

خواص رطوبتی کاه گندم در سطوح مختلف تراکم و دبی پاشش آب با افشانک مخروطی^۱

محمد یونسی الموتی، محمدهادی خوش تقاضا و برات قبادیان^۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۱۲/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۱/۲۷

چکیده

شیوه رایج غنی‌سازی کاه غلات، کاری سخت و پر زحمت است که تسهیل یا حذف برخی اعمال به کمک ماشین، کمک مؤثری در این زمینه محسوب می‌شود. برای مکانیزه کردن غنی‌سازی کاه با محلول اوره، لازم است در زمینه خواص رطوبتی کاه مطالعاتی صورت گیرد. بدین منظور خواص رطوبتی کاه از جمله رطوبت نگهداری شده و زه آب در سطوح مختلف مقدار پاشش رطوبت و تراکم کاه بررسی شد. فرآیند خیساندن از طریق پاشش آب با افشانک مخروطی بر مقدار معینی کاه (۱۰۰ گرم)، در چهار سطح تراکم (۵، ۵۰، ۸۵ و ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، و سه سطح دبی (۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ گرم بر دقیقه) بررسی شد. مقادیر مربوط به میزان رطوبت نگهداری شده و زه آب اندازه‌گیری و روابط بین آنها با دبی، تراکم، و زمان خیساندن تعیین شد. بیش‌ترین مقدار رطوبت نگهداری شده نهایی و کم‌ترین زه آب در تراکم ۵ کیلوگرم بر متر مکعب و کم‌ترین میزان رطوبت نگهداری شده و بیش‌ترین مقدار زه آب در تراکم ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد. از بین مدل‌های مختلف، مدل نمایی و توانی به ترتیب مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی روند نگهداری رطوبت و زه آب تعیین و برای عمل‌آوری مکانیزه کاه، پاشش محلول بر کاه بدون تراکم (۵ کیلوگرم بر متر مکعب) مناسب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی

رطوبت نگهداری شده، زمان خیساندن، زه آب، کاه گندم

- ۱- برگرفته از پایان‌نامه دکتری با عنوان «طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه عمل‌آوری کاه غلات»
- ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و عضو هیات علمی آموزشکده کشاورزی کرج (مجتمع آموزشی وزارت جهاد کشاورزی)، نشانی: کرج جاده ماهدشت، جنب شهرک مهندسی زراعی، تلفن: ۰۲۶۱-۶۷۰۰۸۷۲، پیام نگار: mohamadyounesi@yahoo.com و دانشیاران گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس



مقدمه

در کشورهای در حال توسعه، کاه غلات به‌رغم ارزش غذایی کم، به عنوان یکی از منابع خوراک اغلب دام‌ها مورد توجه دامداران است. قابلیت هضم ناچیز و خوش‌خوراکی پایین کاه از معایب عمده آن به‌شمار می‌آید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاه از نظر قابلیت هضم، انرژی قابل سوخت و ساز، پروتئین خام، مواد معدنی قابل استفاده، و میزان ویتامین فقیر است (Mansbridge & Deaville, 1995). عمل‌آوری شیمیایی بقایای گیاهی و کاه موجب افزایش قابلیت هضم، مصرف اختیاری، و عملکرد دام می‌شود و از بین مواد شیمیایی بررسی شده برای عمل‌آوری کاه، ترکیبات آمونیاک و اوره بیشترین کاربرد را دارا هستند. استفاده از اوره به‌عنوان منبع نیتروژن به‌دلیل قابل دسترس بودن، حمل و نقل ایمن (بی‌خطر)، و آشنایی کشاورزان با نحوه استفاده از آن، می‌تواند یکی از بهترین گزینه‌ها برای عمل‌آوری کاه باشد (Jackson, 1978).

در شیوه رایج عمل‌آوری، مقدار معینی از محلول اوره را روی کاه می‌پاشند (برای هر ۱۰۰ کیلوگرم کاه، ۵ کیلوگرم اوره و حدود ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم آب اضافه می‌نمایند به‌گونه‌ای که رطوبت محصول نهایی، به حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد برسد) و آن را به مدت ۳ تا ۴ هفته در محیط بسته قرار می‌دهند (Bamaga et al., 2000; Bhar et al., 1998; Cottyn & Boever, 1988). در یک بررسی، نگوین و همکاران (Nguyen et al., 1998) نشان دادند که در عمل‌آوری کاه با اوره، تغییر نسبت رطوبت به کاه از ۰/۵ به ۱ تا ۱ به ۱ تأثیر معنی‌داری بر میانگین

مقادیر الیاف نامحلول در مواد شوینده ختشی (NDF)^۱، الیاف نامحلول در مواد شوینده اسیدی (ADF)^۲، و نیتروژن ندارد. رطوبت بین این محدوده برای عمل‌آوری کاه قابل قبول است و معمولاً برای کاربرد عملی توصیه می‌شود (Chenost & Kayouli, 1997; Schiere & Ibrahim 1989). میزان رطوبت نهایی، از عوامل مؤثر در عمل‌آوری کاه با اوره است، زیرا هیدرولیز اوره و تولید گاز آمونیاک تنها در حضور آب کافی اتفاق می‌افتد. بر اساس تحقیق انجام شده، حد مطلوب رطوبت برای عمل‌آوری کاه ۳۰ تا ۵۰ درصد است و رطوبت نهایی کاه عمل‌آوری شده نباید کمتر از ۳۰ درصد باشد. در فصل خشک، افزودن ۵۰ لیتر آب برای عمل‌آوری هر ۱۰۰ کیلوگرم کاه توصیه شده است و در صورت تغییر مقدار آب اضافه شده در محدوده ۴۰ تا ۸۰ لیتر مشکلی در عمل‌آوری کاه ایجاد نمی‌شود. در این تحقیق دلایل محدودیت در اعمال رطوبت این‌گونه بیان شده است (Chenost & Kayouli, 1997):

