



تعیین منحنی‌های هم دمای دفع رطوبت برگ و ساقه گیاه *Bidens bipinnata* L.

لیلا یوسفی

گروه شیمی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت محصول، به منظور مشخص کردن مدت زمان خشک‌کردن، آهنگ کاهش رطوبت و در نتیجه برآورد ظرفیت خشک‌کن و صرفه‌جویی در زمان و مصرف انرژی، ضروری به نظر می‌رسد. لذا در پژوهش حاضر، منحنی‌های هم دمای دفع رطوبت <i>Bidens bipinnata</i> L. در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و در محدوده‌ی رطوبت نسبی ۱۱ تا ۸۵ درصد به روش وزن سنجی ایستا تعیین گردید و از مدل‌های ریاضی چانگ-فاست، هالسی، هندرسون، اسوین و GAB برای برآزش داده‌های حاصل از آزمایش استفاده شد. طبق نتایج، در یک فعالیت آبی معین، با افزایش دما، مقدار رطوبت تعادلی کاهش اما در هریک از دماها، با افزایش فعالیت آبی، مقدار رطوبت تعادلی نمونه‌ها افزایش یافت. همچنین مدل هالسی به دلیل بالا بودن مقدار R^2 و کمتر بودن مقادیر RSS ، MRD و SEE نسبت به سایر مدل‌ها از برازش مطلوب‌تری برخوردار بود و می‌توان از آن در برآورد رطوبت تعادلی نمونه‌ها در دماها و رطوبت‌های نسبی مختلف استفاده کرد.
کلمات کلیدی:	
<i>Bidens bipinnata</i> L.	
هم‌دما،	
رطوبت تعادلی،	
مدل هالسی،	
دفع.	
DOI: 10.48311/fsct.2026.118231.82984	
* مسئول مکاتبات:	
Leila.yousefi@iau.ac.ir	

۱-مقدمه

گیاه *Bidens bipinnata* L. متعلق به خانواده کاسنی و جنس *Bidens* بوده که گیاهی یکساله، علفی و بدون کرک است. ساقه‌ها سبز و گل‌ها زرد و معمولاً لوله‌ای هستند. ریشه این گیاه عمودی و موسم گلدهی آن ماه‌های تیر و شهریور می‌باشد. این گونه در نواحی شمال ایران و مناطق اطراف تهران حالت بومی پیدا کرده و انتشار یافته است و بیشتر به صورت علف هرز در زیستگاه‌های مرطوب می‌روید. این گیاه دارای مصارف دارویی، خوراکی (به عنوان چاشنی) و علوفه‌ای بوده و اثر ضد دیابتی، ضد زخم معده، محافظت‌کنندگی کبدی و اثر سیتوتوکسیک آن در موش صحرائی به اثبات رسیده است. طبق بررسی‌های انجام شده، تاکنون پژوهشی در زمینه خشک کردن این گیاه که ارزش دارویی و صادراتی بالایی دارد، انجام نشده است [۱]. در تحلیل فرایندهای بیوشیمیایی، فیزیکی و میکروبی مواد غذایی، شناخت داده‌های مربوط به منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت نقش مهمی دارند. این منحنی‌ها اطلاعاتی در مورد چگونگی برهم‌کنش آب با بافت مواد غذایی می‌دهند. قابل توجه این که از این منحنی‌ها در طراحی و بهینه‌سازی بسیاری از فرایندها نظیر خشک کردن، انبارمانی و بسته‌بندی استفاده می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده، عموماً منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع در فرایند انبارمانی و منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت در فرایند خشک کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. خشک کردن یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های حفظ و نگهداری مواد غذایی و محصولات کشاورزی شناخته می‌شود که علاوه بر افزایش ماندگاری، از فعالیت آنزیم‌ها و رشد باکتری‌ها جلوگیری می‌کند. چگونگی عملیات خشک کردن مانند دمای اعمال شده و مدت زمان فرایند نقش مهمی در کیفیت محصول نهایی دارد. لذا آگاهی از منحنی‌های هم‌دما از جمله منحنی هم‌دمای دفع رطوبت محصول، در تعیین مدت زمان خشک کردن، آهنگ کاهش رطوبت و در نتیجه برآورد ظرفیت خشک‌کن و صرفه‌جویی در زمان و مصرف انرژی، طی خشک کردن ضروری به نظر می‌رسد. رطوبت تعادلی عموماً به دو روش

