

فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۲۸، شماره ۱، صفحه ۱۵۲-۱۴۲ (۱۳۹۱)

تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب رطوبت برگ گیاه علف چای (*Hypericum perforatum* L.)

حسین احمدی چناربن^{۱*}، سعید مینایی^۲، علی‌رضا بصیری^۳، مرتضی الماسی^۴ و اکبر عرب حسینی^۵

*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین-پیشوا

پست الکترونیک: h.ahmadi@iauvaramin.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استادیار، گروه مهندسی شیمی، سازمان تحقیقات و پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۴- استاد، گروه مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۵- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۸۹

تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۳۸۹

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۸۹

چکیده

علف چای (*Hypericum perforatum* L.) یکی از مهمترین انواع گیاهان دارویی بوده که مهمترین ویژگی گونه‌های ایرانی آن، بالا بودن درصد هیپریسین در برگ و گل‌های آن است. منحنی‌های هم‌دما، رابطه تعادلی بین فعالیت آبی و مقدار رطوبت محصول در دمای ثابت را نشان می‌دهند و آگاهی از آنها در فرایند انبارمانی و خشک کردن محصول ضروریست. در این تحقیق رطوبت تعادلی هم‌دمای جذب برگ علف چای 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. پنج مدل ریاضی (هندرسون، هالسی، ازوین، چانگ فاست و گاب) برای برازش داده‌های حاصل از آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. براساس نتایج حاصل از برازش انجام شده در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب رطوبت، مدل چانگ فاست دارای بهترین برازش بود.

واژه‌های کلیدی: علف چای (*Hypericum perforatum* L.)، رطوبت تعادلی، منحنی جذب.

مقدمه

که تجارت آن ۲۱۰ میلیون دلار در آمریکا و ۵۷۰ میلیون دلار در سراسر دنیا طی چند سال اخیر بوده‌است (Sirvent et al., 2002). زراعت این گیاه در اروپای غربی طی سال‌های گذشته گسترش یافته‌است، به‌عنوان مثال، در آلمان سطح تولید در سال ۱۹۹۷ به ۳۰۰ هکتار رسید، در حالی که در سال ۱۹۹۲ این میزان ۱۵ هکتار بوده‌است (Buter et al., 1998).

یکی از مهمترین انواع گیاهان دارویی، علف چای (*Hypericum perforatum* L.) می‌باشد و مهمترین ویژگی گونه‌های ایرانی این گیاه، بالا بودن درصد هیپریسین به‌عنوان مهمترین ماده مؤثره در برگ و گل‌های آن می‌باشد که نقش بسیار مهمی در درمان انواع بیماریها دارد (امین، ۱۳۸۴). در اهمیت توجه به این گیاه باید گفت

منحنی‌های هم‌دمای رطوبت تعادلی، بیان نموداری رابطه بین رطوبت ماده و رطوبت نسبی تعادلی (در یک دمای معین) می‌باشند. به بیان ساده‌تر، نموداری که از رسم مقادیر مختلف رطوبت نسبی محیط به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر رطوبت تعادلی ماده به‌عنوان متغیر وابسته در دمای ثابت حاصل می‌شود منحنی هم‌دما یا آیزوترم خوانده می‌شود. از خصوصیات بارز یک منحنی رطوبت تعادلی از نظر ریاضی آنست که: ۱- مقدار رطوبت نسبی تعادلی در جایی که رطوبت تعادلی صفر است، صفر می‌باشد ۲- در رطوبت نسبی ۱۰۰٪، رطوبت تعادلی به سمت بی‌نهایت میل می‌کند ۳- شیب منحنی وقتی که رطوبت تعادلی به سمت صفر یا بی‌نهایت میل می‌کند، بی‌نهایت می‌شود (زمردیان، ۱۳۸۳). در تحلیل فرایندهای بیوشیمیایی، فیزیکی و میکروبی مواد غذایی، داده‌های مربوط به منحنی‌های آیزوترم جذب و دفع آب، نقش مهمی دارد. این منحنی‌ها حاوی اطلاعاتی در مورد چگونگی جذب و برهم‌کنش آب با بافت ماده غذایی است. همچنین در طراحی، بهینه‌سازی عملیاتی مانند خشک‌کردن، انبارمانی، بسته‌بندی و مخلوط کردن اهمیت زیادی دارند. با داشتن هم‌دمای جذب و دفع رطوبت، امکان پیش‌بینی حداکثر رطوبتی که محصول طی فرایند خشک‌کردن و انبارداری می‌تواند در خود حفظ کند فراهم می‌شود. با توجه به این‌که ویژگی‌های مواد غذایی با یکدیگر متفاوت است، بنابراین منحنی‌های آیزوترم برای هر ماده غذایی برای عملیات ذکر شده باید به‌صورت عملی بدست آیند (Hall & Davis, 1979). شکل دقیق هم‌دمای جذب براساس ساختار فیزیکی، ترکیب شیمیایی و نوع پیوندهای آب در داخل ماده غذایی تعیین می‌شود، اما شکل عمومی تمام هم‌دمای جذب، یکسان و به صورت S (سیگموئیدی) می‌باشد (Okos et al., 1992). مقدار

