

مقاله پژوهشی

## کمی‌سازی تغییرات رطوبت نسبی و محتوی رطوبت بذر ارقام کلزا در دماهای مختلف با استفاده از منحنی تعادل هیگروسکوپی

محسن ملک<sup>۱</sup>، فرشید قادری فر<sup>۲\*</sup>، بنیامین ترابی<sup>۲</sup>، حمیدرضا صادقی پور<sup>۳</sup>

چکیده مبسوط

مقدمه: بذرها نیز همانند سایر مواد دارای خاصیت هیگروسکوپی بوده و با محیط اطراف خود تبادل رطوبتی دارند. تغییرات رطوبتی بذرها طی انبارداری به ماهیت هیگروسکوپی آن‌ها وابسته است و این ویژگی نقش مهمی در تعیین کیفیت و طول عمر بذرها دارد. از طرفی مطالعه خصوصیات هیگروسکوپی بذرها می‌تواند علاوه بر مطالعات انبارداری در مباحث تجاری مانند خشک کردن و فراوری بذر نیز مورد استفاده قرار بگیرد. از این رو در این پژوهش رابطه رطوبت بذر و رطوبت نسبی در بذر ارقام کلزا مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه به بررسی رابطه رطوبت نسبی محیط و محتوی رطوبت بذر سه رقم کلزا در دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس با استفاده از منحنی‌های تعادل هیگروسکوپی پرداخته شد. به این منظور منحنی‌های دفع و جذب آب به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. منحنی‌های جذب و دفع آب به ترتیب با خشک کردن بذرها در رطوبت نسبی یک درصد و آبیگری بذرها در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد و پس از آن با انتقال به رطوبت‌های نسبی و دماهای مختلف و در نهایت تعیین محتوی رطوبت تعادلی بذرها به دست آمدند. لازم به ذکر است به منظور ایجاد رطوبت‌های نسبی مختلف از محلول‌های وزنی گلیسرول و اسید سولفوریک استفاده شد. در نهایت نیز کمی‌سازی رابطه محتوی رطوبت بذرها و رطوبت نسبی با کمک مدل دی آرکی-وات انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاکی از آن بود که محتوی رطوبت بذرها بسته به رقم و دما در رطوبت‌های نسبی مختلف متفاوت بود. همچنین در تمامی ارقام و دماها بین منحنی‌های دفع و جذب آب اختلاف وجود داشت؛ و بطور کلی منحنی‌های دفع بالاتر از منحنی‌های جذب آب قرار گرفتند. بین ارقام مختلف از لحاظ محتوی رطوبت بذر در دماهای مختلف بیشترین اختلافات در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد مشاهده شد و در رطوبت‌های نسبی پایین‌تر این اختلاف کمتر بود. همچنین در مجموع بیش‌ترین مقدار رطوبت بذر ارقام کلزا در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار رطوبت بذر نیز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱ درصد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های این آزمایش مشخص شد رابطه محتوی رطوبت بذرها و رطوبت نسبی از یک تابع سیگموئیدی تبعیت می‌کند و همچنین این رابطه بسته به رقم و دما می‌تواند دارای تفاوت‌هایی باشد. بین منحنی‌های جذب و دفع آب اختلاف وجود داشت. این اختلاف یا فاصله بین منحنی جذب و دفع آب که هیستریس نام دارد، نشان داد معمولاً رطوبت بذرها در یک رطوبت نسبی ثابت در حالی که بذرها در حال آبیگری هستند نسبت به حالتی که در حال کاهش رطوبت هستند کم‌تر است که همین امر سبب بالاتر قرار گرفتن منحنی دفع نسبت به منحنی جذب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب آب، دفع آب، هیستریس، انبارداری بذر، مدل‌سازی تغییرات رطوبتی

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- پاسخ به منحنی‌های تعادل هیگروسکوپی در بذر ارقام مختلف کلزا مقایسه گردید.
- ۲- از محلول‌های اسید سولفوریک و گلیسرول به منظور ایجاد رطوبت‌های نسبی مختلف استفاده گردید.

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<http://dx.doi.org/10.29252/yuj.s.7.1.39>

<sup>۲</sup> دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۳</sup> دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشگاه گلستان



CrossMark

\*رایانامه نویسنده مسئول: [farshidghaderifar@gau.ac.ir](mailto:farshidghaderifar@gau.ac.ir)

## مقدمه

بذرها در طبیعت دارای خاصیت هیگروسکوپی هستند؛ آن‌ها می‌توانند رطوبت را از محیط اطراف بگیرند و همچنین رطوبت خود را به هوای اطراف پخش کنند. بذرها رطوبت را تا زمانی جذب می‌کنند یا از دست می‌دهند که فشار بخار رطوبت بذر و رطوبت اتمسفر به تعادل برسند (برادفورد<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، شلر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). منحنی‌های هم‌دما بیانگر نقاطی است که ماده با محیط اطراف خود به تعادل رطوبتی می‌رسد و این منحنی‌ها کاربرد فراوانی در کشاورزی و صنایع غذایی داشته و می‌توان از آن‌ها در فعالیت‌هایی مثل انبارداری، خشک‌کردن و بسته‌بندی صحیح استفاده کرد (خلیلی‌ا قدم و قادری‌فر<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲؛ دنیل<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

خصوصیات هیگروسکوپی بذرها بر اساس رابطه بین محتوای رطوبت بذر و رطوبت نسبی محیط ذخیره‌سازی بذر در یک دمای معین شرح داده می‌شود که می‌تواند به‌صورت منحنی‌های هم‌دماهای جذب و یا از دست دادن آب نشان داده شوند. هم‌دماهای جذب و از دست دادن آب تغییرات رطوبتی بذرها را در یک محیط بسته (در تعادل) پیش‌بینی می‌کنند (کوهیلا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). از این‌رو، می‌توانند به تعیین شرایط مطلوب جهت خشک‌کردن و ذخیره‌سازی بذرها کمک کنند، به‌نحوی که طول عمر بذر طی دوره انبارداری افزایش یابد. از آنجایی که ماهیت هیگروسکوپی بسته به نوع بذر می‌تواند بسیار متفاوت باشد، از این‌رو، می‌بایستی هم‌دماهای جذب و از دست دادن آب در بذرها و یا محیط‌های مختلف به‌طور جداگانه تعیین شوند (دنیل و همکاران، ۲۰۱۳). منحنی‌های جذب در مواردی مثل انبارداری و بسته‌بندی و منحنی‌های دفع در فرایندهایی مثل خشک‌کردن کاربرد دارند (آیرانچی<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۰).