- اعمال رطوبت زیاد به کاه موجب می‌شود آب اضافی به صورت زه آب خارج و مواد عمل‌آوری شده زیاده از حد اشباع و نرم شود.
- آمونیاک تولید شده، به دلیل بالا بودن رطوبت نمی‌تواند به صورت صحیح در داخل علوفه منتشر شود.
- در صورت کامل نبودن درزبندی و شرایط نگهداری، رطوبت بیش از حد، زمینه‌ای مساعد برای رشد کپک مهیا می‌کند.
- اعمال رطوبت زیاد سبب شسته شدن اوره به طرف انتهای سیلو و موجب بالا رفتن غلظت

اوره و حتی پوسیدن مواد انتهایی سیلو و در نهایت بالا رفتن خطر مسمومیت دام می‌شود. در فرآیند عمل‌آوری کاه، میزان و نحوه جذب رطوبت اهمیت ویژه‌ای دارد. در تحقیقی، وان‌الدرن و همکاران (Van Eldern *et al.*, 1972)، تأثیر باران (بارش طبیعی) را بر میزان و روند نگهداری رطوبت در علوفه نوار شده نیمه‌خشک بررسی کردند. این محققان نحوه نگهداری رطوبت را در دو بخش مختلف بررسی و روابطی را برای تشریح فرآیند خیس شدن با آب باران پیشنهاد کردند. در بخش اول، کل آب باران وارد شده بدون خروج از انتهای نوار در علوفه نگهداری می‌شود. در این بخش رابطه رطوبت نگهداری شده با رطوبت وارد شده خطی و شیب خط برابر واحد (یک) است. میزان رطوبت نگهداری شده در این مرحله به شدت بارندگی و رطوبت اولیه نمونه‌ها بستگی ندارد. متوسط رطوبت (آب) نگهداری شده به ازای هر کیلوگرم ماده خشک علوفه برابر با ۲/۱۴ کیلوگرم بر کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، روند رشد رطوبت نگهداری شده در بخش دوم نیز به صورت خطی است ولی شیب خط کمتر از یک است. میزان جذب رطوبت با گذشت زمان کم می‌شود و مقداری از آب باران وارد شده در نمونه‌ها نگهداری و بقیه به صورت زه آب از انتهای نوار علوفه خارج می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رطوبت اولیه نمونه‌ها تأثیری بر بیشینه میزان رطوبت نگهداری شده ندارد. همچنین شدت

بارش با مقدار رطوبت نگهداری شده رابطه معکوس دارد و با افزایش میزان بارندگی این مقدار کاهش خواهد یافت. پیت و مک‌گچان (Pitt & McGechan, 1990)، اثر باران را بر میزان رطوبت نگهداری شده در علوفه نوار شده بررسی و دو دسته مدل را برای پیش‌بینی روند خیس شدن ارائه کردند. مدل توده‌ای^۱ که فقط تغییرات میزان رطوبت را در توده علوفه بررسی می‌کند و مدل توزیع شده^۲ که میزان جذب و زه آب رطوبت سطحی را تشریح می‌کند. در مدل توده‌ای کل آب باران وارد شده تا رسیدن به یک حد بحرانی به صورت خطی (با شیب واحد) نگهداری می‌شود و سپس میزان نگهداری رطوبت کاهش می‌یابد و نهایتاً به صفر می‌رسد. روابط ارائه شده در مدل توزیع شده از مدل توده‌ای پیروی می‌کند، با این تفاوت که در مدل توزیع شده، میزان جذب یا زه آب رطوبت سطحی نیز بررسی می‌شود. این محققان دو دسته رطوبت سطحی را بررسی کردند: رطوبت سطحی چسبیده، که پس از قطع پاشش باقی می‌ماند و رطوبت سطحی آزاد، که به صورت زه آب خارج می‌شود. در دو تحقیق دیگر، با بررسی پدیده دوباره خیس‌اندن علوفه در آزمایشگاه و با برآورد ضرایب میزان جذب و زه آب، این مدل‌ها بهینه شدند (McGechan & Graham, 1993; McGechan & Pitt, 1990). نتایج کار این محققان نشان می‌دهد که برای جذب رطوبت سطحی چسبیده در بافت گیاه به ۱۵ ساعت و برای خروج زه آب یا رطوبت سطحی آزاد، به ۳ دقیقه زمان نیاز دارد.

پاششی (با افشانک) به دست نیامد. از این رو، فرآیند خیساندن در سطوح مختلف تراکم کاه و مقدار پاشش آب (دبی) با افشانک، در این مقاله بررسی می‌شود. اهداف این تحقیق عبارت‌اند از: (۱) بررسی فرآیند خیساندن کاه در روش پاششی با استفاده از افشانک، (۲) تدوین روابط بین دبی، تراکم، و زمان اعمال رطوبت با میزان رطوبت نگهداری شده، و (۳) تعیین وضعیت مناسب فشرده‌گی کاه برای پاشش محلول اوره به منظور استفاده در سیستم مکانیزه عمل‌آوری کاه.