رطوبت تعادلی در مواد، معمولاً با دو روش ایستا و پویا تعیین می‌شود. نکته مهم در این روشها آن است که دما و رطوبت هوای پیرامون ماده ثابت باشد. برای فراهم‌آوردن رطوبت نسبی ثابت، از محلول اشباع نمک‌های متفاوت که در دمای معین، رطوبت نسبی ثابت را ایجاد می‌کنند، استفاده می‌شود. سرعت عمل روش پویا در تعیین مقدار رطوبت تعادلی بیشتر است ولی روش استاتیک برای این منظور دقت بیشتری دارد (گازر و بصیری، ۱۳۸۴). Jamali و همکاران (۲۰۰۶) منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع برگ‌های *Chenopodium ambrosioides* را در سه دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده فعالیت آبی ۵ تا ۹۰ درصد به روش وزن سنجی ایستا بدست آوردند. نمونه‌ها در این آزمایش پس از گذشت ۱۲ روز به تعادل رطوبتی رسیدند و از سوی دیگر در محدوده دماهای آزمایش پدیده پسماند یا هیسترزیس (Hysteresis) مشاهده نشد. به کمک آنالیز رگرسیون غیرخطی، مدل هالسی بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع و مدل GAB بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب نشان دادند. در تحقیقی دیگر، منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع برگ‌های گیاه *Maytenus ilicifolia* در سه دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده فعالیت آبی ۱۱ تا ۸۵ درصد به روش وزن‌سنجی ایستا تعیین شدند. در این آزمایش مدل چانگ‌فاست بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و مدل هندرسون تامسون بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع نشان دادند (Cordeiro et al., 2006). Jamali و همکاران (۲۰۰۶) منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع برگ‌های گیاه *Citrus reticulata* را در سه دمای ۳۰، ۴۰، ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده فعالیت آبی ۵ تا ۹۰ درصد به روش وزن‌سنجی ایستا مطابق

کرج واقع در ۱۶ کیلومتری بزرگ راه کرج- قزوین در اردیبهشت ماه ۸۸ تهیه شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه رویشی گیاه به ترتیب (۲۸' و ۵۰°) و (۳۵' و ۵۶°) و آب و هوای آن مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان سرد است. کمینه دمای سالانه در ماه‌های دی و بهمن و بیشینه آن در ماه‌های تیر و مرداد گزارش شده است. متوسط دمای سالیانه منطقه ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع مزرعه از سطح دریا ۱۵۰۰ متر می‌باشد.

محلول‌های اشباع نمک مورد استفاده در این پژوهش، برای تأمین رطوبت‌های نسبی مورد نیاز، شامل: کلرید لیتیم، استات پتاسیم، کلرید منیزیم، کربنات پتاسیم، نترات منیزیم، کلرید سدیم، و کلرید پتاسیم بودند که همگی دارای درجه خلوص ۹۸٪ بوده و از نمایندگی شرکت مرک Merck در ایران خریداری شدند. برای جلوگیری از کپک‌زدگی نمونه‌ها در رطوبت‌های نسبی بالای ۵۰٪ از کریستال تیمول استفاده شد. وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز علاوه بر وسایل متعارف عبارت بودند از: ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.001 گرم، انکوباتور با حجم ۲۰۰ لیتر و دقت 0.3 درجه سانتی‌گراد، آون خلأ (Gallen Kamp) با قابلیت ایجاد فشار مطلق تا ۱۵۰ میلی‌بار، دسیکاتور، ظروف شیشه‌ای حاوی محلول‌های نمک‌های اشباع و ظروف نگهداری نمونه‌های گیاهی.