ایستا و پویا تعیین می‌گردد که اولی از دقت و دومی از سرعت عمل بیشتری برخوردارند. نتیجه‌گیری مطلوب در این روش‌ها به ثابت ماندن دما و رطوبت نسبی هوای پیرامون ماده وابسته است. برای دسترسی به رطوبت نسبی ثابت از محلول اشباع نمک‌های مختلف که در دمای معین رطوبت نسبی ثابتی ایجاد می‌کنند، استفاده می‌شود [۳]. شکل منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت سیگموئیدی است اما ساختار فیزیکی، نوع ترکیبات شیمیایی و چگونگی پیوند آب در ماده غذایی، شکل دقیق آن را مشخص می‌کند. بر همین اساس می‌بایست این منحنی‌ها برای هر ماده غذایی به صورت مجزا تعیین شوند و البته بررسی‌ها نشان می‌دهند که با توجه به اهمیت این شاخص در بسیاری از فرایندها، پژوهش‌های مختلفی در زمینه تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت در انواع مواد غذایی و محصولات کشاورزی انجام شده است [۴، ۵، ۶ و ۷]. در همین راستا در پژوهشی، منحنی‌های هم‌دمای دفع و جذب رطوبت گل گیاه هوفاریقون در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ به روش وزن‌سنجی ایستا تعیین گردید. طبق نتایج، در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت، به ترتیب مدل‌های چانگ فاست و هالسی از بهترین برآزش برخوردار بودند [۳]. در پژوهشی دیگر، منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع برگ گیاه *Citrus reticulata* در دماهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۰/۰۵ تا ۰/۹۰ به روش وزن‌سنجی ایستا تعیین گردید. در همین راستا بهترین برآزش در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت به ترتیب در مدل‌های گاب و BET مشاهده شد [۸]. عرب حسینی و همکاران (۲۰۰۵) منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت ساقه و برگ گیاه ترخون دو واریته فرانسوی و روسی را در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سلسیوس و در محدوده رطوبت نسبی ۰/۰۵ تا ۰/۹۰ به روش وزن‌سنجی ایستا تعیین نمودند. طبق نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون غیر خطی، مدل‌های هالسی و گاب دارای بهترین برآزش در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع بودند [۹]. در پژوهشی

دیگر در سه دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۵ و به روش وزن‌سنجی ایستا، منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع برگ گیاه *Maytenus ilicifolia* L. تعیین گردید. در این آزمایش مدل‌های چانگ‌فاست و هندرسون به ترتیب به عنوان بهترین مدل در بیان رفتار منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت معرفی شدند [۱۰]. در پژوهشی دیگر، منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع دو گیاه دارویی *Carthamus tinctorius* L. و *Artemisia dracunculul* L. در سه دمای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۸ تا ۹۵ درصد به روش وزن‌سنجی ایستا تعیین گردیدند. این محققین، مدل BET را به عنوان بهترین مدل در تحلیل رفتار منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت معرفی نمودند [۱۱]. در همین راستا منحنی‌های هم‌دمای دفع گیاه دارویی لاواندر (*Lavandula officinalis* L.) در سه دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۱۱ تا ۸۵ درصد، به روش وزن‌سنجی ایستا و مطابق دستورالعمل COST90 تعیین گردید. مطابق آنالیز رگرسیون غیر خطی، مدل هالسی به عنوان بهترین مدل در تعیین منحنی هم‌دمای دفع رطوبت این گیاه ارزیابی شد [۱۲]. غلامی پرشکوهی (۱۳۸۶) در پژوهشی به روش وزن‌سنجی ایستا، منحنی‌های هم‌دمای دفعی کشمش بی‌دانه سفید را در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس و مطابق با دستورالعمل COST90 تعیین نمودند. برای بررسی رفتار تعادلی رطوبت از مدل‌های گاب، اسمیت، اسوین، هندرسون و آرسی وات استفاده شد. در میان مدل‌های ارائه شده، مدل هالسی در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و مدل آرسی وات در دماهای ۴۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس به عنوان بهترین مدل‌ها در بیان رفتار منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت پیشنهاد شدند [۱۳]. همچنین در پژوهشی دیگر تاثیر نوع بذر (هیبریدهای ۶۴۷ و ۷۰۴)، دما (در شش سطح و در دامنه ۵ تا ۵۵ درجه سلسیوس) و رطوبت نسبی (در دامنه ۱۰ تا ۹۰ درصد) بر منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، تاثیر نوع بذر، دما و رطوبت نسبی بر میزان رطوبت