ماهیت هیگروسکوپی بذرها می‌تواند مشکلاتی را برای تولیدکنندگان بذر به‌ویژه در مناطق مرطوب ایجاد نماید. همچنین، یکی از مهم‌ترین کاربردهای منحنی‌های هیگروسکوپی کنترل رطوبت نسبی محل نگهداری بذرها می‌باشد. کنترل رطوبت نسبی مهم‌ترین عاملی است که به‌طور مستقیم میزان رطوبت بذرها در انبار را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ولازکوئز گوتیرز<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). در محیط‌های مرطوب، افزایش محتوای رطوبت بذر منجر به تسریع زوال و کاهش کیفیت فیزیولوژیکی بذرهای تولیدشده می‌شود. از طرف دیگر، افزایش محتوای رطوبت بذر شرایط را برای رشد و توسعه آلودگی‌های میکروبی مهیا می‌کند و باعث فساد بذرها می‌شود. این موضوع همچنین باعث کاهش بازارپسندی محصولات دانه‌ای به دلیل میکوتوکسین‌های تولیدشده به‌وسیله میکروب‌های انباری می‌شود (مالیک و جایوتی<sup>۸</sup>، ۲۰۱۳). به‌طور مفهومی هر چه مقدار رطوبت پایین‌تر باشد، بذرها زمان طولانی‌تر می‌توانند نگهداری شوند، به شرطی که سطح رطوبت را بتوان در طول دوره انبار کنترل و از نوسانات رطوبتی جلوگیری کرد (شلر و همکاران، ۲۰۰۸).

حساسیت بذرها به دماهای بالا به‌شدت تحت تأثیر محتوای آب بذر می‌باشد، به‌طوری که از دست دادن قابلیت حیات بذر با افزایش رطوبت بذر رابطه مستقیم دارد (کیبینزا<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). دما همچنین به‌طور مستقیم بر میزان رطوبت بذر تأثیر می‌گذارد و سرعت واکنش‌های مخرب که در بذر رخ می‌دهد را افزایش می‌دهد (برادفورد و همکاران، ۲۰۱۶). به‌طورمعمول انبارداری بذرها با رطوبت ۱۴-۱۲ درصد زمینه را برای رشد و توسعه آلودگی‌های قارچی و میکروبی فراهم می‌سازد و رطوبت‌های ۲۰-۱۸ درصد علاوه بر آلودگی‌های قارچی و میکروبی، افزایش تنفس و به دنبال آن افزایش دما و در نهایت تشدید فرایند زوال را به دنبال دارد (آگروال<sup>۱۰</sup>، ۱۹۸۰). از طرفی رطوبت‌های خیلی پایین (کمتر از ۵ درصد) نیز باعث تجزیه ساختار

<sup>1</sup> Bradford

<sup>2</sup> Shelar

<sup>3</sup> Khaliliaqdam and Ghaderi-Far

<sup>4</sup> Daniel

<sup>5</sup> Kouhila

<sup>6</sup> Ayranci

<sup>7</sup> Velázquez-Gutiérrez

<sup>8</sup> Malik and Jayoti

<sup>9</sup> Kibinza

<sup>10</sup> Agrawal

تولیدشده در سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۷) استفاده شد. بذرها از مرکز مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان گرگان تهیه شدند. در این آزمایش رابطه رطوبت نسبی محیط و رطوبت بذر ارقام کلزا در دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس، با ترکیبی از روش سان<sup>۶</sup> (۲۰۰۲) و هال<sup>۷</sup> (۱۹۷۵) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از محلول‌های گلیسرول و اسیدسولفوریک با درصدهای وزنی مختلف برای ایجاد رطوبت‌های نسبی مختلف استفاده شد (جدول ۱ و ۲). به این منظور، ۴۰ میلی‌لیتر از هر کدام از محلول‌های مورد نظر در ظرف‌های وکیوم با ابعاد ۴×۹×۱۳ سانتی‌متر ریخته و بذرها توسط توری سیمی درون ظرف‌ها قرار گرفتند به طوری که بذرها هیچ ارتباط مستقیمی با محلول نداشتند و سپس به منظور ایجاد تعادل رطوبتی بذر با محیط در ظرف‌ها به طور کامل پلمپ شد و به طور جداگانه در دماهای مورد آزمایش قرار گرفتند.

به منظور دستیابی به منحنی جذب در هر دما، ابتدا بذرها توسط توری سیمی درون ظرف‌های وکیوم حاوی ۴۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ (رطوبت نسبی یک درصد) به مدت هفت روز در دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از تعیین رطوبت بذر، ۲ گرم از هر نمونه بذری به رطوبت‌های نسبی مختلف و در دماهای مختلف (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس) منتقل شدند. پس از گذشت هفت روز؛ از هر نمونه بذری سه تکرار ۵۰ بذری وزن شد و رطوبت بذرها تعیین شد. همچنین، به منظور دستیابی به منحنی‌های دفع در هر دما، بذرها را ارقام کلزا توسط توری سیمی درون ظرف‌های وکیوم حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر (رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد) به مدت هفت روز قرار گرفتند و سپس مطابق بند قبل بذرها به رطوبت‌های نسبی و دماهای مختلف منتقل و رطوبت بذرها تعیین شد.

از محلول‌های گلیسرول معمولاً برای ایجاد رطوبت‌های نسبی مختلف در دامنه ۳۰-۹۸ درصد استفاده شد (جدول ۱). روش ساده و کاربردی که برای

غشاء و در نتیجه زوال بذر می‌گردد؛ بنابراین کنترل رطوبت بذر در انبار بسیار حائز اهمیت است (الیس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

با وجود اینکه تغییرات رطوبتی بذرها طی انبارداری به ماهیت هیگروسکوپی آن‌ها وابسته است و این ویژگی نقش مهمی در تعیین کیفیت و طول عمر بذرها دارد، اما تاکنون محققان و تولیدکنندگان بذر در کشور ما توجه چندانی به این مقوله از خود نشان ندادند. در ایران بذرها اکثر محصولات دانه‌ای نظیر گندم، جو، ذرت، سویا پس از تولید در انبارهایی نگهداری می‌شوند که در آن‌ها دما و رطوبت نسبی هوای انبار تحت کنترل نیست. از این رو، شرایط دما و رطوبت نسبی انبارها بسیار متغیر هستند و با توجه به ماهیت هیگروسکوپی بذرها، محتوای رطوبت در بذرها ذخیره شده در معرض نوسانات بی‌دری قرار می‌گیرد. بدون شک این رویداد نقش بسزایی در کاهش کیفیت بذر خواهد داشت (الیس و هانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷).

تعیین منحنی‌های هم‌دمای جذب و از دست دادن آب در بذرها محصولات دانه‌ای می‌تواند شرایط مطلوب برای نگهداری بذرها مختلف را در هر محیط خاص به ما نشان دهد؛ بنابراین، اطلاع از آن‌ها می‌تواند در بهبود و بهینه‌سازی انبارهای نگهداری محصولات دانه‌ای و توسعه صنعت تولید بذر کمک زیادی نماید. در این مطالعه رابطه رطوبت نسبی و محتوی رطوبت بذر ارقام کلزا در دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس با استفاده از محلول‌های اسیدسولفوریک و گلیسرول کمی سازی و منحنی‌های هیگروسکوپی رسم شد.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. در این مطالعه از بذرها سه رقم کلزا با نام‌های دی‌کا-ایکس پاور<sup>۳</sup>، تراپر<sup>۴</sup> و هایولا ۵۵<sup>۵</sup>

<sup>1</sup> Ellis

<sup>2</sup> Ellis and Hong

<sup>3</sup> Dk-xpower

<sup>4</sup> Traپر

<sup>5</sup> Hayola50

<sup>6</sup> Sun

<sup>7</sup> Hall

درصد وزنی مورد نظر =  $\frac{\text{مقدار اسید مورد نیاز (میلی لیتر)}}{1.84}$   
 که در آن ۱/۸۴ چگالی اسیدسولفوریک در دمای ۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد.