روش کار

متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری رطوبت تعادلی، روش‌های وزن‌سنجی، رطوبت‌سنجی و فشارسنجی می‌باشند که در میان روش‌های نامبرده روش وزن‌سنجی به‌رغم زمان‌بر بودن آن به دلیل سادگی، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و دقت بالا، کاربرد گسترده‌تری دارد. در این

دستورالعمل COST90 تعیین نمودند. در این مطالعه پدیده هیستریزیس در منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع مشاهده گردید و مدل‌های GAB و BET بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع نشان دادند. Arabhosseini و همکاران (۲۰۰۵) منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع رطوبت ساقه و برگ گیاه ترخون را در دو وارسته فرانسوی و روسی به روش وزن‌سنجی ایستا و با بکارگیری محلول‌های اشباع نمک در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده رطوبت نسبی ۵ تا ۹۰ درصد تعیین نمودند. به کمک آنالیز رگرسیون غیرخطی، مدل‌های هالسی و GAB بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و دفع نشان دادند. از سوی دیگر بین رطوبت تعادلی دو وارسته فرانسوی و روسی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. Ahmadi Chenarbon و همکاران (۲۰۱۰) منحنی‌های هم‌دمای دفع رطوبت برگ گیاه علف چای (*Hypericum perforatum L.*) را در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۵ به روش وزن‌سنجی ایستا تعیین نمودند و به کمک آنالیز رگرسیون غیرخطی، مدل هالسی بهترین برازش را در تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفع نشان داد. مطالعه حاضر به منظور تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب برگ گیاه علف چای که اولین گام در مطالعات انبارداری این گیاه پس از فرایند خشک‌کردن می‌باشد، صورت گرفته است.

مواد و روشها

مواد مورد استفاده

گیاه علف چای (*Hypericum perforatum L.*) مورد استفاده در این تحقیق، از کلکسیون گیاهان دارویی مرکز تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی در منطقه هلجروند

آماده‌سازی محلول‌های اشباع نمک

برای ایجاد رطوبت‌های نسبی ثابت در دامنه‌ی فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ از هفت محلول اشباع نمک استفاده شد. مقادیر فعالیت آبی نمک‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌است. برای اطمینان از باقی ماندن محلول‌های نمک در حالت اشباع در هنگام دوره آزمایش، آماده‌سازی این محلول‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. پس از اطمینان از اشباع بودن محلول‌ها که با تجمع بلور نمک در ته ظرف مشخص بود، درب ظرف‌ها کاملاً بسته شد و درون آن با بالاترین درجه دمای آزمایش یعنی ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت شش ساعت قرار داده شدند. پس از گذشت زمان مذکور، در صورت وجود نمک در ته ظرف، محلول اشباع بوده و در غیر این صورت دوباره به محلول‌ها نمک اضافه شده و مراحل بالا تکرار می‌گردید. پس از آماده‌سازی محلول‌های اشباع، ۱۵۰ میلی‌لیتر از هر محلول در ظروف شیشه‌ای آزمایش ریخته شد. تمام تیمارهای آزمایش در سه تکرار انجام گردید.

پژوهش از روش وزن‌سنجی ایستا مطابق با دستورالعمل COST90 استفاده گردید (Spiess & Wolf, 1983).

آماده‌سازی مرحله جذب

پس از گلدهی، عمل برداشت گیاه انجام شد. سپس برگ‌ها از ساقه جدا شده و به قطعات ۲ میلی‌متری بریده شدند. حدود ۱۰۰ گرم از برگ آماده توزین شد و بین ۴ پتری‌دیش که قبلاً ضدعفونی شده بودند تقسیم شدند. پتری‌دیش‌ها به ظروف پلاستیکی که درون آنها تا نیمه از سیلیکاژل پر شده بود منتقل گردیدند. ظروف پلاستیکی حاوی نمونه‌ها و سیلیکاژل در دمای اتاق و در جای تاریک قرار داده شدند و پس از گذشت ۵ روز، در فواصل زمانی یک روز در میان پتری‌دیش‌ها توزین شدند و زمانی که اختلاف دو توزین متوالی در حدود $\pm 0/001$ گرم شد عملیات توزین متوقف گردید. برای اطمینان از خشک بودن کامل، پتری‌دیش‌ها درون آن خلأ با دمای 70°C و فشار ۱۵۰ میلی‌بار و به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند. سپس توزین نمونه‌ها انجام گردید (Tsami *et al.*, 1990).