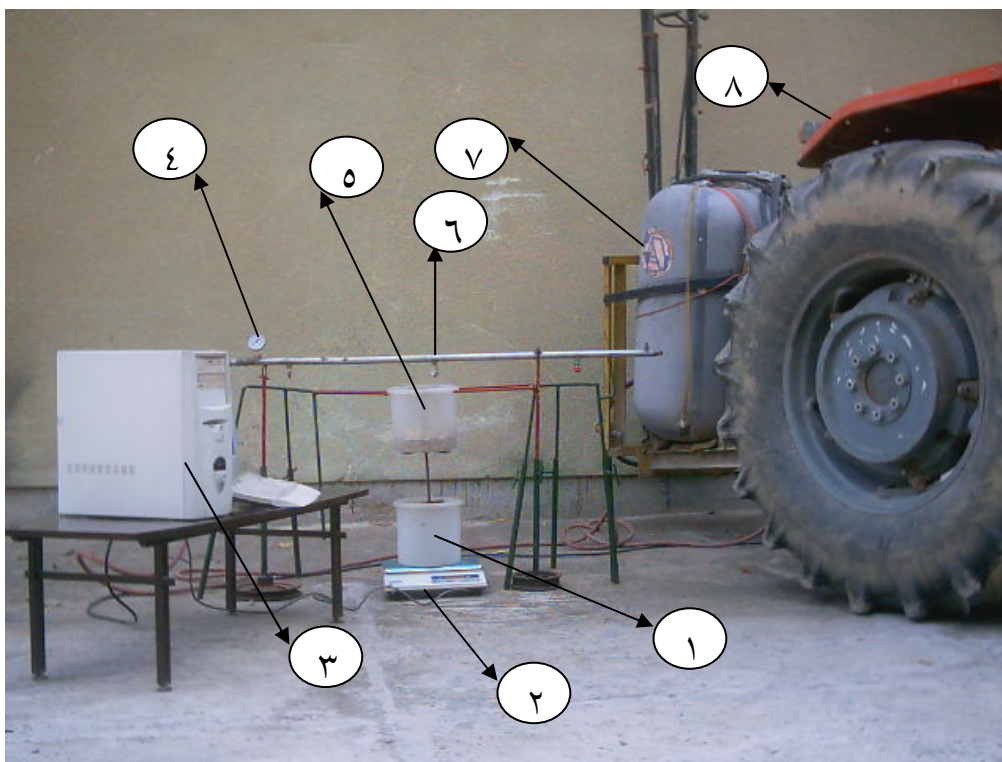
مواد و روش‌ها

با پاشش آب بر مقدار معینی کاه از طریق یک سیستم تحت فشار با استفاده از یک افشانک مخروطی توپریبا زاویه پاشش ۱۲۰ درجه (برای پوشش کامل سطح نمونه‌ها)، فرآیند خیساندن مورد بررسی قرار گرفت. عمل‌آوری مکانیزه در شرایط جمع‌آوری کاه از مزرعه، هنگامی میسر می‌شود که رساندن رطوبت به محدوده‌های توصیه شده در زمانی محدود (زمان عبور کاه از مقابل مکانیزم پاشش محلول) امکان‌پذیر باشد. همچنین، پاشش محلول اوره را می‌توان در وضعیت مختلف فشرده‌گی کاه، از حالت غیرمتراکم تا حالت متراکم (بسته‌بندی شده) انجام داد. از این رو، در فرآیند خیساندن کاه، حالت غیرمتراکم و نیز سه حالت متراکم (محدوده تراکم بسته‌های کاه) برای بررسی خواص رطوبتی انتخاب شد.

به منظور تعیین امکان عمل‌آوری بسته‌های مکعبی کاه با اوره، طی تحقیقی پدیده خیساندن کاه متراکم در آزمایشگاه بررسی شد (Bamaga et al., 2002). در این تحقیق، فرآیند خیساندن کاه با قطره چکان، در دبی‌ها و تراکم‌های مختلف (محدوده تراکم‌های رایج بسته‌ها)، بررسی و مدل‌های نگهداری رطوبت در دو بخش ارائه شد. رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب که روندی خطی دارد، و رطوبت نگهداری شده از لحظه شروع زه آب تا قطع پاشش، که نمو آن غیر خطی (نمایی) است. گزارش این تحقیق نشان می‌دهد که دبی پاشش و تراکم کاه هر دو بر میزان رطوبت نگهداری شده تأثیر دارند.

طرح غنی‌سازی کاه، به دلیل مشکلات کارگری و اقتصادی، چندان مورد استفاده دامداران نیست (Raisianzadeh et al., 2004). روش رایج غنی‌سازی با اوره، کاری سخت و پر زحمت است که تسهیل برخی اعمال با به کارگیری ماشین یا حذف برخی اعمال کمکی مؤثر و ضروری در این زمینه محسوب می‌شود.

برای مکانیزه کردن غنی‌سازی کاه با محلول اوره، لازم است رطوبت مورد نیاز کاه در یک زمان معین و محدود تامین گردد. لذا اطلاعات مربوط به نحوه جذب و چگونگی نگهداری رطوبت در کاه، هنگامی که کاه در معرض پاشش رطوبت قرار می‌گیرد مورد نیاز است. با بررسی مطالعات گذشته، هیچ‌گونه اطلاعی از رفتار کاه در فرآیند رطوبت‌دهی در روش



شکل شماره ۱- مکانیزم مورد استفاده برای اجرای آزمایش: ۱- ظرف جمع‌آوری زه آب ۲- ترازوی دیجیتال ۳- سیستم ثبت داده‌ها ۴- فشارسنج ۵- ظرف حاوی نمونه کاه ۶- افشانک ۷- سیستم پاشش و ۸- تراکتور

مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ تامین شد (شکل شماره ۱). برای تعیین مقدار نمونه کاه مورد آزمایش، میانگین تراکم و ارتفاع کاه خارج شده از انتهای کمباین در مزرعه اندازه‌گیری شد. یک ظرف استوانه‌ای از جنس پلاستیک با قطر ۰/۲۲۵ متر و ارتفاع ۰/۲۵۰ متر (میانگین ارتفاع کاه خارج شده از انتهای کمباین) به عنوان ظرف حاوی نمونه‌ها انتخاب و برای عبور زه آب سوراخ‌هایی به قطر ۰/۰۰۴ متر در کف آن ایجاد شد. در آزمایش خیساندن کاه و بررسی نحوه نگهداری رطوبت، کاه گندم رقم پیشناز با رطوبت ۶ درصد به عنوان نمونه در نظر گرفته شد. وزن مقدار کاهی که بدون فشردگی فضای ظرف را اشغال کرد، به عنوان اندازه نمونه انتخاب

عوامل آزمایش عبارت‌اند از: فشردگی کاه در چهار سطح شامل تراکم ۵ (غیر متراکم)، ۵۰، ۸۵ و ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب (محدوده تراکم رایج بسته‌های کاه ایجاد شده با بسته‌بند) و دبی پاشش آب در سه سطح شامل ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ گرم بر دقیقه (محدوده دبی پاشش افشانک‌های مورد استفاده در سمپاش‌ها). بدین منظور، سیستم پاشش محلول و نیز محلی برای قرار دادن نمونه‌های کاه در نظر گرفته شد. مکانیزم مورد نظر شامل پمپ پیستونی، شیر کنترل حجم و کنترل جهت جریان، فشارسنج، محل نصب افشانک و یک شیر یکطرفه روی بوم برای قطع پاشش است. نیروی مورد نیاز سیستم از طریق محور تواندهی تراکتور