سپس با توجه به چگالی آب که برابر ۱ می‌باشد؛ با کسر درصد وزنی (۴۰) از میزان کل محلول مورد نیاز (۱۰۰) میزان آب مورد نیاز برای تهیه محلول به دست می‌آید؛ بنابراین لازم است برای تهیه محلول اسیدسولفوریک با ۴۰ درصد وزنی، ۲۱/۷۴ میلی‌لیتر اسید خالص با ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گردد. از آنجا که محلول‌های اسید سولفوریک معمولاً خالص نیستند، لازم است غلظت اسید نیز در محاسبات لحاظ گردد. برای مثال با فرض این‌که غلظت اسید ۹۸٪ باشد لازم است ۲۲/۱۸ میلی‌لیتر اسید استفاده گردد؛ همچنین چون ناخالصی اسید مصرفی آب می‌باشد لازم است مقدار آب موجود در اسید از مقدار آب مصرفی برای تهیه محلول اسید با درصد وزنی مورد نظر کسر گردد. بنابر این باتوجه به توضیحات ذکر شده لازم است ۵۹/۵۶ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده گردد.

برای تعیین رطوبت بذرها در هر مرحله؛ نمونه‌های بذری ابتدا با ترازوی دیجیتال با دقت یک میلی‌گرم وزن شدند. سپس بذرها به مدت ۱۷ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس قرار گرفتند و در نهایت رطوبت بذرها بر مبنای وزن خشک از طریق رابطه (۶) محاسبه شد (اکرم‌قادری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰).

$$M_1 = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100$$

رابطه ۶:

که در این رابطه  $M_1$  درصد رطوبت بر مبنای وزن خشک،  $W_1$  وزن بذر قبل از خشک شدن و  $W_2$  وزن بذر بعد از خشک شدن می‌باشد.

پس از محاسبه رطوبت بذرها در هر رطوبت نسبی، مدل دی آرکی-وات<sup>۲</sup> (رابطه ۷) به درصد رطوبت بذرها در هر رطوبت نسبی برازش داده شد (هی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۳).

محاسبه تعیین غلظت گلیسرول به منظور دستیابی به رطوبت نسبی مورد نظر وجود دارد، روش وزنی است؛ که در این روش از روابط مختلفی استفاده می‌گردد که در ادامه شرح داده می‌شوند (سان، ۲۰۰۲؛ هال، ۱۹۷۵).

ابتدا برای محاسبه وزن مخصوص محلول آب-گلیسرول (SG) به منظور ایجاد رطوبت نسبی (RH) مورد نظر از رابطه ۱ استفاده شد:

$$SG = [(-0.189 \times RH) + 19.9]^{0.0806}$$

رابطه ۱:

سپس نسبت‌های آب و گلیسرول مورد نیاز برای تولید SG مورد نظر محاسبه گردید که بدین منظور، رابطه ۲ مورد استفاده قرار گرفت:

$$G_w = (383 \times SG) - 383$$

رابطه ۲:

که در آن  $G_w$  درصد گلیسرول بر اساس وزن در محلول است. با استفاده از این دو فرمول می‌توان محلول گلیسرول مورد نظر برای ایجاد یک رطوبت نسبی معین را ایجاد کرد. همچنین، برای ساده‌تر شدن کار می‌توان حجم آب و گلیسرول مورد نیاز برای تهیه محلول‌های مختلف را با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ تعیین کرد:

$$G_v = (G_w \times W_t) / (100 \times 1.262)$$

رابطه ۳:

$$H_v = [(100 - G_w) \times W_t] / (100 \times 1)$$

رابطه ۴:

که در آن‌ها  $G_v$  حجم گلیسرول بر حسب میلی‌لیتر،  $W_t$  وزن کل محلول بر حسب گرم، ۱/۲۶۲ چگالی گلیسرول بر حسب گرم در میلی‌لیتر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس،  $H_v$  حجم آب مورد نیاز و ۱ چگالی آب بر حسب گرم در میلی‌لیتر است.

اسیدسولفوریک یک اسید خشک‌کننده رایج است که ضمن رقیق کردن آن با آب می‌توان رطوبت‌های نسبی مختلف را ایجاد کرد. به منظور تهیه محلول‌های اسیدسولفوریک با درصد وزنی مختلف می‌توان با استفاده از چگالی اسید در دماهای مختلف استفاده کرد. به‌عنوان مثال برای تهیه ۱۰۰ گرم محلول اسیدسولفوریک با ۴۰ درصد وزنی- وزنی، با استفاده از رابطه ۵ میزان اسیدسولفوریک مورد نیاز بر حسب میلی‌لیتر محاسبه می‌گردد (اکرم‌قادری و همکاران، ۲۰۱۰).

رابطه ۵:

<sup>1</sup> Akram-Ghadery

<sup>2</sup> D'Arcy-Watt equation

<sup>3</sup> Hay

جدول ۱. رطوبت نسبی تعادلی ایجاد شده به وسیله غلظت‌های مختلف گلیسرول در دماهای مختلف (سان، ۲۰۰۲).

**Table 1.** The equilibrium relative humidity as a function of glycerol concentration under different temperatures (Sun, 2002).

رطوبت نسبی (%) در دماهای مختلف							درصد وزنی
Relative humidity (%) at various temperatures							Weight percent
35 °C	30 °C	25 °C	20 °C	15 °C	10 °C	5 °C	
98.3	98.3	98.3	98.2	98.2	98.1	98.1	10
97.9	97.9	97.8	97.8	98.7	98.7	98.6	12
97.5	97.4	97.4	97.3	97.2	97.2	97.1	14
97.0	96.9	96.9	96.8	96.7	96.6	96.6	16
96.4	96.4	96.3	96.2	96.1	96.1	96.0	18
95.9	95.8	95.7	95.6	95.5	95.5	95.4	20
94.6	94.5	94.4	94.3	94.2	94.1	94.0	24
93.2	93.1	93.0	92.9	92.8	92.6	92.5	28
91.7	91.5	91.4	91.3	91.1	91.0	90.8	32
89.9	89.7	89.6	89.4	89.3	89.1	88.9	36
87.9	87.7	87.6	87.4	87.2	87.0	86.8	40
85.7	85.5	85.3	85.1	84.9	84.7	84.5	44
83.3	83.1	82.9	82.7	82.5	82.2	82.0	48
80.6	80.4	80.2	80.0	79.7	79.5	79.2	52
77.7	77.4	77.2	77.0	76.7	76.5	76.2	56
74.3	74.1	73.8	73.6	73.3	73.0	72.8	60
70.6	70.4	70.1	69.6	69.6	69.3	69.0	64
66.6	66.3	66.1	65.8	65.5	65.2	64.9	68
62.1	61.8	61.5	61.2	60.9	60.6	60.3	72
57.1	56.8	56.5	56.2	55.9	55.6	55.2	76
51.4	51.1	50.8	50.5	50.2	49.8	49.5	80
45.0	44.7	44.4	44.0	43.7	43.4	43.0	84
37.5	37.2	36.9	36.5	36.2	35.9	35.5	88

جدول ۲. رطوبت نسبی در تعادل با غلظت‌های مختلف اسیدسولفوریک در دماهای مختلف (اکرم قادری و همکاران، ۲۰۱۰).