جدول ۱- فعالیت آبی نمک‌های اشباع در دماهای آزمایش

منبع	a_w				فرمول نمک
	70°C	60°C	50°C	40°C	
(Greenspan, 1977)	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۹۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۲۸	LiCl
(Labuza, 1985)	۰/۱۶۲	۰/۱۷۴۷	۰/۱۸۹۲	۰/۲۰۶۰	CH ₃ COOK
(Greenspan, 1977)	۰/۲۷۷۷	۰/۲۹۲۶	۰/۳۰۴۵	۰/۳۱۶۰	MgCl ₂
(Labuza, 1985)	۰/۴۱۵۸	۰/۴۲۱۱	۰/۴۲۶۸	۰/۴۳۳	K ₂ CO ₃
(Labuza, 1985)	۰/۴۵۸۰	۰/۴۷۲۵	۰/۴۸۸۴	۰/۵۰۵۹	Mg(NO ₃) ₂
(Labuza, 1985)	۰/۷۴۴۳	۰/۷۴۵۷	۰/۷۴۷۳	۰/۷۵۰۶	NaCl
(Greenspan, 1977)	۰/۷۹۴۹	۰/۸۰۲۵	۰/۸۱۲	۰/۸۲۳۲	KCl

تعیین رطوبت تعادلی

ابتدا دمای مورد نظر در انکوباتورها تنظیم شد، سپس ظروف حاوی نمک‌های اشباع درون انکوباتورها قرار گرفتند. دمای هوای داخل یکی از ظروف به‌عنوان شاهد توسط یک دماسنج به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری گردید. پس از رسیدن دمای محلول‌های درون ظرف به دمای انکوباتور، ۱ گرم از نمونه‌های گیاهی درون ظروف کوچک آلومینیومی ریخته شد، سپس به‌صورت معلق در داخل ظروف محلول‌های نمک اشباع قرار داده شدند. پس از گذشت ۵ روز، نخستین توزین نمونه‌ها انجام شد و توزین‌های بعدی در فواصل زمانی ۳ روز در میان انجام گردید. هنگامی که اختلاف بین دو توزین متوالی ± 0.001 گرم شد آن نمونه به تعادل رطوبتی رسیده بود. به تعادل رسیدن نمونه‌ها حدود سه تا چهار هفته طول کشید. هر چه رطوبت نسبی محیط پایین‌تر و یا دمای آزمایش بالاتر بود این زمان کاهش پیدا می‌کرد. پس از آن که نمونه‌ها به تعادل رطوبتی رسیدند، برای تعیین رطوبت نهایی در آن

خلاً با دمای 70°C و فشار ۱۵۰ میلی‌بار و به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند. سپس توزین نمونه‌ها انجام و به کمک رابطه ۱ رطوبت تعادلی نمونه‌ها محاسبه شد.

$$X_e = \frac{M_w - M_d}{M_d} \quad (1)$$

که در آن، X_e : مقدار رطوبت تعادلی (d.b%)، M_w : وزن نمونه مرطوب (kg) و M_d : وزن نمونه خشک (kg) می‌باشد.

برازش داده‌ها

پس از بدست آوردن رطوبت تعادلی نمونه‌ها در هر کدام از رطوبت‌های نسبی تعیین شده، برای برازش داده‌ها از روش رگرسیون غیر خطی استفاده شد و با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2003 و Matlab مدل‌های مشروحه در جدول ۲ با داده‌ها برازش داده شدند.

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده در تحقیق برای برازش داده‌ها

مرجع	معادله	نام مدل
(ASAE, 2003)	$EMC = \left(-\frac{1}{C_1(T+C_2)} \ln(1-ERH) \right)^{1/C_3}$	هندرسون
(ASAE, 2003)	$EMC = \left(\frac{-\exp(C_1+C_2T)}{\ln(ERH)} \right)^{1/C_3}$	هالسی
(ASAE, 2003)	$EMC = (C_1 + C_2T) \left(\frac{ERH}{1-ERH} \right)^{1/C_3}$	ازوین
(ASAE, 2003)	$EMC = \frac{1}{C_1} \ln \left(\ln(ERH) \frac{(C_2-T)}{C_3} \right)$	چانگ فاست
(ASAE, 2003)	$EMC = \frac{C_1 C_2 C_3 (ERH)}{[1 - C_2(ERH)][1 - C_2(ERH) + C_2 C_3(ERH)]}$	گاب (GAB)

که در آنها، C_4, C_5, C_6, C_7 : ضرایب معادله، T_a : دما (K) و $R = 8.314 \text{ kJ/kmol.K}$ ثابت عمومی گازها می‌باشند. برای تعیین مناسب بودن برازش، افزون بر ضریب تعیین R^2 از سه شاخص SEE, RSS و MRD نیز استفاده شد. مناسبترین مدل، مدلی است که دارای بیشترین مقدار R و حداقل مقدار SEE, RSS و MRD باشد.