بخش دوم رطوبت جذب شده در بافت کاه است. به طور کلی، فرآیند خیساندن کاه به سه مرحله مجزا قابل تفکیک است: **مرحله ۱:** این مرحله از لحظه ورود رطوبت در داخل کاه شروع می‌شود و تا کامل شدن بخش اول ادامه دارد. در این حالت آب از انتهای ظرف خارج نمی‌شود و سیستم ثبت داده‌ها، رقم صفر را ثبت می‌کند. **مرحله ۲:** این مرحله از لحظه خروج زه آب (کامل شدن مرحله اول نگهداری رطوبت) شروع می‌شود و تا قطع جریان پاشش ادامه دارد. در این مرحله قسمتی از آب وارد شده باعث پر شدن بخش دوم نگهداری رطوبت و بقیه به صورت زه آب از انتهای ظرف خارج می‌شود. **مرحله ۳:** این مرحله از لحظه قطع پاشش شروع می‌شود و تا قطع کامل زه آب ادامه دارد.

میزان رطوبت نگهداری شده در لحظه قطع پاشش به عنوان رطوبت اشباع (M_s)، و میزان رطوبت خارج شده از لحظه قطع پاشش تا خروج کامل آب آزاد به عنوان زه آب (M_d)، در نظر گرفته شد. پس از قطع زه آب، وزن نمونه‌های کاه اندازه‌گیری و مقدار رطوبت نگهداری شده مؤثر^۱ یا نهایی کاه (M_e)، از تفاوت وزن نمونه‌ها در دو حالت خشک و تر محاسبه شد. در هر آزمایش اولین عدد ثبت شده پس از ارقام صفر، خروج زه آب از انتهای نمونه را نشان می‌داد که از این داده‌ها زمان شروع زه آب (t_p)، محاسبه شد. میزان رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب (M_a)، از حاصل ضرب زمان شروع پاشش تا شروع زه آب، در دبی پاشش محاسبه شد. به کمک نرم‌افزار Curve expert مدل‌های مختلف بر داده‌ها برازش و ضرایب مدل نگهداری رطوبت و زه آب برای کلیه

شد. این مقدار برابر ۱۰۰ گرم با تراکم ۵ کیلوگرم بر متر مکعب بود که با تراکم کاه موجود در مزرعه (کاه خارج شده از انتهای کمباین) مطابقت داشت. برای ثبت داده‌ها از ترازوی دیجیتال نامی تراز با ظرفیت حداکثر ۱۵ کیلوگرم (با دقت $\pm 0/001$) کیلوگرم برای وزن‌های تا ۵ کیلوگرم و $\pm 0/005$ کیلوگرم برای وزن‌های بیش از ۵ کیلوگرم) استفاده شد. با اتصال ترازو به کامپیوتر، داده‌ها در فواصل زمانی ۲ ثانیه اندازه‌گیری و ثبت شدند.

با مدرج کردن ارتفاع و استفاده از سطح مقطع ظرف، حجم مورد نیاز برای تراکم‌های مختلف کاه تعیین شد. فشردگی نمونه‌های کاه با استفاده از پیچ دستی تا رسیدن به تراکم‌های مورد نظر (ارتفاع یا حجم مورد نظر) تنظیم و سپس ظرف روی سه پایه قرار داده شد. از یک ظرف پلاستیکی که روی ترازو و در زیر ظرف حاوی نمونه‌ها قرار داشت، برای جمع‌آوری و توزین آب خارج شده از انتهای نمونه‌های کاه استفاده شد. شدت جریان (دبی) با استفاده از شیرهای کنترل حجم و شیر یکطرفه تنظیم شد. با استفاده از نتایج یک آزمایش مقدماتی، زمان قطع پاشش و نیز زمان پایان هر آزمایش تعیین گردید. زمان پاشش با توجه به اشباع شدن تقریبی نمونه‌ها و محدودیت‌های دقت و وزن در ترازو ۳۰۰ ثانیه انتخاب شد. زمان پایان هر آزمایش پس از توقف پاشش نیز ۳۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد زیرا پس از گذشت این زمان میزان زه آب بسیار ناچیز و تقریباً زه آبی مشاهده نشد.

کل رطوبت نگهداری شده در هر زمان، حاصل رطوبت نگهداری شده دو بخش است که بخش اول رطوبت سطحی آزاد و چسبیده به ذرات کاه و

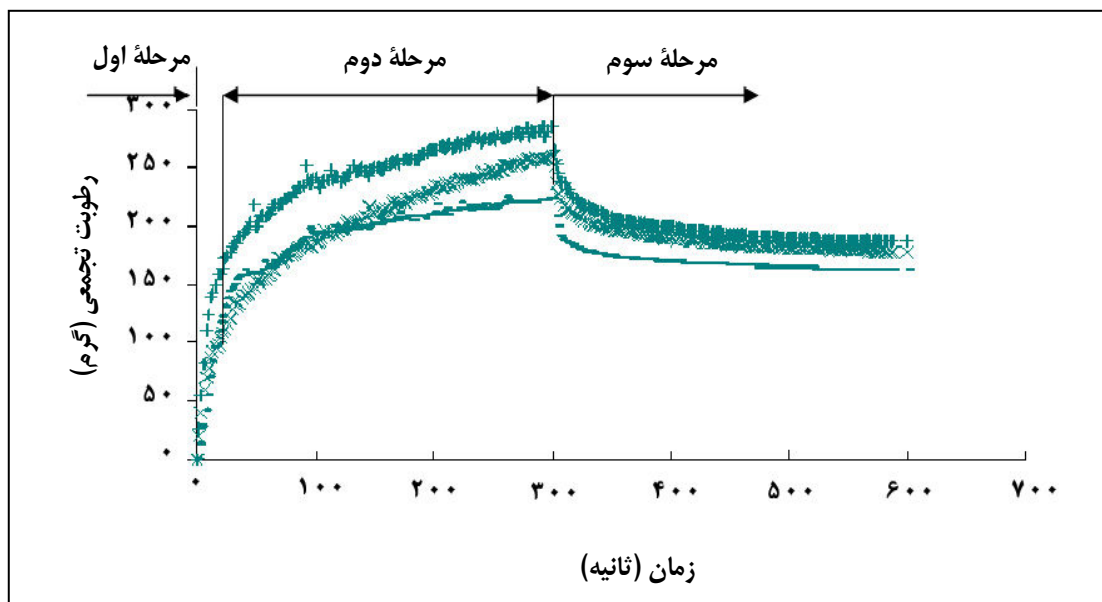
قسمت اول از شکل شماره ۲ نشان دهنده رطوبت نگهداری شده در این مرحله است که به دلیل کوتاه بودن زمان شروع زه آب، این قسمت از شکل به صورت دقیق قابل تفکیک نیست. در حالت کلی با افزایش تراکم و دبی، میانگین M_a ، افزایش یافت (جدول شماره ۱). در یک تراکم ثابت کاه، زمان شروع زه آب (t_p)، با زیاد شدن دبی کاهش می‌یابد. افزایش دبی پاشش سبب اشغال سریع‌تر فضاهای خالی از آب می‌شود و در نتیجه آب از انتهای نمونه‌ها در زمان کوتاه‌تری خارج خواهد شد. در صورتی که دبی ثابت فرض شود با افزایش تراکم، t_p افزایش می‌یابد. افزایش t_p در اثر افزایش تراکم، می‌تواند به دلیل عبور زه آب از مسیرهای باریک‌تر (پیچیده‌تر) تا رسیدن به انتهای نمونه‌ها باشد (جدول شماره ۱).