تعادلی جذب و دفع معنی‌دار بود ($\alpha=1\%$). در شرایط محیطی یکسان هیبرید ۷۰۴ رطوبت تعادلی بالاتری نسبت به هیبرید ۶۴۷ داشت که این نتیجه نشان‌دهنده بالاتر بودن قابلیت نگهداری و فعالیت آبی کمتر هیبرید ۷۰۴ می‌باشد. از سوی دیگر مدل اسوین برای منحنی‌های جذب و دفع هیبرید ۷۰۴ و جذب ۶۴۷ و مدل چانگ‌فاست برای منحنی‌های دفع هیبرید ۶۴۷ از بهترین برازش برخوردار بودند [۱۴]. رهنما و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی میزان رطوبت تعادلی و گرمای ایزوستریک جذب و دفع خرمای استعمران را در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۰/۰۵ تا ۰/۸۵ تعیین نمودند. طبق نتایج، در دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس، با افزایش دما، در فعالیت آبی کمتر از ۰/۳ مقدار رطوبت تعادلی کاهش اما برای فعالیت آبی بیشتر از ۰/۳، رطوبت تعادلی افزایش یافت. اما در دماهای ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس این شرایط در فعالیت آبی ۰/۰۵ مشاهده گردید. همچنین مدل گاب به عنوان بهترین مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نکته قابل توجه این‌که گرمای ایزوستریک با افزایش فعالیت آبی، کاهش یافت و مقدار آن برای حالت جذب بیشتر از حالت دفع بود [۱۵]. همان‌گونه که بیان شد، با به دست آوردن مقادیر رطوبت تعادلی در دماها و رطوبت‌های نسبی مختلف می‌توان منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت را تعیین نمود. تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع، گامی موثر به منظور تعیین رطوبت نهایی محصول طی فرایند خشک‌کردن بوده که بر اساس آن می‌توان ظرفیت خشک‌کن را به درستی محاسبه نمود و باعث صرفه‌جویی در زمان خشک‌کردن و مصرف انرژی و در نهایت حفظ کیفیت محصول شد. حال از آن‌جا که مقدار مواد موثره و کیفیت ظاهری (ارزش تجاری) گیاهان دارویی به شدت تحت تاثیر فرایند خشک‌کردن قرار می‌گیرد لذا تعیین دما و مدت زمان مناسب خشک‌کردن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در همین راستا در پژوهش حاضر به روش وزن‌سنجی ایستا منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت گیاه دارویی *Bidens bipinnata* L. در چهار دمای ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و در محدوده فعالیت آبی ۱۱ تا ۸۵

درصد، تعیین و مدل ریاضی مناسبی برای این پدیده ارایه گردید.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-مواد

گیاه *Bidens bipinnata* L. مورد استفاده در پژوهش، تیر ماه ۱۴۰۴ از مزارع و باغات اطراف شهرستان شهریار جمع‌آوری گردید. همچنین نمک‌های مورد استفاده در این تحقیق برای تهیه محلول‌های اشباع و ایجاد رطوبت‌های نسبی مورد نیاز شامل کلرید لیتیم (LiCl)، استات پتاسیم (CH₃COOK)، کلرید منیزیم (MgCl₂)، کربنات پتاسیم (K₂CO₃)، نیترات منیزیم (Mg(NO₃)₂)، کلرید سدیم (NaCl) و کلرید پتاسیم (KCl) از شرکت مرک و با خلوص ۹۸٪ تهیه شدند.

۲-۲-روش‌ها

۲-۲-۱-آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش

برای اندازه‌گیری رطوبت تعادلی از روش وزن‌سنجی ایستا، به دلیل سادگی و دقت بالای این روش و مطابق با دستورالعمل COST90 استفاده گردید [۹]. عمل برداشت نمونه‌های گیاهی قبل از گلدهی انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، به خوبی شسته و برگ‌ها و ساقه‌ها به قطعات ۲ میلی‌متری بریده شدند. در ادامه حدود ۲۰۰ گرم گیاه با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (Sartorius, model PT210, Germany) و با دقت ± 0.001 گرم توزین و بین ۵ پتری دیش که قبلاً ضدعفونی شده بودند، توزیع گردیدند. پتری دیش‌ها به داخل ظروف پلاستیکی که قبلاً با آب مقطر

پر شده بودند (محیطی با بیش از ۹۵ درصد رطوبت)، منتقل و در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) قرار داده شدند. از تولوئن و لوله‌های موئین برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها و کپک‌زدگی نمونه‌ها استفاده شد. لوله‌های موئین حاوی تولوئن، به جدار داخلی ظروف پلاستیکی چسبانده می‌شدند. پس از ۵ روز و در فواصل زمانی یک روز در میان، نمونه‌ها توزین شدند و این عمل تا آن‌جا ادامه یافت که اختلاف دو توزین متوالی 0.001 گرم شد. نمونه‌ها پس از ۱۲ روز به وزن ثابت رسیدند و آماده انتقال به ظروف حاوی محلول اشباع نمک‌های مختلف شدند.

