندلیچ بین ۰ تا ۱ ($0 < 1/n < 1$) بود، بیانگر همدمای جذب فروندلیچ بود. در نتیجه، می‌توان گفت که جاذب (کربن فعال پودری) حالت ناهمگنی نسبت به جذب آنتوسیانین داشت. در مدل لانگمویر پارامتر تعادل برابر $0.0829 < R_L < 1$ ، بیانگر این موضوع بود که همدمای جذب مطلوب در حالت تعادل بین فاز جامد-مایع وجود داشت و این مدل برای آنالیز داده‌های تجربی مناسب است.

بررسی ضرایب معادلات ریاضی جدول ۳ نشان داد که ضریب تبیین و ظرفیت جذب ترکیبات فنولی مدل فروندلیچ در مقایسه با مدل لانگمویر در سطح بالایی قرار داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جذب ترکیبات فنولی ملاس رقیق چغندر قند توسط جاذب از مدل فروندلیچ تبعیت می‌کند. در نهایت، مدل فروندلیچ برای همدمای جذب ترکیبات فنولی با استفاده از کربن فعال پودری در سیستم واقعی پیشنهاد شد. در جذب آنتوسیانین از ملاس رقیق چغندر قند (جدول ۴)، نتایج نشان می‌دهد که مدل فروندلیچ ضریب تبیین خیلی کم‌تری نسبت به مدل لانگمویر داشت. مدل فروندلیچ ظرفیت جذب آنتوسیانین

Table 4 Coefficients of Longmuir and Freundlich sorption isotherm models for anthocyanin (Adsorbent: powdered activated carbon, 75 °C, 15 min processing time and 120 rpm stirring).

Anthocyanin	Longmuir model			Linear equation	
	R ²	q _m (mg/kg)	b	R _L	Y=-0.1464x+0.5749
	0.5456	0.5749	0.1464	0.8229	
Anthocyanin	Freundlich model			Linear equation	
	R ²	K _f (mg/L)	1/n	n	Y=-0.019x-0.0062
	0.0089	0.0062	0.019	52.6316	

جذب پروتئین در مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر خیلی بیشتر بود. همچنین، به دلیل این که مقدار عددی $1/n$ در مدل فروندلیچ بین ۰ تا ۱ ($0 < 1/n < 1$) بود، بیانگر برازش داده‌ها با مدل همدمای جذب فروندلیچ بود. در نتیجه، می‌توان گفت که جاذب (کربن فعال پودری) حالت ناهمگنی نسبت به جذب پروتئین نشان داد. پارامتر تعادل برابر $0.1457 < R_L < 0$ ، بیان کننده این موضوع بود که در مدل لانگمویر همدمای جذب مطلوب در حالت تعادل بین فاز جامد-مایع وجود داشت که این مدل برای آنالیز داده‌های تجربی مناسب ساخت.

بررسی ضرایب معادلات ریاضی جدول ۵ نشان داد که مقادیر ضریب تبیین و ظرفیت جذب ترکیبات آنتوسیانین مدل لانگمویر در مقایسه با مدل فروندلیچ زیادتر است. با وجود برتری نسبی ضریب تبیین در مدل لانگمویر نسبت به مدل فروندلیچ هیچ کدام در مورد حذف آنتوسیانین پیشنهاد نشد.

نتایج مدل‌سازی جذب پروتئین از ملاس رقیق چغندر قند (جدول ۵)، نشان داد که مدل فروندلیچ ضریب تبیین بیشتری نسبت به مدل لانگمویر داشت. مدل فروندلیچ ظرفیت جذب پروتئین بیشتری با شدت جذب $1/4314$ در مقایسه با مدل لانگمویر نشان داد. شیب

Table 5 Coefficients of Longmuir and Freundlich sorption isotherm models for protein (Adsorbent: powdered activated carbon, 75 °C, 15 min processing time and 120 rpm stirring).

Protein	Longmuir model			Linear equation	
	R ²	q _m (mg/kg)	b	R _L	Y=0.2779x-0.0121
	0.9084	0.0121	0.2779	0.1457	
Protein	Freundlich model			Linear equation	
	R ²	K _f (mg/L)	1/n	n	Y=-0.632x+1.9314
	0.9679	1.9314	0.632	1.5823	

مدل فروندلیچ برای همدمای جذب ترکیبات پروتئینی با استفاده از کربن فعال پودری در ملاس رقیق چغندر قند پیشنهاد شد.

بررسی ضرایب معادلات ریاضی جدول ۵ نشان داد که ضریب تبیین و ظرفیت جذب ناخالصی پروتئین مدل فروندلیچ در مقایسه با مدل لانگمویر در سطح بالاتری قرار داشت. در نتیجه،

Table 6 Coefficients of Longmuir and Freundlich sorption isotherm models for clarity (Adsorbent: powdered activated carbon, 75 °C, 15 min processing time and 120 rpm stirring).