در معادلات بالا، EMC : مقدار رطوبت تعادلی $(d.b\%)$ ، ERH : رطوبت نسبی، C_1, C_2, C_3 : ضرایب معادلات و T : دما برحسب درجه سلسیوس است. از سوی دیگر ضرایب C_2 و C_3 در معادله GAB با روابط ۲ و ۳ محاسبه شدند (Lahsasni et al., 2004):

$$C_2 = C_4 \exp\left(\frac{C_4}{RT_a}\right) \quad (2)$$

$$C_3 = C_5 \exp\left(\frac{C_7}{RT_a}\right) \quad (3)$$

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مدل‌های بکار برده شده در تحقیق

منبع	معادله	نام شاخص
(Sun, 1999)	$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (EMC - \overline{EMC})^2}{df}}$	SEE
(Sun, 1999)	$MRD = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{ EMC - \overline{EMC} }{EMC}$	MRD
(Sun, 1999)	$RSS = \sum_{i=1}^m (EMC - \overline{EMC})^2$	RSS

که در آن: EMC : رطوبت بدست آمده از آزمایش $(d.b\%)$
 \overline{EMC} : رطوبت تعادلی بدست آمده از مدل $(d.b\%)$
 m : تعداد مشاهدات برای هر مدل است.

نتایج

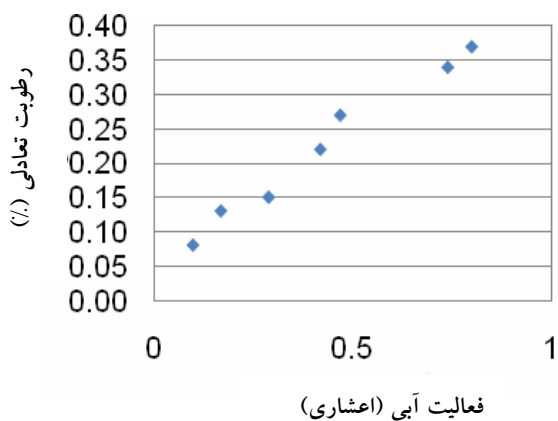
بررسی اثرهای دما بر منحنی‌های هم‌دما

آزمایش مربوط به تعیین هم‌دماهای تعادلی برگ گیاه علف چای در چهار سطح دما یعنی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و در دامنه فعالیت آبی ۰/۱۱ تا ۰/۸۴ و در سه تکرار انجام شد. منحنی‌های هم‌دمای جذب بدون برازش برگ‌ها در شکل‌های ۴-۱ ترسیم شده‌است.

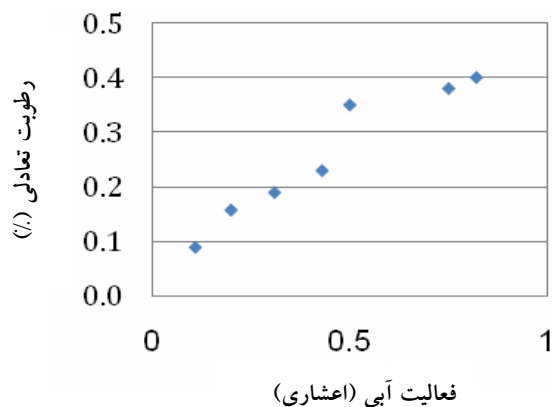
برازش داده‌ها

مدل‌های تجربی و تئوری متعددی برای برازش مقادیر آزمایشی رطوبت تعادلی مواد ارائه شده‌است. در این

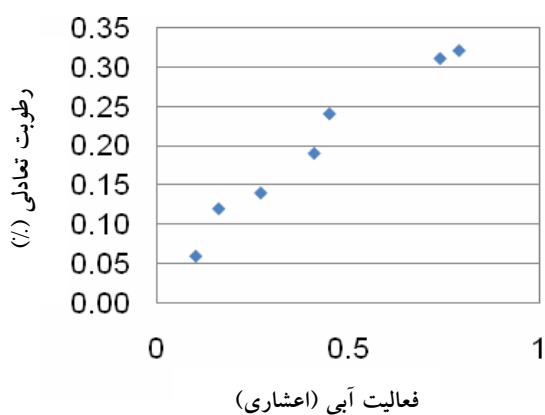
پژوهش مدل‌های هندرسون، هالسی، ازوین، چانگ‌فاست و گاب به دلیل آن‌که در بیشتر تحقیقات انجام شده بر روی محصولات کشاورزی استفاده شده‌اند، برای برازش داده‌های آزمایش بکار برده شدند. به منظور برازش داده‌ها، از روش رگرسیون غیرخطی استفاده شد و برای تعیین مناسب بودن برازش علاوه بر R^2 از سه شاخص SEE, RSS و MRD نیز استفاده گردید. جدول ۴ ضرایب مدل‌های برازش شده براساس داده‌های حاصل از آزمایش هم‌دمای جذب را نشان می‌دهد.