۲-۲-۲-آماده‌سازی محلول‌های اشباع نمک

از هفت محلول اشباع نمک، مطابق جدول ۱ برای ایجاد رطوبت نسبی ثابت استفاده شد. برای اطمینان از باقی ماندن محلول‌های نمک در وضعیت اشباع، محلول‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس (۱۰ درجه بالاتر از بیشترین دمای آزمایش) تهیه شدند. تجمع بلورهای نمک در ته شیشه نشان از اشباع بودن محلول‌ها داشت. در ادامه نمونه‌ها درون آونی با دمای ۶۰ درجه سلسیوس که بالاترین دمای آزمایش بود، منتقل شدند. پس از شش ساعت، در صورت وجود نمک در ته ظرف، محلول اشباع بوده و در غیر این صورت دوباره به محلول نمک اضافه و مراحل بالا تکرار می‌گردید. از آن‌جا که آزمایش در دو تکرار انجام می‌پذیرفت، ۲۰۰ میلی‌لیتر از هر محلول نمک اشباع به داخل دو ظروف شیشه‌ای ریخته و به انکوباتوری که دمای آن با دمای آزمایش تنظیم شده بود، منتقل می‌شد.

Table 1 Water activity of saturated salts solutions at different temperatures

Salt	Water activity (a_w)				Reference
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
LiCl	0.1128	0.1121	0.1110	0.1095	[16]
CH ₃ COOK	0.2256	0.2060	0.1892	0.1747	[17]
Mg Cl ₂	0.3244	0.3160	0.3045	0.2926	[16]
K ₂ CO ₃	0.4396	0.4330	0.4268	0.4211	[17]
Mg (NO ₃) ₂	0.5253	0.5059	0.4884	0.4725	[17]
NaCl	0.7524	0.7506	0.7473	0.7457	[17]
KCl	0.8362	0.8232	0.8120	0.8025	[16]

۲-۲-۳- تعیین رطوبت تعادلی

برای تعیین رطوبت تعادلی، ابتدا انکوباتور در هریک از دماهای آزمایش تنظیم شد و سپس ظروف حاوی نمک‌های اشباع درون آن قرار داده شدند. پس از آن‌که دمای محلول‌ها به دمای انکوباتور رسید، ۲ گرم نمونه گیاهی درون ظرف آلومینیومی کوچکی ریخته‌شد و نمونه‌ها به صورت معلق درون هریک از ظروف حاوی محلول‌های نمک اشباع قرار داده شدند. پس از ۵ روز، اولین توزین نمونه‌ها انجام شد و توزین‌های بعدی در فواصل زمانی سه روز در میان انجام پذیرفت. پس از آن‌که اختلاف بین دو توزین متوالی ۰/۰۰۱ گرم شد، به معنی آن بود که نمونه‌ها به تعادل رطوبتی رسیده‌اند که به طور متوسط این فرایند ۳ تا ۴ هفته طول کشید. پس از رسیدن نمونه‌ها به تعادل رطوبتی، به مدت ۸ ساعت درون آن‌ها با فشار ۱۵۰ میلی‌بار و دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا رطوبت نهایی آن‌ها تعیین گردد.

در ادامه نمونه‌ها توزین و به کمک رابطه ۱ رطوبت تعادلی آن‌ها محاسبه شد [۱۸].

(۱)

$$X_e = \frac{M_w - M_d}{M_d} \times 100$$

که در آن: X_e - مقدار رطوبت تعادلی (درصد، بر مبنای وزن خشک نمونه‌ها)، M_w - وزن نمونه مرطوب (g) و M_d - وزن نمونه خشک (g) هستند.

۲-۲-۴- برآزش داده‌ها

از آن‌جا که در بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت محصولات کشاورزی، مدل‌های چانگ فاست، گاب، هالسی، هندرسون و اسوین هستند لذا در این پژوهش نیز پس از آن‌که در هر یک از رطوبت‌های نسبی، مقدار رطوبت تعادلی تیمارها محاسبه شد، برآی برآزش داده‌ها از همان مدل‌ها و روش رگرسیون غیر خطی به کمک نرم افزار متلب استفاده شد (جدول ۲).

Table 2 Mathematical models applied to desorption isotherms data of *Bidens bipinnata* L.

Row	Model	Model name	Reference
1	$EMC = A + B \ln(-\ln(ERH))$	Chung-Pfost	[9]
2	$EMC = \frac{ABC(ERH)}{(1 - C(ERH))[1 - C(ERH) + BC(ERH)]}$	Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB)	[9]
3	$EMC = \left(\frac{-A}{\ln(ERH)}\right)^{\frac{1}{B}}$	Halsey	[9]
4	$EMC = \left(\frac{-\ln(1 - ERH)}{B}\right)^{\frac{1}{B}}$	Henderson	[9]
5	$EMC = A \left(\frac{ERH}{1 - ERH}\right)^B$	Oswin	[9]

که در آن‌ها:

EMC - مقدار رطوبت تعادلی (بر پایه خشک)، ERH - رطوبت نسبی تعادلی، A ، B و C - ضرایب معادلات هستند.