ترکیب‌ها برآورد گردید. در تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

- روند نگهداری رطوبت

روند کلی نگهداری رطوبت برای یک ترکیب تیماری (تراکم ۵ کیلوگرم بر متر مکعب و دبی‌های ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ گرم بر دقیقه) در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. باتوجه به مراحل مورد نظر در فرآیند خیساندن کاه، این شکل شامل سه قسمت است. در ابتدای پاشش آب، هیچ زه آبی از انتهای نمونه‌های کاه مشاهده نمی‌شود و رطوبت وارد شده به‌عنوان رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب (M_a) در نظر گرفته می‌شود. روند این مرحله از نگهداری رطوبت نسبت به زمان، خطی است.



شکل شماره ۲- روند نگهداری رطوبت و خروج آب آزاد (زه آب) در فرآیند خیساندن کاه با تراکم ۵ کیلوگرم بر متر مکعب و دبی‌های مختلف ((+) ۴۰۰ گرم بر دقیقه، (x) ۶۰۰ گرم بر دقیقه و (-) ۸۰۰ گرم بر دقیقه)

جدول شماره ۱- زمان شروع زه آب (t_r)، مقدار رطوبت اشباع (M_s)، زه آب (M_d) و مقادیر و درصد رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب (W_a, M_a) و نهائی کاه (W_e, M_e) در دبی و تراکم‌های مختلف

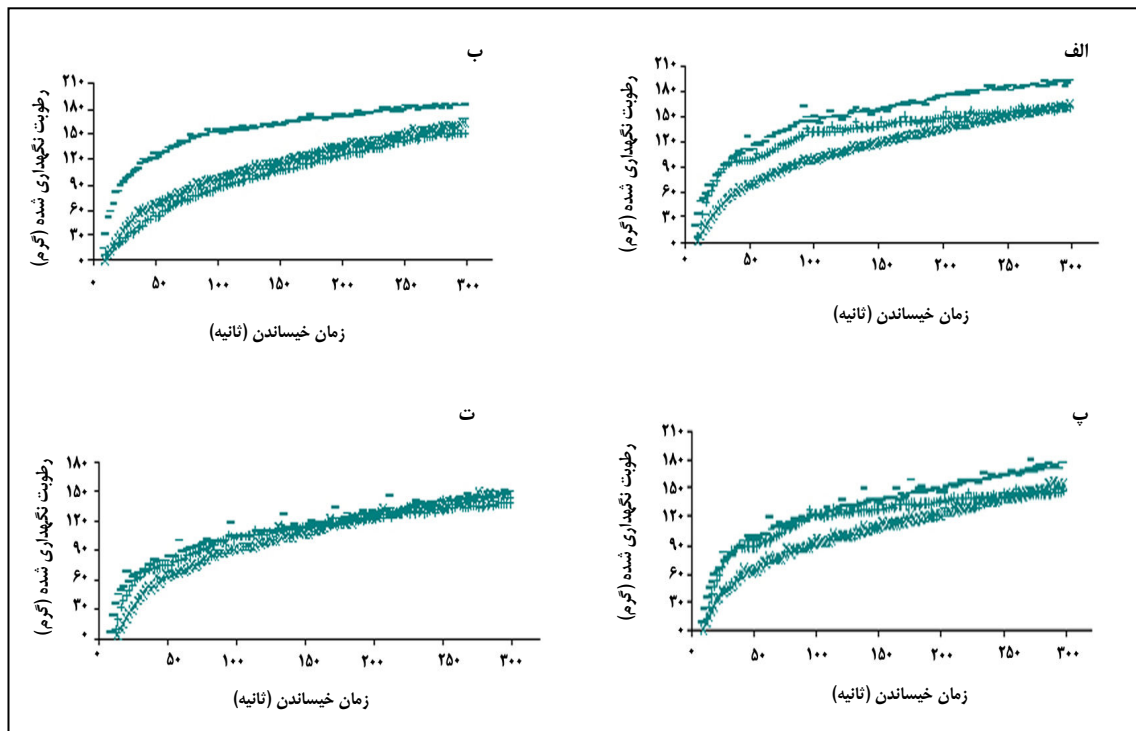
W_e (درصد w.b.)	M_e (گرم)	W_a (درصد w.b.)	M_a (گرم)	M_d (گرم)	M_s (گرم)	t_r (ثانیه)	دبی (گرم بر دقیقه)	تراکم (کیلوگرم بر متر مکعب)
۶۴	۱۶۲/۳	۴۲	۶۲	۶۰/۷	۲۲۳/۰	۹/۳۰	۴۰۰	
۶۶	۱۷۷/۷	۴۵	۷۱	۸۲/۳	۲۶۰/۰	۷/۱۰	۶۰۰	۵
۶۷	۱۸۷/۴	۵۱	۹۲	۹۷	۲۸۴/۴	۶/۹۰	۸۰۰	
۶۲	۱۴۴/۴	۴۴	۶۷	۷۳/۷	۲۱۸/۰	۱۰/۰۵	۴۰۰	
۶۳	۱۵۵/۲	۴۷	۷۹	۸۸/۳	۲۴۳/۵	۷/۹۰	۶۰۰	۵۰
۶۶	۱۷۴/۲	۵۲	۹۴	۱۰۵/۷	۲۷۹/۸	۷/۰۵	۸۰۰	
۵۹	۱۳۱/۰	۴۵	۷۰	۸۶	۲۱۷/۰	۱۰/۵۰	۴۰۰	
۶۱	۱۴۳/۷	۴۸	۸۲	۹۲/۳	۲۳۶/۰	۸/۲۰	۶۰۰	۸۵
۶۴	۱۵۹/۷	۵۳	۹۸	۱۱۵	۲۷۴/۷	۷/۳۵	۸۰۰	
۵۸	۱۲۵/۳	۴۶	۷۵	۸۸	۲۱۳/۳	۱۱/۲۵	۴۰۰	
۶۰	۱۳۴/۷	۴۹	۸۶	۹۸/۳	۲۳۳/۰	۸/۶۰	۶۰۰	۱۲۰
۶۰	۱۳۶/۷	۵۳	۱۰۲	۱۲۲	۲۵۸/۷	۷/۶۵	۸۰۰	