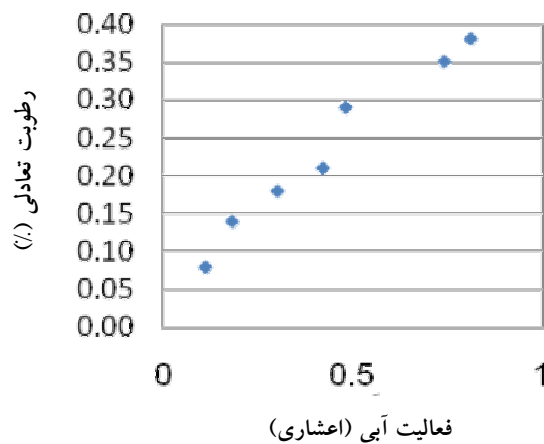
شکل ۳- مقادیر رطوبت تعادلی در اثر تغییرات رطوبت نسبی محیط در دمای 60°C برای پدیده جذب (بدون برآزش)



شکل ۱- مقادیر رطوبت تعادلی در اثر تغییرات رطوبت نسبی محیط در دمای 40°C برای پدیده جذب (بدون برآزش)



شکل ۴- مقادیر رطوبت تعادلی در اثر تغییرات رطوبت نسبی محیط در دمای 70°C برای پدیده جذب (بدون برآزش)



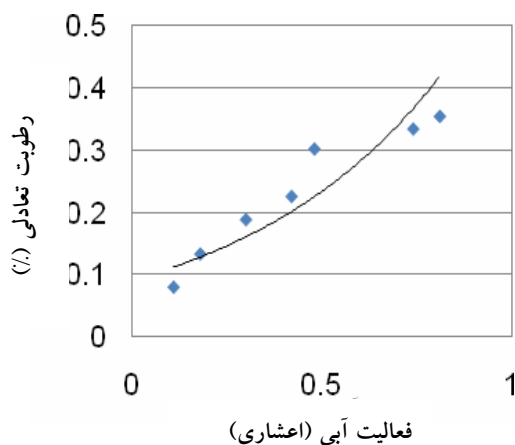
شکل ۲- مقادیر رطوبت تعادلی در اثر تغییرات رطوبت نسبی محیط در دمای 50°C برای پدیده جذب (بدون برآزش)

جدول ۴- ضرایب مدل‌های برازش شده در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب برگ گیاه علف چای

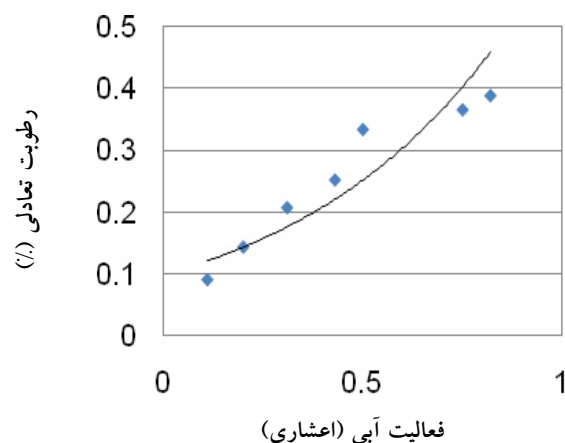
Chung-Pfost		Oswin		Halsey		
انحراف معیار	ضرایب برازش شده	انحراف معیار	ضرایب برازش شده	انحراف معیار	ضرایب برازش شده	ضرایب
$\pm 0/136$	۱۰/۶۶۴	$\pm 0/107$	۰/۵۹۶	$\pm 0/561$	-۴/۷۰۵	C_1
$\pm 9/664$	۱۲/۶۶۴	$\pm 0/004$	-۶/۳۴	$\pm 0/756$	-۷/۳۳۵	C_2
$\pm 35/219$	۲۴۱/۱۷	$\pm 0/119$	۳/۰۵۵	$\pm 0/046$	۱/۳۴۷	C_3
	۰/۰۰۲۰		۰/۰۳۱		۰/۰۷۴	RSS
	۰/۰۱۹		۰/۰۲۱		۰/۰۲۹	SEE
	۰/۰۲۶		۰/۰۳۸		۰/۰۶۱	MRD
	۰/۹۷		۰/۹۷		۰/۹۶	R^2
Random		Random		Random		Residual

تا ۸ مقادیر رطوبت تعادلی بدست آمده در اثر تغییرات رطوبت نسبی محیط در دماهای آزمایش، برای پدیده جذب رطوبت که توسط مدل چانگ‌فاست برازش شده‌اند را نشان می‌دهند.