از سوی دیگر، برای تعیین بهترین مدل از چهار معیار، ضریب تعیین (R^2)، میانگین انحراف نسبی (MRD)، مجموع

مربعات باقیمانده (RSS) و انحراف معیار برآورد شده (SEE) استفاده شد. مدلی که از بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقادیر دیگر شاخص‌ها برخوردار بود، به عنوان بهترین مدل انتخاب و معرفی گردید [۱۹].

Table 3 Statistical indicators used to evaluate mathematical models

Row	Model name	Model	Reference
1	Standard Error Estimation (SEE)	$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (EMC - \overline{EMC})^2}{d_f}}$	[9]
2	Mean Relative Deviation (MRD)	$MRD = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{ EMC - \overline{EMC} }{EMC}$	[9]
3	Residual Sum of Square (RSS)	$RSS = \sum_{i=1}^m (EMC - \overline{EMC})^2$	[9]
4	Degree of freedom	$d_f = m - n$	[9]

به طور کلی در دمای ثابت، رطوبت موجود در ماده غذایی آنقدر تغییر می‌کند تا با رطوبت نسبی هوای محیط پیرامون خود به حالت تعادل برسد. در این شرایط وزن ماده غذایی ثابت می‌ماند. در این حالت به رطوبت، رطوبت تعادلی و رطوبت نسبی هوای اطراف ماده غذایی را رطوبت نسبی تعادلی می‌نامند. نتایج مربوط به میانگین رطوبت تعادلی نمونه‌ها و فعالیت آبی محلول‌های نمک اشباع در هریک از دماهای آزمایش، در جدول ۴ نشان داده شده است.

که در آن‌ها:

EMC - رطوبت تعادلی به دست‌آمده از آزمایش (بر پایه خشک)، $\overline{EMC}$ - رطوبت تعادلی به دست‌آمده از مدل (بر پایه خشک)، m - تعداد مشاهدات برای هر مدل و n - تعداد ثابت‌های مدل هستند.

۳- نتایج و بحث

Table 4 Equilibrium moisture content of treatments and water activity of saturated salt solutions at different temperatures

Temperature (°C)	ERH	EMC	Temperature (°C)	ERH	EMC
30	0.1128	5.31	50	0.1110	3.21
	0.2256	6.31		0.1892	5.21
	0.3244	10.73		0.3045	7.51
	0.4396	15.52		0.4268	8.01
	0.5253	18.41		0.4884	10.25
	0.7524	20.52		0.7473	15.11
	0.8362	21.15		0.8120	17.60
40	0.1121	4.11	60	0.1095	2.11
	0.2060	6.10		0.1747	4.11
	0.3160	9.54		0.2926	7.20
	0.4330	10.30		0.4211	7.35
	0.5059	15.41		0.4725	7.51
	0.7506	18.11		0.7457	11.50
	0.8232	19.95		0.8025	12.21

مطابق نتایج، در یک فعالیت آبی مشخص با یک نمک معین، با افزایش دما، مقدار رطوبت تعادلی کاهش یافت. همچنین در هریک از دماها، با افزایش فعالیت آبی، مقدار رطوبت تعادلی نمونه‌ها افزایش یافت که علت آن اختلاف فشار بخار بین ماده و محیط می‌باشد. به عبارت دیگر با بالا رفتن رطوبت نسبی محیط، فشار جزئی بخار آب به فشار بخار آب اشباع نزدیک‌تر شده و در نتیجه اختلاف فشار کمتری بین محیط و ماده وجود خواهد داشت [۳].

Table 5 Estimated values and statistical parameters for Chung-Pfost, GAB, Halsey, Henderson and Oswin equations fitted to desorption isotherm data of *Bidens bipinnata* L. stem and leaves at four temperatures (30, 40, 50 and 60 °C)

Model	T (°C)	A	B	C	R ²	MRD	RSS	SEE
Chung-Pfost	30	12.32	20.32	-	0.98	0.152	0.0410	0.026
	40	10.56	15.41	-	0.98	0.148	0.0252	0.051
	50	13.45	12.56	-	0.95	0.214	0.0353	0.031
	60	14.12	25.41	-	0.95	0.125	0.0215	0.015
GAB	30	0.48	0.54	1.42	0.96	0.257	0.0542	0.084
	40	0.56	0.68	1.52	0.98	0.314	0.0643	0.064
	50	1.52	0.45	1.76	0.95	0.361	0.0421	0.066
	60	1.89	1.23	0.98	0.95	0.289	0.0256	0.057
Halsey	30	-3.21	1.28	-	0.98	0.087	0.0012	0.015
	40	-3.14	1.33	-	0.98	0.069	0.0052	0.022
	50	-2.89	1.54	-	0.98	0.088	0.0041	0.016
	60	-3.43	1.30	-	0.98	0.074	0.0024	0.031
Henderson	30	0.047	1.41	-	0.95	0.289	0.0510	0.041
	40	0.076	1.23	-	0.95	0.356	0.0446	0.042
	50	0.054	1.52	-	0.98	0.247	0.0356	0.089
	60	0.065	1.32	-	0.98	0.189	0.0632	0.063
Oswin	30	0.211	1.65	-	0.98	0.099	0.0112	0.015
	40	0.125	1.84	-	0.98	0.178	0.0451	0.064
	50	0.203	1.12	-	0.95	0.164	0.0361	0.043
	60	0.124	1.87	-	0.95	0.201	0.0412	0.039