**Table 2.** The equilibrium relative humidity as a function of sulfuric acid concentration under different temperatures (Akram-Ghaderi et al., 2010).

درصد وزنی اسیدسولفوریک H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>						دما (°C) Temperature
100	80	60	40	20		
1.0	3.88	15.8	56.6	87.4		10
1.0	4.76	16.3	56.7	87.7		20
1.0	5.75	17.0	56.6	87.5		30
1.0	6.88	17.8	57.5	86.6		40

### نتایج و بحث

رابطه بین محتوی رطوبت بذر و رطوبت نسبی؛ و همچنین مقادیر رطوبت بذر ارقام کلزا در تعادل با رطوبت‌های نسبی مختلف در دماهای مورد آزمایش در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ و جدول ۳ ارائه شده است. برای کمی‌سازی رابطه بین رطوبت بذر و رطوبت نسبی از مدل دی آرکی-وات استفاده شد. در هر دما رابطه بین رطوبت بذر و رطوبت نسبی محیط بین بذرهای ارقام مختلف الگوی تقریباً مشابهی وجود داشت و اختلافات

$$M = \frac{KK'a_w}{1 + Ka_w} + Ca_w + \frac{kk'a_w}{1 + ka_w} \quad \text{رابطه ۷:}$$

$K, C, k$  و  $k'$  ضرایب‌های ثابت معادله هستند که از طریق برازش منحنی به دست می‌آیند،  $M$  محتوی رطوبت تعادلی در بذر (درصد بر مبنای وزن خشک) و  $a_w$  فعالیت آب (درصد رطوبت نسبی) می‌باشد.

ساختمان بیوشیمیایی بذر را تشکیل دهد. این نوع آب را بدون از بین بردن بافت بذر نمی‌توان خارج کرد؛ و کاهش رطوبت بذر در این مرحله موجب ایجاد خسارت به بذر می‌گردد (برادفورد و همکاران، ۲۰۱۶؛ الیس<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸؛ روبرتس و الیس<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹). این آب که آب پیوندی نامیده می‌شود، آبی است که به‌شدت به گروه‌های یونی نظیر گروه آمینی یا کربوکسیلی موجود در درشت مولکول‌های بذر می‌چسبند. در مرحله دوم به لایه اول آب پیوندی، لایه دیگری از مولکول‌های آب متصل شده و از نظر قدرت پیوند ضعیف‌تر از مولکول‌های لایه اول است و می‌تواند در زوال بذرها نقش داشته باشد (الیس و همکاران، ۱۹۸۸؛ الیس، ۱۹۸۸). مرحله سوم، نشان‌دهنده حضور مولکول‌های آب با پیوندهای سست یا آب آزاد است که در فضای بین سلولی و بین بافتی وجود دارد و می‌تواند باعث زوال سریع بذرها شود و در صورتی که با خشک‌کردن حذف نشود، منجر به جوانه‌زنی زود هنگام و یا رشد میکروارگانیسم‌ها روی بذرها و در نتیجه زوال بذر می‌گردد (خلیلی اقدم و قادری فر، ۲۰۱۲؛ سان، ۲۰۰۲).

همان‌طور که در منحنی‌های هیگروسکوپي ارقام مختلف کلزا مشاهده می‌گردد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳)، بین منحنی‌های جذب و دفع در هر دما اختلاف وجود داشت و در تمامی دماها منحنی دفع رطوبت بالاتر از منحنی جذب رطوبت قرار گرفت. به عبارت بهتر در یک رطوبت نسبی ثابت وقتی بذر با محیط به تعادل رطوبتی می‌رسد، محتوی رطوبت بذر در حالتی که در معرض شرایط کاهش رطوبت قرار می‌گیرند نسبت به هنگامی که بذر رطوبت جذب می‌کند، بیشتر است. فاصله بین منحنی دفع و جذب که هیستریس<sup>۳</sup> نام دارد (بان<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ کاپسالیس<sup>۵</sup>، ۱۹۸۱) در دماهای مختلف الگوی متفاوتی را نشان داد و همچنین بین ارقام نیز از این نظر تفاوت وجود داشت. به طوری که هیستریس تشکیل‌شده در دماهای مختلف متفاوت بود.

زیادی بین ارقام مشاهده نشد. به‌طور کلی با افزایش رطوبت نسبی تا حدود ۱۰ درصد، رطوبت بذر با شیب زیادی افزایش یافت ولی بعد از آن با افزایش رطوبت نسبی از ۱۰ تا حدود ۶۰ درصد، شیب افزایش رطوبت بذر کاهش یافت و افزایش رطوبت بذرها در این بازه از رطوبت نسبی (۶۰-۱۰٪) قابل توجه نبود. با افزایش رطوبت نسبی از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد نیز رطوبت بذر با شیب تندی افزایش یافت. بدین‌صورت که منحنی‌های جذب و دفع رطوبت در تمام دماهای مورد آزمایش دارای سه مرحله (فاز) بوده و از یک منحنی سیگموئیدی تبعیت کردند (شکل ۱، ۲ و ۳).

در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد در همه ارقام، رطوبت بذر با افزایش دما از ۱۰ به ۲۰ درجه سلسیوس به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت و پس از آن با افزایش دما از ۲۰ به ۳۰ درجه سلسیوس کاهش یافت؛ اما در رطوبت‌های نسبی زیر ۱۰۰ درصد، به‌ویژه رطوبت‌های نسبی کمتر از ۸۵ درصد و بیشتر از ۱۵ درصد با افزایش دما از ۱۰ به ۲۰ درجه سلسیوس رطوبت بذر کاهش و پس از آن با افزایش دما از ۱۰ به ۲۰ درجه سلسیوس افزایش یافت. همچنین در رطوبت‌های نسبی کمتر از ۱۵ درصد در اکثر تیمارها، رطوبت بذر با افزایش دما کاهش یافت (جدول ۳). به‌طور کلی در هر سه رقم کلزا و همین‌طور در هر دو منحنی دفع و جذب رطوبت، بیش‌ترین مقدار رطوبت بذر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار رطوبت بذر در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۳).