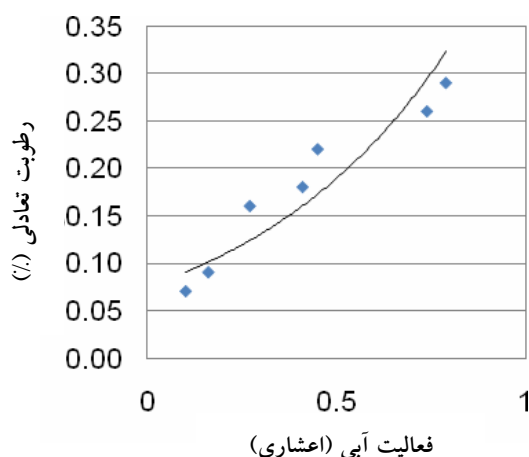
براساس برازش انجام شده در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب، مدل چانگ‌فاست به‌علت دارا بودن بیشترین مقدار $R^2 = 0/97$ و کمترین مقادیر $RSS = 0/002$ ، $SEE = 0/019$ و $MRD = 0/026$ دارای بهترین برازش بود. شکل‌های ۵



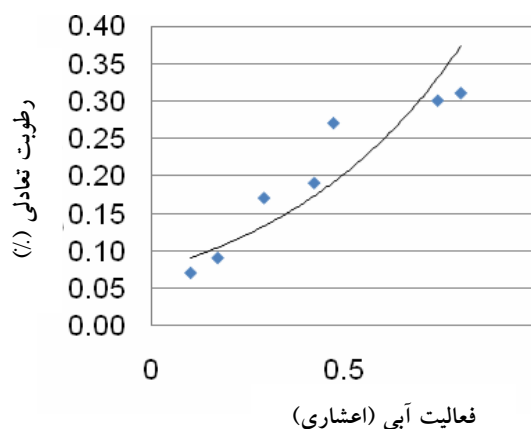
شکل ۶- منحنی هم‌دمای جذبی برازش شده با مدل چانگ‌فاست در دمای 50°C



شکل ۵- منحنی هم‌دمای جذبی برازش شده با مدل چانگ‌فاست در دمای 40°C



شکل ۸- منحنی هم‌دمای جذبی برازش شده با مدل چانگ‌فاست در دمای ۷۰°C



شکل ۷- منحنی هم‌دمای جذبی برازش شده با مدل چانگ‌فاست در دمای ۶۰°C

بحث

و محیط اختلاف فشار کمتری مشاهده می‌گردد، بنابراین رطوبت کمتری از دست می‌رود. این تغییرات در فعالیت‌های آبی بالای ۰/۶ بیشتر مشهود است، اما در فعالیت‌های آبی زیر ۰/۲ مقدار رطوبت تعادلی تغییر چندانی نشان نمی‌دهد. همچنین نمودارها حکایت از آن دارند که در یک رطوبت نسبی مشخص، با افزایش دما، رطوبت تعادلی کاهش می‌یابد، به طوری که رطوبت تعادلی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (در رطوبت نسبی معین) کمترین مقدار را دارا بود. علت این پدیده آنست که با افزوده شدن دمای ماده، تحرک و محدوده حرکتی مولکول‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش فاصله بین آنها سبب کاهش نیروی جاذبه بین مولکولی می‌شود. این امر موجب کاهش جذب آب در رطوبت نسبی معین با بالا رفتن دما می‌شود. از سوی دیگر Cordeiro و همکاران (۲۰۰۶) نیز در پژوهش خود بر روی برگ‌های *Maytenus ilicifolia* L. نشان دادند که مدل چانگ‌فاست دارای بهترین برازش در تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب می‌باشد.

از آنجایی که در منابع گزارش‌هایی در مورد تعیین منحنی‌های هم‌دمای علف چای یافت نشد، بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های سایر پژوهشگرانی که بر روی گیاهان دارویی دیگر نظیر ترخون (*Artemisia dracunculus* L.)، نعنا (گونه‌های *Mentha crispa* L. و *Mentha viridis* L.) و *Lippa citrodora* L.) verbena مطالعه کرده بودند مقایسه شد. نتایج نشان داد که تمامی نمودارها به صورت سیگموئید (S شکل) می‌باشند. پژوهش‌های محققان دیگر نیز نشان داده که منحنی‌های هم‌دما برای مواد بیولوژیک، بصورت سیگموئیدی است که این خاصیت جزو خواص مواد بیولوژیک از جمله محصولات کشاورزی می‌باشد (Okos et al., 1992). از سوی دیگر، همان‌گونه که جدولها و شکل‌های فوق نشان می‌دهند در یک دمای ثابت، میزان رطوبت تعادلی با افزایش مقدار رطوبت نسبی (فعالیت آبی) افزایش می‌یابد. این امر به علت اختلاف فشار بخار آب بین ماده و محیط می‌باشد. یعنی هر قدر رطوبت نسبی محیط بالا می‌رود، در حقیقت به فشار بخار آب اشباع نزدیک‌تر شده و بین ماده