تجمعی در مراحل اولیه، ناشی از انباشت رطوبت چسبیده شده به سطوح خارجی کاه بود. هنگامی که این مقدار به حد نهائی خود رسید، مقادیر جذب رطوبت در بافت کاه بیشتر شد که با روند ملایم‌تری ادامه داشت. تغییرات دبی و تراکم بر میزان رطوبت نگهداری شده مؤثر بود و با افزایش دبی مقدار آن افزایش یافت. می‌توان انتظار داشت برای هر تراکم کاه، با افزایش دبی احتمال برخورد آب در حال تراوش با سطح کاه افزایش یابد که این خود باعث افزایش رطوبت نگهداری شده می‌شود. با افزایش تراکم، میزان رطوبت نگهداری شده کاهش یافت که این امر می‌تواند به دلیل کاهش فضای خالی بین نمونه‌ها (خلل و فرج) باشد. پس از قطع پاشش،

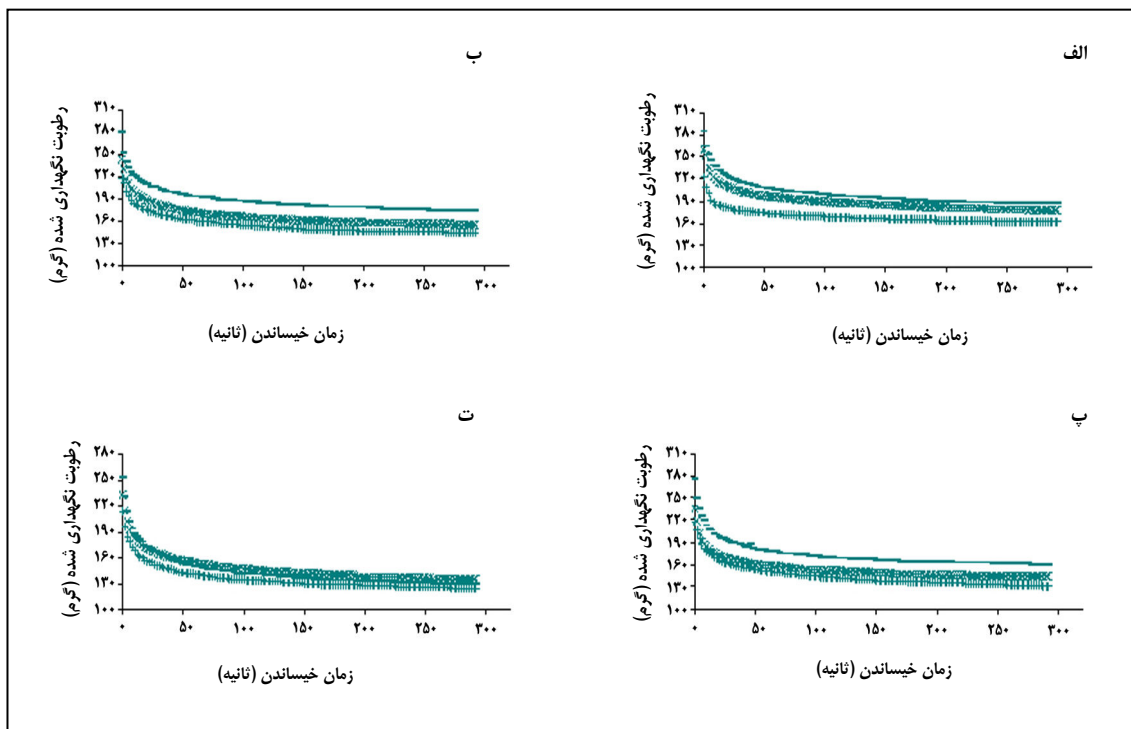
پس از گذشت زمانی چند از پاشش، خروج زه آب از انتهای نمونه‌های کاه شروع شد که این وضعیت پس از قطع پاشش نیز ادامه داشت. مرحله دوم نگهداری رطوبت با روند غیر خطی از لحظه خروج زه آب شروع شد و تا زمان قطع پاشش ادامه یافت. در ابتدای این مرحله، مقدار خروج زه آب کم و میزان جذب رطوبت نسبتاً زیاد بود، اما این مقدار به سرعت کاهش یافت و سرانجام هنگامی که کاه به حالت اشباع نزدیک می‌شد به مقدار کم و تقریباً ثابتی رسید. قسمت دوم از شکل شماره ۲ و شکل شماره ۳ داده‌های مربوط به این مرحله را نسبت به زمان، در تراکم‌های مختلف نشان می‌دهد. افزایش سریع میزان رطوبت جذب شده

و سرانجام به مقدار کم و ثابت (حالت افقی) رسید. با افزایش تراکم و دبی، میزان زه آب تغییر کرد. مقادیر زه آب از نمونه‌ها با افزایش دبی سیر صعودی و با افزایش تراکم سیر نزولی داشت. با توجه به مقادیر مربوط به روند نگهداری رطوبت، این تغییرات طبیعی و قابل انتظار بود. مقدار رطوبت باقیمانده پس از قطع زه آب، به‌عنوان رطوبت نگهداری شده مؤثر (M_e) در نظر گرفته شد.