در برآورد رطوبت تعادلی نمونه‌ها در دماها و رطوبت‌های نسبی مختلف استفاده کرد. محققین دیگر نیز در پژوهش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافته بودند [۳، ۴، ۷، ۸، ۹ و ۱۲].

از سوی دیگر در جدول ۵، نتایج برازش مدل‌های مورد آزمون در دماهای ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس نشان داده شده است. مدل هالسی به دلیل بالا بودن مقدار R^2 و کمتر بودن مقادیر MRD ، RSS و SEE نسبت به سایر مدل‌ها از برازش مطلوب‌تری برخوردار بود و می‌توان از آن

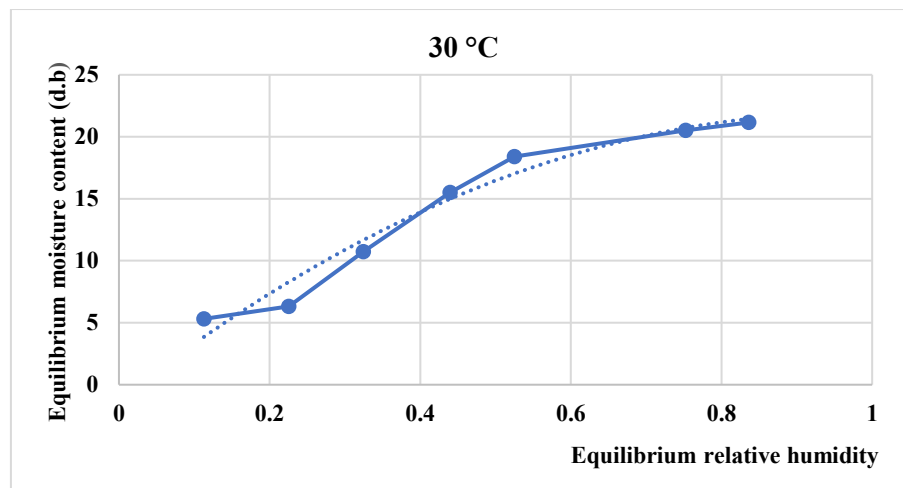


Fig 1. Desorption isotherm data of *Bidens bipinnata* L. stem and leaves at 30 °C and fitted curves of the Halsey equation

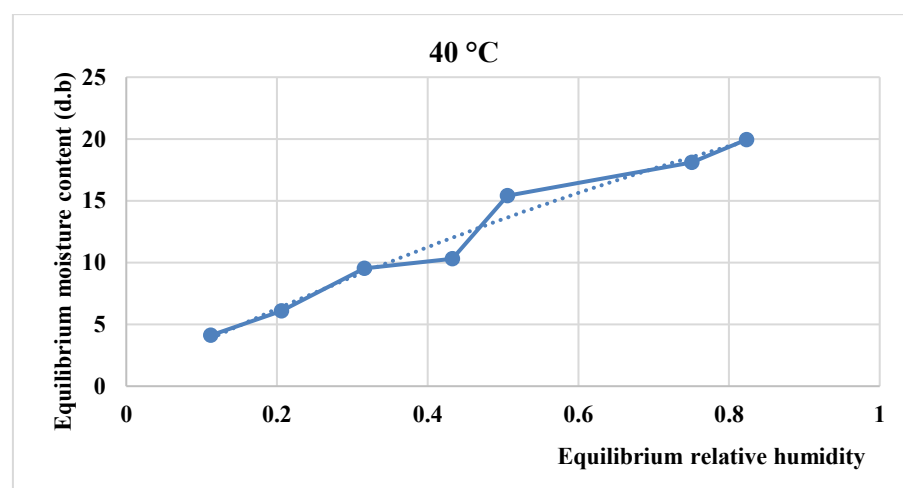


Fig 2. Desorption isotherm data of *Bidens bipinnata* L. stem and leaves at 40 °C and fitted curves of the Halsey equation