Clarity	Longmuir model			Linear equation	
	R ²	q _m (Light passing percentage)	b	R _L	Y=-31.804x+108.93
	0.7049	108.93	31.804	0.0013	
Clarity	Freundlich model			Linear equation	
	R ²	K _f (Light passing percentage)	1/n	n	Y=-0.7902x+2.6608
	0.8695	2.6608	0.7902	1.2655	

لانگمویر خیلی کمتر بود. در مدل فروندلیچ، به دلیل این که مقدار عددی $1/n$ بین ۰ تا ۱ ($0 < 1/n < 1$) بود، بیانگر برازش داده‌ها با مدل همدمای جذب فروندلیچ بود. در نتیجه، می‌توان گفت که جاذب (کربن فعال پودری) حالت ناهمگنی نسبت به افزایش شفافیت نشان داد. در مدل لانگمویر پارامتر تعادل برابر $0.013 < R_L < 0$ ،

در مورد افزایش شفافیت ملاس رقیق چغندر قند (جدول ۶)، می‌توان بیان کرد که مدل فروندلیچ ضریب تبیین بالای نسبت به مدل لانگمویر داشت. مدل فروندلیچ ظرفیت جذب ناخالصی‌ها خیلی کمتر با شدت جذب $1/2655$ در مقایسه با مدل لانگمویر نشان داد. شیب افزایش شفافیت در مدل فروندلیچ نسبت به مدل

- of sugar from sugar beet. *Sugar Technology Review*, 6(1): 49-115.
- [2] Nooshkam, M., Varidi, M., & Verma, D. K. 2020. Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: A review. *Food Research International*, 131, 109003.
- [3] Saroj, S.B., Surendra N.D. and Pradip R. 2006. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust. *Journal of Biochemical Engineering*, 31(3): 216-222.
- [4] Oladoja, N.A., Aboluwoye. C.O. and Akinkugbe, A.O. 2009. Evaluation of loofah as a sorbent in the decolorization of basic dye contaminated aqueous system. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48: 2786–2794.
- [5] Bernardo, E.C., Egashira, R. and Kawasaki, J. 1997. Decolorization of molasses and wastewater using activated carbon prepared from cane bagasse. *Carbon journal*, 35 (9): 1217-1221.
- [6] Laksameethanasan, P., Somla, N., Janprem, S. and Phochuen, N. 2012. Clarification of sugarcane juice for syrup production. *Procedia Engineering*, 32: 141 – 147.
- [7] Nachat, N., Obarammekul, P. and Worathanakul, P. 2014. Activated carbon from bagasse for syrup decolorization as an alternative for waste management and the assessment of carbon footprint. *Environment and Natural Resources*, 12 (2): 66-73.
- [8] Davis, S.B. 2001. The chemistry of colour removal: A processing perspective. *Proc. African Sugar Technology Ass.*, 75: 328-336.
- [9] Caqueret, V., Bostyn, S., Cagnon, B. and Fauduet, H. 2008. Purification of sugar beet vinasse-Adsorption of polyphenolic and dark colored compounds on different commercial activated carbons. *Journal of Bioresource Technology*, 99: 5814-5821.
- [10] Golbabaei, F., Ghahri, A., Soudi, M.R., RahimiForoushani, A. and Tireghar, A. 2011. Balance studies and kinetics of biosorption of hexavalent chromium from aqueous solutions using xanthan B82 polymer beads. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 30 (30): 11-24.
- [11] Farmani, B. and Ismaeili, M. 2017. Removal of colorants and impurities from

($R_L < 0$)، بیانگر این موضوع بود که همدمای افزایش شفافیت مطلوب در حالت تعادل بین فاز جامد-مایع وجود داشت که این مدل برای آنالیز داده‌های تجربی مناسب ساخت.

بررسی ضرایب معادلات ریاضی جدول ۶ نشان داد که مقادیر ضریب تبیین مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر بیشتر بود، اما مقدار ظرفیت جذب و در نتیجه افزایش شفافیت مدل لانگمویر در مقایسه با مدل فروندلیچ بیشتر بود. بنابراین، می‌توان گفت که افزایش شفافیت ملاس رقیق از مدل‌های فروندلیچ و لانگمویر تبعیت نمی‌کند. پیشنهاد شد که مدل فروندلیچ-لانگمویر که مدل ترکیبی می‌باشد برای همدمای افزایش شفافیت با استفاده از کربن فعال پودری در سیستم واقع‌یاستفاده شود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با تغییر pH از ۸/۹ به ۴/۵ از طریق جذب ترکیبات رنگی، کدورت و سایر ناخالصی‌ها با استفاده از کربن فعال پودری باعث حذف ناخالصی‌ها از ملاس رقیق چغندر شدند. نتایج بررسی ضرایب معادلات ریاضی نشان داد که مدل‌های همدمای جذب فروندلیچ و لانگمویر در پیش‌بینی کاهش ترکیبات رنگی، عوامل کدورت‌زا، ترکیبات فنولی، ترکیبات آنتوسیانینی، پروتئین و شفافیت ملاس رقیق چغندر قابل استفاده می‌باشد. در تحقیقات پیشین از مدل‌های فروندلیچ و لانگمویر فقط در سیستم‌های حاوی یک نوع ترکیب عنصر فلزی خاص استفاده شده بود. در حالی که نتایج بدست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که این مدل‌ها در ارزیابی سیستم‌های واقعی نیز مفید هستند. بر اساس نتایج، مدل فروندلیچ برای پیش‌بینی حذف رنگ، ترکیبات فنولی و پروتئین‌های توانمند کاربرد خوبی داشته باشد، در مقابل جذب عوامل کدورت‌زا و آنتوسیانیناز هیچ کدام از مدل‌ها تبعیت نکردند. استفاده از مدل ترکیبی فروندلیچ-لانگمویر برای همدمای افزایش شفافیت با استفاده از کربن فعال پودری در سیستم واقعی توصیه می‌شود.