حرکت رو به پایین آب نگهداری شده در سطوح خارجی ذرات کاه و آب آزاد داخل خلل و فرج به‌صورت زه آب از انتهای ظرف حاوی نمونه‌ها ادامه داشت. قسمت سوم از شکل شماره ۲ نشان دهنده نحوه خروج رطوبت اضافی از یک توده کاه اشباع است. شکل شماره ۴ نیز روند خروج زه آب را نسبت به زمان، در تراکم و دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. در ابتدای قطع پاشش خروج آب از نمونه‌ها نسبتاً زیاد بود، اما این مقدار به‌سرعت کاهش یافت



شکل شماره ۳- روند نگهداری رطوبت؛ $M_e(t)$ ؛ در دبی و تراکم‌های مختلف، (الف) ۵ کیلوگرم بر متر مکعب، (ب) ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، (پ) ۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب، (ت) ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، (+) ۴۰۰ گرم بر دقیقه، (x) ۶۰۰ گرم بر دقیقه و (-) ۸۰۰ گرم بر دقیقه



شکل شماره ۴- روند زه آب؛ $M_d(t)$ ؛ در دبی و تراکم‌های مختلف (الف) ۵ کیلوگرم بر متر مکعب، (ب) ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، (پ) ۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب، (ت) ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، (+) ۴۰۰ گرم بر دقیقه، (x) ۶۰۰ گرم بر دقیقه و (-) ۸۰۰ گرم بر دقیقه

– برآورد مدل نگهداری رطوبت

متغیره بر داده‌ها برازش شد و رابطه زیر به دست آمد:

$$M_a = 0.113q + 0.178\gamma \quad R^2 = 0.99 \quad (1)$$

که در آن، M_a = رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب (بر حسب گرم)؛ q = دبی پاشش (بر حسب گرم بر دقیقه)؛ γ = تراکم کاه (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب) است. مدل‌های ارائه شده وان‌الدرن و همکاران (Van Elderen *et al.*, 1972) و پیت و مک گیچان (Pitt & McGechan, 1990)، در بررسی فرآیند دوباره خیساندن علوفه نوار شده و مدل‌های باماگا و همکاران (Bamaga *et al.*, 2002) در

برای برآورد مدل، داده‌های آزمایش در سه بخش: الف) رطوبت پیش از زه آب (M_a)، ب) رطوبت نگهداری شده ($M_r(t)$)، و پ) زه آب ($M_d(t)$) بررسی شد.

– مدل پیش از زه آب

روند این مرحله از نگهداری رطوبت نسبت به زمان، خطی است. میزان رطوبت نگهداری شده از حاصل ضرب زمان سپری شده تا شروع زه آب، در دبی پاشش محاسبه شد. با توجه به خطی بودن روند این مرحله از نگهداری رطوبت، رگرسیون چند

گردید (جدول شماره ۲). از رابطه شماره ۲ استنباط می‌شود که ضریب a ، بجانب منحنی نگهداری رطوبت و برابر با ظرفیت رطوبت اشباع است. با این حال مقادیر برآورد شده برای این ضریب در تراکم و دبی‌های مختلف از ۱۳۱ تا ۱۸۰ در نوسان بود. این تغییرات می‌تواند ناشی از اختلاف رطوبت جذب شده در بافت کاه (برای نمونه‌هایی که در معرض پاشش بیشتر قرار گرفته‌اند) و نیز ناشی از توزیع یا تراوش غیر یکنواخت آب در داخل نمونه‌ها باشد. غیریکنواختی در توزیع رطوبت، احتمالاً به دلیل تفاوت فضای خالی بین نمونه‌ها (خلل و فرج) است. به طور کلی روند تغییرات ضرایب a به گونه‌ای بود که با افزایش دبی به غیر از دو مورد (دبی ۶۰۰ گرم بر دقیقه در تراکم ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دبی ۴۰۰ گرم بر دقیقه در تراکم ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) سیر صعودی و با افزایش تراکم روند نزولی داشت. در خصوص ضریب b ، روند خاصی وجود نداشت. به منظور بررسی علت و تعیین سهم دبی، تراکم، یا تغییرات نمونه‌های آزمایشی بر ضرایب، تجزیه واریانس انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین میانگین مقادیر ضرایب b در سطوح مختلف دبی و تراکم تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P < 0/05$). میانگین مقادیر ضرایب a به طور معنی‌داری با تغییرات دبی و تراکم تغییر می‌کند ($P < 0/01$). برای تعیین حد نهایی رطوبت نگهداری شده در توده کاه، باید روند خروج رطوبت از کاه اشباع اندازه‌گیری شود.

آزمایش‌های خیساندن بسته‌های مکعبی کاه، برای این مرحله از نگهداری رطوبت خطی بود اگر چه این محققان اثر تراکم بر میزان رطوبت را بررسی نکردند.

– مدل برآورد رطوبت نگهداری شده از شروع زه آب تا توقف پاشش

تغییرات رطوبت نگهداری شده از شروع زه آب تا توقف پاشش، $M_r(t)$ ، نسبت به زمان از روندی غیرخطی پیروی می‌کند. از بین انواع مدل‌های ممکن، سه فرم از معادلات غیر خطی توانی، نمایی، و مجانبی برای تشریح روند نگهداری رطوبت مورد بررسی قرار گرفت. با این فرض که حد نهایی نگهداری رطوبت مقدار ثابتی است و هنگامی که زمان به سمت بی‌نهایت میل کند، میزان جذب یا افزایش رطوبت نمونه‌های کاه برابر صفر خواهد بود، مناسب‌ترین تابع، تابع نمایی (رابطه شماره ۲) تشخیص داده شد. این موضوع با نتایج تحقیق سایر محققان مطابقت دارد (McGechan & Pitt, 1990; Bamaga et al., 2002).