سپاسگزاری

از همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین و پیشوا که امکان انجام چنین تحقیقی را فراهم نمودند سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Maytenus ilicifolia* leaves. Journal of Biosystems Engineering, 94(2): 221-228.
- Greenspan, L., 1977. Humidity fixed point of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of National Bureau of Standards, 81: 89-96.
 - Hall, C.W. and Davis, D.C., 1979. Processing Equipment for Agricultural Products. Avi Publishing Co Inc, London, 396p.
 - 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: 71-78.
 - 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.
 - Lahsasni, S., Kouhila, M. and Mahrouz, M., 2004. Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). Energy Conversion and Management, 45(2): 249-261.
 - Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., Singh, R.K. and Weitmayer, A.C., 1992. Food Dehydration: 601-744. In: Heldman, D.R. and Lund, D.B., (Eds.). Handbook of Food Engineering. Marcel Dekker, New York, 1040p.
 - Sirvent, T.M., Walker, L., Vance, N. and Gibson, D.M., 2002. Variation in hypericins from wild populations of *Hypericum perforatum* L. In the Pacific Northwest of the U.S.A. Economic Botany, 56: 41-48.
 - Spiess, W.E.L. and Wolf, W.F., 1983. The results of the COST 90 project on water activity: 65-91. In: Jowitt, R., (Ed.). Physical Properties of Foods. Applied Science Publishers, London, 425p.
 - Sun, D.W., 1999. Comparison and selection of EMC/ERH isotherm equation for rice. Journal of Stored Products Research, 35(3): 249-264.
 - Tsami, E., Maroulis, Z.B., Morunos-Kouris, D. and Saravacos, G.D., 1990. Heat of sorption of water in dried fruits. International Food Science and Technology, 25(3): 350-359.
 - امین، غ.ر.، ۱۳۸۴. متداول‌ترین گیاهان دارویی سنتی ایران. معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۹۸ صفحه.
 - زمردیان، ع.، ۱۳۸۳. خشک کردن دانه‌ها، اصول نظری و عملی (ترجمه). انتشارات علوم کشاورزی تهران، تهران، ۴۴۴ صفحه.
 - گازر، ح. و بصیری، ع.ر.، ۱۳۸۴. تعیین منحنی‌های هم‌دمای دفعی رطوبت در دماهای خشک کردن پسته. تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲۳(۶): ۱۴۲-۱۲۵.
 - 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.
 - Arabhosseini, A., Huisman, W., van Boxtel, A. and Mueller, J., 2005. Modeling of the equilibrium moisture content (EMC) of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Journal of Food Engineering, 1(5): art7.
 - ASAE, 2003. Moisture relations of plant-based agricultural products. ASAE Standards 2003, Standards Engineering Practics Data (50th Edition) D245.5: 512-528.
 - Buter, B., Orlacchio, C., Soldati, A. and Berger, K., 1998. Significance of genetic and environmental aspects in the field cultivation of *Hypericum perforatum* L. Journal of Planta Medica, 64(5): 431-437.
 - Cordeiro, D.S., Raghavan, G.S.V. and Oliveira, W. P., 2006. Equilibrium moisture content models for

Determination of moisture adsorption isotherm of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) leaves

H. Ahmadi Chenarbon^{1*}, S. Minaei², A.R. Bassiri³, M. Almassi⁴ and A. Arabhosseini⁵

1*- Corresponding author, Department of Agriculture, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University-Varamin Pishva, Iran
E-mail: h.ahmadi@iauvaramin.ac.ir

2- Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Institute of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran

4- Department of Agricultural Mechanization, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

5- College of Aboureihan, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: August 2010

Revised: February 2011

Accepted: February 2011

Abstract

St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) is an important medicinal plant that high percentages of hypericin in its leaves and flowers are considered as the most important feature of the Iranian species. Isotherm curves show the relationship between the air relative humidity and moisture content of the plant at constant temperature. Knowledge about isotherms is essential for storage and drying process. In this research, moisture equilibrium data of St. John's wort's leaves by adsorption were determined at 40, 50, 60 and 70°C and water activity ranging from 0.11-0.84 by using the gravimetric static method. Five mathematical models (Henderson, Halsey, Oswin, Chung-Pfost, and GAB) were used to fit the experimental data. Based on the results, the Chung-Pfost model was the best one for estimating adsorption isotherms curves of St. John's wort's leaves.

Key words: St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.), equilibrium moisture content, adsorption curve.