منحنی‌های تعادل هیگروسکوپي که به‌عنوان هم‌دماهای جذب و دفع نیز نامیده می‌شوند بیانگر رابطه بین رطوبت نسبی محیط و رطوبت بذر در یک دمای مشخص می‌باشند که از یک تابع سیگموئیدی، تبعیت می‌کنند (اکرم قادری و همکاران، ۲۰۱۰؛ کوهیلا و همکاران، ۲۰۰۱). منحنی‌های جذب و دفع، مقدار و نوع آب آزاد و یا پیوندی بذرها در رطوبت‌های نسبی مختلف را نشان می‌دهند و به‌طور کلی دارای سه مرحله هستند. مرحله اول که در آن یک‌لایه از مولکول‌های آب به شکل محکمی با سایر مولکول‌های تشکیل‌دهنده ساختمان بذر پیوند برقرار کرده است و ممکن است آب، جزئی از

<sup>1</sup> Ellis

<sup>2</sup> Roberts and Ellis

<sup>3</sup> Hysteresis

<sup>4</sup> Yan

<sup>5</sup> Kapsalis

فائو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). قادری‌فرآ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای که روی بذرهای گیاهان دارویی سیاه‌دانه، گاوزبان و کدو پوست‌کاغذی انجام دادند، گزارش کردند اختلاف رطوبت بذر در یک رطوبت نسبی مشخص، مربوط محتوی روغن بذرهای می‌باشد. همچنین بیولی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۳) تأکید کردند، هرچه درصد روغن بذر بیشتر باشد، میزان رطوبت جذب‌شده توسط بذر در یک رطوبت نسبی خاص کمتر است. محققان مختلف بیان داشتند محتوی رطوبت بذرهای با محیط اطراف خود در یک رطوبت نسبی مشخص، با افزایش دما کاهش می‌یابد (المحتصب<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ سوگی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). از طرفی برخی محققان نیز عکس این موضوع را گزارش کردند که با افزایش دما در یک رطوبت نسبی مشخص محتوی رطوبت بذرهای افزایش می‌یابد (کایا و کاهایاگلو<sup>۷</sup>، ۲۰۰۶؛ کوهیلا، ۲۰۰۱). در این مطالعه نیز در رطوبت‌های نسبی کمتر از ۱۵ درصد رطوبت بذر با افزایش دما کاهش یافت. درحالی‌که در رطوبت‌های نسبی ۱۵ تا ۱۰۰، رطوبت بذر با افزایش دما از ۱۰ به ۲۰ درجه سلسیوس کاهش و با افزایش دما از ۲۰ به ۳۰ درجه سلسیوس افزایش یافت. همچنین در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد با افزایش دما از ۱۰ به ۲۰ درجه سلسیوس رطوبت بذرهای افزایش و با افزایش دما از ۲۰ به ۳۰ درجه سلسیوس رطوبت بذرهای کاهش یافت.

همچنین هیستریس بین منحنی دفع و جذب رطوبت در ارقام هایولا ۵۰ و دی‌کا-یکس-پاور در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بیشتر در مرحله (فاز) سوم منحنی ولی در دماهای ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس در مرحله دوم منحنی هیگروسکوپی بود؛ اما در رقم تراپر میزان هیستریس کمتر از سایر ارقام بود و بین دماهای مورد آزمایش نیز اختلاف قابل‌توجهی وجد نداشت. از طرفی با برآزش مدل دی آرکی-وات به داده‌های درصد رطوبت بذر در مقابل رطوبت نسبی در تمام دماها، هیستریس تشکیل‌شده در ارقام تراپر و دی‌کا-یکس‌پاور در رطوبت‌های نسبی کمتر از ۵۰ درصد منحنی دفع پایین‌تر از منحنی جذب و در رطوبت‌های نسبی بیشتر از ۵۰ درصد منحنی جذب پایین‌تر از منحنی دفع قرار داشت؛ اما در رقم هایولا ۵۰ این روند مشاهده نشد و منحنی دفع در تمام رطوبت‌های نسبی بالاتر از منحنی جذب آب قرار گرفت.

هیستریس نشان‌دهنده برگشت‌ناپذیر بودن پدیده جذب می‌باشد. به عبارت بهتر برای رسیدن به یک مقدار معین از رطوبت بذر، به فشار بخار (رطوبت نسبی) کمتری توسط فرایند جذب در مقایسه با فرایند دفع نیاز خواهد بود (سان، ۲۰۰۲). به همین دلیل است که در منحنی‌های هیگروسکوپی همان‌طور که در نتایج مطالعه حاضر نیز بیان شد، عموماً منحنی دفع آب بالاتر از منحنی جذب آب قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). همان‌طور که در نتایج این مطالعه مشاهده شد، به‌ویژه در رقم‌های هایولا ۵۰ و تراپر، با افزایش دما میزان هیستریس کاهش یافت. محققان دلیل این پدیده را تغییر ماهیت مواد تشکیل‌دهنده بذر در دماهای بالا بیان کردند (دایرکتور<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ کاپسالیس، ۱۹۸۱).

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بین بذرهای ارقام کلزا در یک رطوبت نسبی و دمای مشخص از نظر محتوی رطوبت بذر اختلاف قابل‌توجهی وجود دارد؛ که دلیل اصلی این اختلاف احتمالاً می‌تواند به محتوی روغن بذرهای مربوط باشد چراکه بذرهای ارقام کلزا دارای درصد روغن مختلف بین ۴۰ تا ۴۵ درصد می‌باشد