۵- منابع

- [1] Madsen, R.F., Kotfod-Nielsen, W., Winstrom-Olsen, B. and Nielsen, T.E. 1978. Formation of color compounds in production

- [18] Elouear, Z., Bouzid, J., Boujelben, N., Feki, M., Jamoussi, F., and Montiel, A. 2008. Heavy metal removal from aqueous solutions by activated phosphate rock. *Journal of Hazard Material*, 156 (3): 412-420.
- [19] Jain, C.K., Singhal, D.C., and Sharma, M.K. 2004. Adsorption of zinc on bed sediment of river hindon: Adsorption models and kinetics. *Journal of Hazard Material*, 114 (3): 231-239.
- [20] Qureshi, K., Bhatti, I., Kazi, R. and Ansari, A. 2008. Physical and chemical analysis of activated carbon prepared from sugarcane bagasse and use for sugar decolorization. *International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering*, 1(3): 145-149.
- [21] Caqueret, V., Bostyn, S., Cagnon, B. and Fauduet, H. 2012. Removal of dark coloured and polyphenolic compounds of sugar beet vinasse by adsorption onto activated carbons: application to a crosscurrent adsorption process. *The Canadian Journal of chemical engineering*, 90: 403-411.
- [22] De ridder, D.J. 2012. Adsorption of organic micropollutants onto activated carbon and zeolites. By Water Management Academic Press, Doctoral thesis, pp: 23.
- [23] TehraniBagha, A., Mahmoudi, N. Markazi, M. And Talayinejad, A. 2009. Decolorization of wastewater containing a cationic dye using low-cost kaolin adsorbents. *Journal of Color Science and Technology*, 3 (3): 145-155.
- sugar beet final molasses using powdered activated carbon to produce liquid invert sugar. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 14 (68): 171-180.
- [12] ICUMSA. (1994). International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. ICUMSA Methods Book.
- [13] Donovan, M. and Lee, E. 1995. Filterability of raw sugars laboratory tests versus refinery performance. *Int. Sugar journal*, 97(1155): 104-110.
- [14] Bodbodak, S., Kashaninejad, M., Hesari, J. And Razavi, C.M.A. 2009. The effect of different clarification treatments with classical method on physicochemical and rheological properties of pomegranate juice. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*, 1 (2): 1-16.
- [15] Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
- [16] Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299: 152-178.
- [17] Chen, m., Zhao, Y. and Yu, S. 2015. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from sugar beet molasses. *Journal of Food Chemistry*, 172: 543-550.

Investigation of sorption isotherm models on remove ability sugar beet dilute molasses impurities using powdered activated carbon

Farmani, B. ^{1*}, Bodbodak, S. ¹, Dadashi, S. ²

1. Assistant Professor of Department of Food Science and Technology, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz
2. Assistant Professor of Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(Received: 2020/02/12 Accepted: 2020/08/01)

Powdered activated carbon has high adsorption capacity with the remarkable nonpolar surface. The surface forces (van der Waal's and London) create a stronger attraction between the carbon surface and impurities in comparison to present molecules in dilute molasses. The aim of the study was to adsorb types of impurities such as colorants, turbidity agents, phenolic compounds, anthocyanin and protein of dilute molasses (35% sugar beet dilute molasses) using powdered activated carbon at 4 levels (0.61, 0.78, 1.13, and 1.83 g 100g⁻¹ dilute molasses) at pH 4.5. Further, Freundlich and Langmuir sorption isotherm models were evaluated to predict reduction of impurities. The results of equilibrium isotherms based on the coefficient of determination and adsorption capacity exhibited that the adsorption of impurities such as colorants ($R^2 = 0.9605$ and $K_f = 5.0794$), phenolic compounds ($R^2 = 0.7605$ and $K_f = 0.9755$) and protein ($R^2 = 0.9679$ and $K_f = 1.9314$) didn't follow from Freundlich model. Turbidity agents and anthocyanin didn't follow any of the studied models.

Keywords: Sugar beet dilute molasses, Sorption isotherm, Powdered activated carbon, Impurity.

* Corresponding Author E-Mail Address: bfarmani@tabrizu.ac.ir