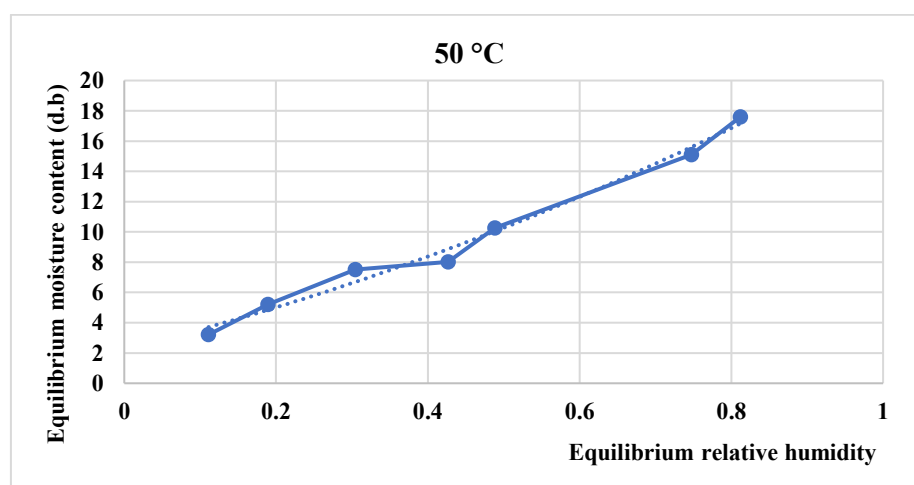


Fig 3. Desorption isotherm data of *Bidens bipinnata* L. stem and leaves at 50 °C and fitted curves of the Halsey equation

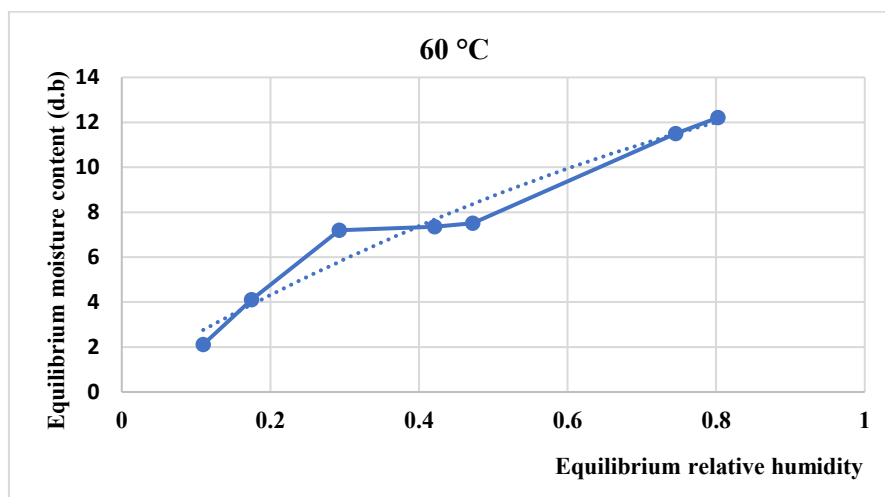


Fig 4. Desorption isotherm data of *Bidens bipinnata* L. stem and leaves at 60 °C and fitted curves of the Halsey equation

تخمین رطوبت تعادلی نمونه‌ها در دماهای مختلف خشک‌کردن استفاده کرد.

تامین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

منافع رقابتی

نویسنده تایید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

۵-منابع

- [1] Piroozi, N., Azarnivand, H., Kohandel, A., and Khalighi-Sigaroodi, F. 2011. Chemical composition of essential oil from the aerial parts of *Bidens bipinnata* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 27(3): 487-494.
- [2] Gazor, H. R., and Basiri, A. R. 2005. Determination of Pistachio (*Pistacia vera*) moisture desorption isotherms curves in drying temperatures. Journal of Agricultural Engineering Research. 6(23): 125-142.
- [3] Ahmadi Chenarbon, H., Minaei, S., Bassiri, A. R., Almassi, M., and Arabhosseini, A. 2012. Moisture sorption isotherms in St. John's Wort (*Hypericum Perforatum* L.) flowers. Journal of Agricultural Engineering Research. 12(4): 73-86.

۴-نتیجه‌گیری

اگر رطوبت مجاز برای نگهداری گیاهان خشک‌شده را در محدوده‌ی ۴ تا ۸ درصد بر پایه خشک درنظر بگیریم، بر اساس نتایج این پژوهش، در دماهای ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس اگر رطوبت نسبی بالای ۳۱ درصد باشد، و همچنین در دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و در رطوبت‌های نسبی به ترتیب بالاتر از ۴۲ و ۴۷ درصد، خشک‌کردن مطلوب اتفاق نمی‌افتد و در هنگام انبارداری احتمال بروز کپک‌زدگی وجود دارد. همچنین مدل هالسی نسبت به سایر مدل‌ها از بهترین برازش در تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت برخوردار بود و از آن می‌توان در

- [4] Ahmadi Chenarbon, H., Minaei, S., Bassiri, A. R., Almassi, M., and Arabhosseini, A. 2012. Determination of moisture adsorption isotherm of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) leaves. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 28(1): 142-152.
- [5] Tavakoli poor, H., and Kalbasi Ashtari, A. 2011. Determination of critical moisture content for optimum storage of Pistachio (*Pistacia vera* L.) powder as based on isotherm curves and isosteric heat of sorption. Iranian Journal of Biosystems Engineering. 41(2): 97-201.
- [6] Ahmadi Chenarbon, H., Minaei, S., Bassiri, A. R., Almassi, M., and Arabhosseini, A. 2010.