<sup>2</sup> FAO

<sup>3</sup> Gaderi-Far

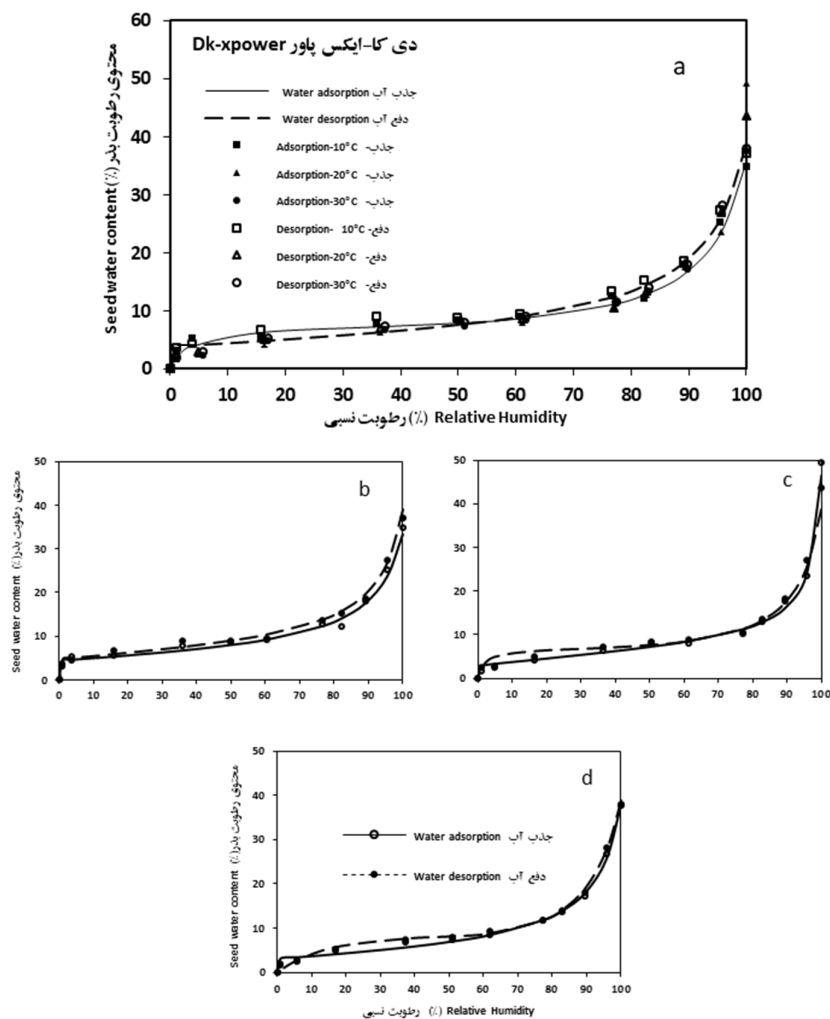
<sup>4</sup> Bewley

<sup>5</sup> Al-Muhtaseb

<sup>6</sup> Sogi

<sup>7</sup> Kaya and Kahyaoglu

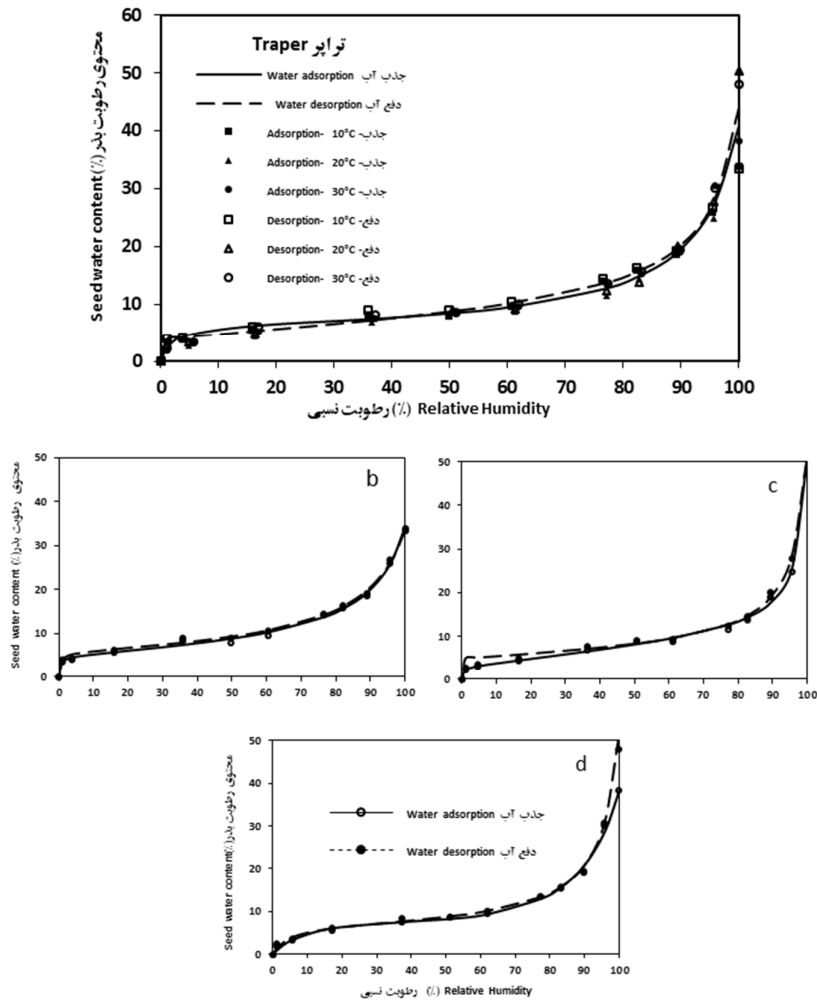
<sup>1</sup> Director



شکل ۱. محتوی رطوبت بذر رقم دی-کا-ایکس پاور در تعادل با رطوبت‌های نسبی مختلف. شکل a نشان‌دهنده برازش مدل دی آرکی-وات به داده‌های درصد رطوبت بذر (بر مبنای وزن خشک) در مقابل رطوبت‌های نسبی مختلف در تمام دماهای مورد آزمایش؛ و شکل‌های b، c و d به ترتیب مربوط به دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

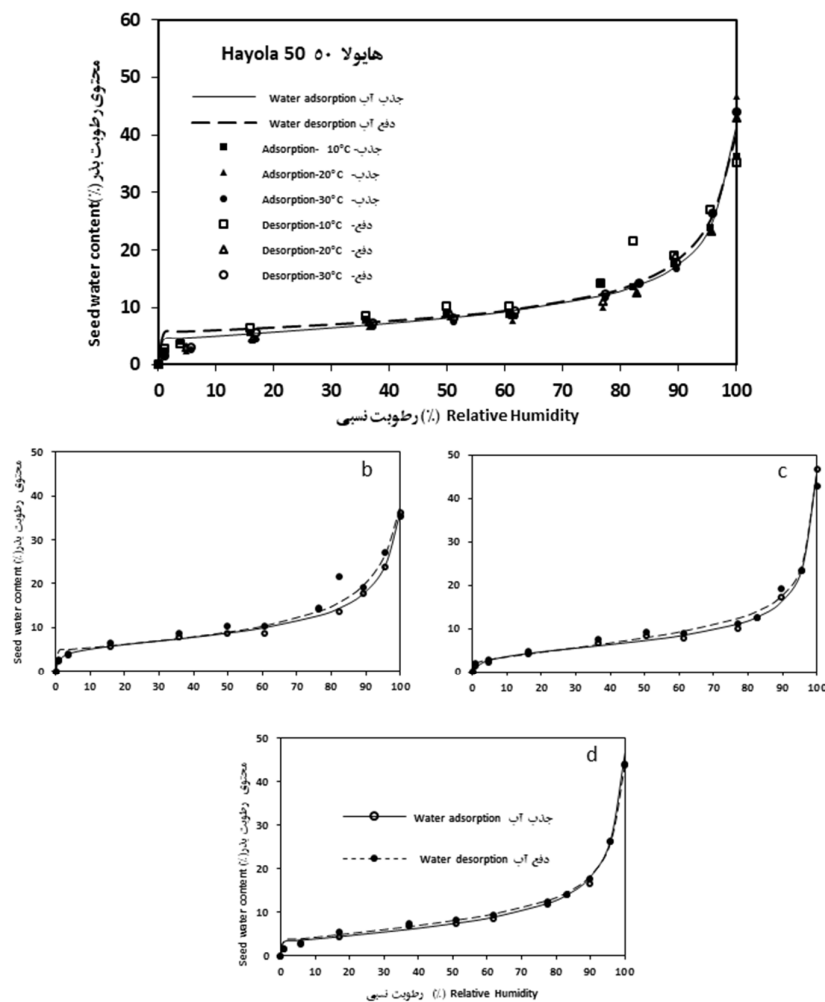
**Fig. 1.** The moisture content of 'Dk-xpower' seeds in equilibrium with different relative humidities. A represents the fitting of the D'Arcy-Watt equation to seed moisture content data (based on dry weight) versus relative humidity at all tested temperatures; and b, c and d are related to 10, 20 and 30 °C temperatures, respectively.





شکل ۲. محتوی رطوبت بذر رقم تراپر در تعادل با رطوبت‌های نسبی مختلف. شکل a نشان دهنده برازش مدل دی آرکی-وات به داده‌های درصد رطوبت بذر (بر مبنای وزن خشک) در مقابل رطوبت‌های نسبی مختلف در تمام دماهای مورد آزمایش؛ و شکل‌های b، c و d به ترتیب مربوط به دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

**Fig. 2.** The moisture content of 'Traper' seeds in equilibrium with different relative humidities. A represents the fitting of the D'Arcy-Watt equation to seed moisture content data (based on dry weight) versus relative humidity at all tested temperatures; and b, c and d are related to 10, 20 and 30 °C temperatures, respectively.



شکل ۳. محتوی رطوبت بذر رقم هایولا ۵۰ در تعادل با رطوبت‌های نسبی مختلف. شکل a نشان‌دهنده برازش مدل دی آرکی-وات به داده‌های درصد رطوبت بذر (بر مبنای وزن خشک) در مقابل رطوبت‌های نسبی مختلف در تمام دماهای مورد آزمایش؛ و شکل‌های b، c و d به ترتیب مربوط به دماهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

**Fig. 3.** The moisture content of 'Hayola50' seeds in equilibrium with different relative humidities. A represents the fitting of the D'Arcy-Watt equation to seed moisture content data (based on dry weight) versus relative humidity at all tested temperatures; and b, c and d are related to 10, 20 and 30 °C temperatures, respectively.

جدول ۳. درصد رطوبت بذر (بر مبنای وزن خشک) ارقام کلزا در تعادل با رطوبت‌های نسبی در دماهای مختلف.

**Table 3.** The equilibrium seed moisture content percentage (based on dry weight) of canola cultivars as a function of relative humidity under different temperatures.

هایولا ۵۰ Hayola50		تراپر Traper		دی‌کا-ایکس‌پاور Dk-xpower		رطوبت نسبی Relative humidity (%)	دما Temperature (°C)
جذب Adsorption	دفع Desorption	جذب Adsorption	دفع Desorption	جذب Adsorption	دفع Desorption		
36.30	35.29	33.96	33.37	34.93	37.20	100	10
23.83	27.12	25.98	26.70	25.33	27.34	95.5	
17.71	19.07	18.55	19.23	18.15	18.66	89.1	
13.55	21.51	15.87	16.30	12.34	15.40	82.2	
14.39	14.16	14.12	14.42	12.68	13.53	76.5	
8.73	10.38	9.59	10.60	9.13	9.46	60.6	
7.82	10.36	7.97	9.00	8.58	9.01	49.8	
7.93	8.68	8.31	9.02	7.82	9.06	35.9	
5.73	6.41	5.57	6.24	5.56	6.88	15.8	
4.01	3.67	3.91	4.27	5.31	4.46	3.8	
2.43	2.79	3.51	4.09	3.04	3.74	1.00	
46.64	42.93	50.46	50.39	49.35	43.68	100	20
23.30	23.31	24.83	27.82	23.62	27.01	95.6	
17.26	19.06	19.03	20.17	17.60	18.40	89.4	
12.54	12.52	14.50	13.86	12.95	13.50	82.7	
10.06	11.07	11.56	12.37	10.36	10.56	77.0	
7.83	8.90	8.86	9.21	8.11	8.79	61.2	
8.47	9.10	8.86	9.15	8.27	8.48	50.5	
6.77	7.47	6.90	7.72	6.36	7.17	36.5	
4.20	4.62	4.42	4.95	4.16	5.11	16.3	
2.26	2.90	2.89	3.51	2.42	2.93	4.76	
1.50	2.01	2.19	2.76	1.76	2.49	1.00	
43.99	43.91	38.27	47.98	37.73	38.01	100	30
26.43	26.41	30.62	30.02	26.75	28.28	95.8	
16.71	17.19	19.08	19.44	17.17	18.12	89.7	
14.18	14.18	15.31	15.62	13.62	14.09	83.1	
11.84	12.34	13.46	13.58	11.75	11.75	77.4	
8.56	9.43	9.57	10.13	8.54	9.22	61.8	
7.53	8.27	8.58	8.70	7.52	8.07	51.1	
6.77	7.44	7.58	8.30	6.78	7.51	37.2	
4.42	5.59	5.40	6.12	4.97	5.34	17.0	
2.61	3.01	3.48	3.40	2.35	2.86	5.75	
1.48	1.47	1.89	2.32	1.70	1.94	1.00	

### نتیجه‌گیری

برداشت یا خشک‌کردن بذرهای پراپم شده کلزا با استفاده از کمی‌سازی ایجادشده بین رطوبت نسبی محیط و محتوی رطوبت بذر مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین در مطالعات انبارداری بذرهای کلزا نیز می‌توان به‌منظور انتخاب دامنه رطوبت بذر در انبارداری که یکی از مهم‌ترین قدم‌ها برای به دست آوردن ضرایب صحیح معادلات انبارداری می باشد، از منحنی‌های

همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد در مطالعات داخلی در حوضه علوم بذر، مطالعات در حوضه منحنی‌های هیگروسکوپی بسیار محدود است؛ بنابراین مطالعه حاضر از دسته مطالعات کاربردی می‌باشد که می‌تواند در موارد متعددی کاربرد داشته باشد. به‌عنوان مثال از نتایج مطالعه حاضر می‌توان در خصوص انبارداری بذرهای کلزا، خشک‌کردن بذرها پس از

هیگروسکوپی این پژوهش بهره برد. همچنین از مطالب ارائه‌شده در پژوهش حاضر می‌توان به‌عنوان پروتکلی در ایجاد دامنه وسیع رطوبت نسبی توسط محلول‌های اسیدسولفوریک و گلیسرول به‌منظور بررسی منحنی‌های هیگروسکوپی بهره برد.

#### منابع

- Agrawal, R.L. 1980. Seed Technology. Publisher: Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi, 685 p.
- Akram-Ghaderi, F., Soltani, A. and Kamkar, B. 2010. Seed Science and Technology. Jahad University Press of Mashhad, 512p. [In Persian].
- Al-Muhtaseb, A., Mcminn, W. and Magee, T. 2004. Water sorption isotherms of starch powders: part 1: mathematical description of experimental data. Journal of Food Engineering, 61(3): 297-307. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00133-X)
- Ayranci, E., Ayranci, G., and Dogantan, Z. 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20 C and 36 C. Journal of Food Science, 55: 1591-1593. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03577.x>
- Bewley, J.D., Bradford, K. and Hilhorst, H. 2013. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Springer Science & Business Media, 27-81.
- Bradford, K. J., Dahal, P. and Bello, P. 2016. Using relative humidity indicator paper to measure seed and commodity moisture contents. Agricultural Environmental Letters, 1(1): 1-4. <https://doi.org/10.2134/ael2016.04.0018>
- Daniel, I., Kruse, M. and Börner, A. 2013. Controlled deterioration and predicting viability of Okra seed in storage. International Journal of Vegetable Science, 19(4): 324-333. <https://doi.org/10.1080/19315260.2012.729261>
- Director, J., Parihar, S., Dadlani, M. and Basu, S. 2014. Effect of seed moisture content and storage temperature on seed longevity of hemp (*Cannabis sativa*). Indian Journal of Agriculture Science, 84: 1303-1309.
- Ellis, J.E., Bass, L.N. and Witing, D. 2008. Storing vegetable and flowers seeds. Seed Science and Technology, 28: 413-420.
- Ellis, R. 1988. The viability equation, seed viability nomographs, and practical advice on seed storage. Seed Science and Technology, 16: 29-50.
- Ellis, R., Agrawal, P., and Roos, E. 1988. Harvesting and Storage Factors That Affect Seed Quality in Pea, Lentil, Faba bean and Chickpea. In World Crops: Cool season food legumes. Springer, Dordrecht. pp. 303-329. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2764-3\\_29](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2764-3_29)
- Ellis, R., and Hong, T. 2007. Quantitative response of the longevity of seed of twelve crops to temperature and moisture in hermetic storage. Seed Science and Technology, 35: 432-444. <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.2.18>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. FAOSTAT Statistics Database.
- Gaderi-Far, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2010. Determination of seed viability constants in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *styriaca* Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Plant Production, 17: 53-66. [In Persian with English Summary].