- Moisture desorption isotherms of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) leaves at three temperatures. International Journal of Food, Agriculture and Environment. 8(3-4): 132-135.
- [7] Togrul, H., and Arslan, N. 2007. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of Walnut kernels. Journal of Stored Products Research. 43(2): 252-264.
- [8] Jamali, A., Kouhila, M., Ait Mohamed, L., Idlimam, A., and Lamharrar, A. 2006. Moisture adsorption-desorption isotherms of *Citrus reticulata* leaves at three temperatures. Journal of Food Engineering. 77(1): 71-78.
- [9] Arabhosseini, A., Huisman, W., van Boxtel, A., and Mueller, J. 2005. Modeling of the equilibrium moisture content (EMC) of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). International Journal of Food Engineering. 1(5): 1-17.
- [10] Cordeiro, D. S., Raghavan, G. S. V., and Oliveira, W. P. 2006. Equilibrium moisture content models for *Maytenus ilicifolia* leaves. Journal of Biosystems Engineering. 94(2): 221-228.
- [11] Kaya, S., and Kahyaoglu, T. 2007. Moisture sorption and thermodynamic properties of safflower petals and tarragon. Journal of Food Engineering. 78(2): 413-421.
- [12] Ahmadi Chenarbon, H., and Hasheminia, S. M. 2011. Moisture desorption isotherms of *Lavandula officinalis* L. leaves at three temperatures. African Journal of Agricultural Research. 6(31): 6473-6476.
- [13] Gholami, M. 2007. Estimation of moisture desorption isotherms for Thompson seedless raisins and determining the best appropriate model. Iranian Journal of Food Science and Technology. 4(3): 49-58.
- [14] Soleimani, M., and Shahedi, M. 2006. Investigation of sorption isotherm curves for corn seed (Three Way Cross 647 and Single Cross 704). JWSS - Journal of Water and Soil Science. 10(2): 217-231.
- [15] Rahnema, M., Khoshtaghaza, M. H., and Ghobadian, B. 2011. Adsorption and desorption equilibrium moisture content and isosteric heat of estamaran date. Iranian Journal of Food Science and Technology. 8(1): 19-30.
- [16] Greenspan, L. 1977. Humidity fixed point of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of National Bureau of Standards. 81: 89-96.
- [17] Labuza, T. P., Kaanane, A., and Chen, J. Y. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrates food. Journal of Food Science. 52(2): 385-392.
- [18] Movahhed, S., Mohammadi Golchin, F., Eshaghi, M. R., and Ahmadi Chenarbon, H. 2021. Mathematical modeling of weight loss and crust temperature of Toast bread containing Guar gum during baking process. Food Science & Nutrition. 9(1): 272-281.
- [19] Movahhed, S., Moezzi, Z., and Ahmadi Chenarbon, H. 2021. Effective parameters in hot air-drying process on qualitative properties of Grapefruit (*Citrus paradise* L.) and selection of a suitable mathematical thin-layer drying model. Journal of Food Biosciences and Technology. 11(1): 69-80.



Scientific Research

Determination of moisture desorption isotherm curves of *Bidens bipinnata* L. leaves and stems

Leila Yousefi

Department of Chemistry, Isl.C., Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received: 2025/12/12 Review: 2025/12/31 Accepted: 2026/01/26 Keywords: <i>Bidens bipinnata</i> L., Isotherm, Equilibrium moisture, Halsey model, Desorption. DOI: 10.48311/fsct.2026.118231.82984 *Corresponding Author E- Leila.yousefi@iau.ac.ir	Determining the product's moisture desorption isotherm curves is essential in order to estimate the drying time, the moisture reduction rate, and consequently estimate the dryer capacity and save time and energy consumption. Therefore, in the present study, the moisture desorption isotherm curves of <i>Bidens bipinnata</i> L. were determined at 30, 40, 50, and 60 °C and water activity ranging from 11-85 by using the gravimetric static method, and the Chung-Pfost, Halsey, Henderson, Oswin, and GAB mathematical models were used to evaluate the experimental data. According to the results, at a given water activity, the equilibrium moisture content decreased with increasing temperature, but at each temperature, the equilibrium moisture content of the samples increased with increasing water activity. Also, the Halsey model had a better fit than other models due to the high value of R^2 and the lower values of MRD, RSS, and SEE, and it can be used to estimate the equilibrium moisture content of samples at different temperatures and relative humidities.