- Hall, C.W. 1975. Drying Farm Crops. Reynoldsburg, Ohio: Agricultural Consulting Associates, Inc.
- Hay, F.R., Mead, A., Manger, K. and Wilson, F.J. 2003. One step analysis of seed storage data and the longevity of *Arabidopsis thaliana* seeds. *Journal of Experimental Botany*, 54: 993-1011. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg103>
- Kapsalis, J. G. 1981. Moisture sorption hysteresis. In: Rockland, L.B. and Stewart, G.F. (Eds.). *Water Activity: Influences on Food Quality*. New York: Academic Press, pp. 143-177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-591350-8.50011-5>
- Kaya, S. and Kahyaoglu, T. 2006. Influence of dehulling and roasting process on the thermodynamics of moisture adsorption in sesame seed. *Journal of Food Engineering*, 76(2): 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.042>
- Khaliliaqdam, N. and Ghaderi-Far, F. 2012. Simulation of moisture changes and temperature effect on response of hygroscopic equilibrium curve of two soybean cultivars seed. *Journal of Seed Science and Technology*, 1: 53-61. [In Persian with English Summary].
- Kouhila, M., Belghit, A., Daguene, M. and Boutaleb, B. 2001. Experimental determination of the sorption isotherms of mint (*Mentha viridis*), sage (*Salvia officinalis*) and verbena (*Lippia citriodora*). *Journal of Food Engineering*, 47(4): 281-287. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00130-8)
- Malik, C.P. and Jyoti. 2013. Seed deterioration: A review. *International Journal of Life Science Biotechnology and Pharma Research*, 2(3): 374-385.
- Roberts, E. and Ellis, R. 1989. Water and seed survival. *Annals of Botany*, 63: 39-39. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087727>
- Shelar, V., Shaikh, R., and Nikam, A. 2008. Soybean seed quality during storage: a review. *Agricultural Review*, 29(2): 125-131.
- Sogi, D., Shivhare, U., Garg, S. and Bawa, A. 2003. Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. *Biosystems Engineering*, 84(3): 297-301. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00275-1](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00275-1)
- Sun, W.Q. 2002. Methods for Studying Water Relations under Stress. In *Desiccation and Survival in Plants: Drying without Dying*. (eds.). Black, M. and Pritchard, H.W. pp. 47-91, CABI Publishing, New York, NY. <https://doi.org/10.1079/9780851995342.0047>
- Velázquez-Gutiérrez, S.K., Figueira, A.C., Rodríguez-Huezo, M.E., Román-Guerrero, A., Carrillo-Navas, H. and Pérez-Alonso, C. 2015. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Carbohydrate Polymers*, 121: 411-419. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.068>
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J. and Oliveira, F.A. 2008. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *Journal of Food Engineering*, 86(3): 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.009>

Research Article

## Quantification of Changes in Relative Humidity and Seed Moisture Contents of Canola Cultivars under Different Temperatures Using Hygroscopic Equilibrium Curve

Mohsen Malek<sup>1</sup>, Farshid Ghaderi-Far<sup>2,\*</sup>, Benjamin Torabi<sup>2</sup>, Hamid Reza Sadeghipour<sup>3</sup>

### Extended Abstract

**Introduction:** Seeds, like other materials, are hygroscopic and exchange moisture with their surroundings. The changes in the moisture of seeds during storage depend on their hygroscopic nature and this feature plays an important role in determining the seed quality and longevity. Furthermore, studying the hygroscopic characteristics of seeds can be useful in seed storage studies as well as in commercial applications such as drying and seeds processing. Therefore, in this study, the relationship between seed moisture content and relative humidity in seed of rapeseed cultivars was studied.

**Material and Methods:** In this study, the relationship between the ambient relative humidity and seed moisture content of three rapeseed cultivars at 10, 20 and 30 °C was investigated using hygroscopic equilibrium curves. Therefore, water desorption and absorption curves were studied separately. Water absorption and desorption curves were obtained by drying the seeds at 1% relative humidity and seed hydration at 100% relative humidity, respectively, followed by transferring the seeds to different relative humidities at different temperatures and finally determining the equilibrium moisture content of the seeds. It should be noted that glycerol and sulfuric acid solutions were used to create different relative humidity. Finally, the relationship between seeds moisture content against the relative humidity was quantified by fitting the D'Arcy-Watt equation.

**Results:** The results indicated that the seeds moisture content varied in cultivars and temperatures at different relative humidities. Also, there was a difference between water desorption and absorption curves in all cultivars and temperatures; desorption curves were generally higher than water absorption curves. The greatest difference among the cultivars regarding seed moisture content was observed at 100% relative humidity, and this difference was less severe at lower relative humidities. Also, the highest seed moisture content of rapeseed cultivars was observed at 20 °C and 100% relative humidity, and the lowest seed moisture content was recorded at 30 °C and 1% relative humidity.

**Conclusions:** According to the results, it was found that the relationship between seed moisture content and relative humidity followed a sigmoidal function, and this relationship would also vary depending on cultivar and temperature. There was also a difference between the adsorption and desorption curves, which is called "hysteresis", and showed that the seed moisture content at a constant relative humidity was generally higher in the state of dehydration compared with that in the state of hydration. Due to this event, desorption curve is situated higher than the absorption curve.

**Keywords:** *Water absorption, Water desorption, Hysteresis, Seed storage, Moisture changes modeling*

### Highlights:

- 1- Response to hygroscopic equilibrium curves in seeds of different rapeseed cultivars was compared.
- 2- Sulfuric acid and glycerol solutions were used to create different relative humidity.

<sup>1</sup> Graduated of Seed Science and Technology at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor in Agronomy at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor of Biology at Golestan University, Golestan, Iran

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1399.7.1.10.7>

<http://dx.doi.org/10.29252/yujs.7.1.39>



CrossMark

\* Corresponding author, E-mail: [farshidghaderifar@gau.ac.ir](mailto:farshidghaderifar@gau.ac.ir)