$$M_r(t) = a(1 - e^{-bt}) \quad (2)$$

که در آن، a و b = ضرایب ثابت مدل؛ t = زمان شروع زه آب تا قطع پاشش (بر حسب ثانیه) است. قبل از برآزش داده‌ها، تأخیر زمانی در مشاهده زه آب و رطوبت نگهداری شده در این زمان (M_a) به ترتیب از زمان کل و رطوبت اشباع کم شد. ضرایب a و b در رابطه شماره ۲، برای کلیه ترکیب‌ها برآورد

جدول شماره ۲- مقادیر برآورد شده ضرایب "a" و "b" در مدل نمایی (معادله شماره ۲) برای پیش‌بینی رطوبت نگهداری شده و ضرایب "c" و "d" در مدل توانی (معادله شماره ۳) برای پیش‌بینی زه آب

R ^۲	d	c	R ^۲	b	a	تراکم	
						دبی (گرم بر دقیقه)	(کیلوگرم بر متر مکعب)
۰/۹۵	۰/۶۶۹	۱۶۲/۴	۰/۹۳	۰/۰۲۱	۱۵۲/۲	۴۰۰	
۰/۹۹	۰/۹۵۳	۱۷۸/۷	۰/۹۲	۰/۰۰۹	۱۶۶/۰	۶۰۰	۵
۰/۹۵	۱/۰۴۱	۱۸۶/۸	۰/۹۳	۰/۰۱۸	۱۸۰/۰	۸۰۰	
۰/۹۹	۱/۱۱۶	۱۴۴/۷	۰/۹۲	۰/۰۰۷	۱۷۳/۱	۴۰۰	
۰/۹۸	۱/۱۴۷	۱۵۵/۴	۰/۹۴	۰/۰۰۹	۱۶۷/۸	۶۰۰	۵۰
۰/۹۵	۱/۰۸۳	۱۷۰/۰	۰/۹۳	۰/۰۲۴	۱۷۴/۷	۸۰۰	
۰/۹۵	۱/۳۱۹	۱۳۲/۹	۰/۹۲	۰/۰۲۱	۱۴۰/۰	۴۰۰	
۰/۹۷	۱/۱۳۹	۱۴۳/۴	۰/۹۴	۰/۰۰۹	۱۵۱/۷	۶۰۰	۸۵
۰/۹۲	۱/۲۸۹	۱۵۹/۶	۰/۹۵	۰/۰۱۶	۱۶۰/۷	۸۰۰	
۰/۹۶	۱/۳۱۲	۱۲۵/۱	۰/۹۴	۰/۰۱۶	۱۳۱/۲	۴۰۰	
۰/۹۸	۱/۳۴۱	۱۳۶/۰	۰/۹۲	۰/۰۰۹	۱۵۱/۰	۶۰۰	۱۲۰
۰/۹۰	۱/۶۰۹	۱۳۶/۱	۰/۹۴	۰/۰۱۷	۱۳۶/۴	۸۰۰	

- مدل برآورد زه آب

با این فرض که حد نهایی نگهداری رطوبت کاه مقداری ثابت است و هنگامی که زمان به سمت بی‌نهایت میل کند، میزان رطوبت مؤثر به مقداری مشخص و ثابت می‌رسد (خروج رطوبت از نمونه‌های کاه برابر صفر خواهد بود)، رابطه توانی به فرم زیر در نظر گرفته شد:

$$M_d(t) = c t (d/t) \tag{۳}$$

که در آن، c و d = ضرایب ثابت مدل؛ t = زمان قطع پاشش تا قطع زه آب (بر حسب ثانیه) است.

ضرایب c و d، برای کلیه ترکیب‌ها برآورد شد (جدول شماره ۲). از معادله شماره ۳ استنباط می‌شود که با گذشت زمان، مقدار تابع، $M_d(t)$ ، به عدد c نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر ضریب c نشان دهنده مجانب منحنی روند زه آب و برابر با ظرفیت نگهداری رطوبت مؤثر یا نهایی است. مقادیر برآورد شده برای این ضریب از ۱۲۵ تا ۱۸۶ تغییر کرد. روند تغییرات ضریب c متناظر با ضریب a در مدل شروع زه آب تا توقف پاشش $M_T(t)$ بود به نحوی که با زیاد شدن دبی سیر صعودی و با افزایش تراکم سیر نزولی داشت. با توجه به مقادیر رطوبت خارج شده از لحظه قطع پاشش تا توقف زه

نمونه کاه قبل از خیساندن که در این آزمایش برابر ۱۰۰ گرم است.

درصد و مقادیر مربوط به رطوبت نگهداری شده، در جدول شماره ۱ آمده است. بر اساس نتایج جدول مذکور، در فرآیند خیساندن کاه با افشانک می توان درصد رطوبت را پس از خروج کامل زه آب تا ۶۷ درصد (w.b.) افزایش داد. در این جدول، همچنین در دبی های مختلف پاشش، بیشترین مقدار رطوبت نگهداری شده و در نتیجه کمترین میزان زه آب در تراکم ۵ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین میزان رطوبت نگهداری شده و در نتیجه بیشترین مقدار زه آب در تراکم ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب ایجاد شده است. در تراکم های کم تر کاه، به دلیل وجود میزان بیش تر رطوبت، امکان جذب بیش تر در بافت کاه وجود دارد که در نتیجه رطوبت نهایی کاه بیش تر و یا به بیان دیگر میزان زه آب کم تر شده است.

میزان رطوبت نهایی از عوامل مؤثر در عمل آوری کاه با اوره است و رطوبت بین ۳۰ تا ۵۰ درصد، برای عمل آوری توصیه می شود. برای افزایش کیفیت و راندمان کار، توصیه می شود که پاشش محلول اوره به گونه ای باشد که کمترین میزان زه آب ایجاد شود (Chenost & Kayouli, 1997; Nguyen et al., 1998). نتایج آزمایش نشان می دهد که کاه با تراکم ۵ کیلوگرم بر متر مکعب، در سطوح مختلف دبی پاشش، محدوده رطوبت مورد نیاز را برای عمل آوری کاه با اوره تامین می کند. در نتیجه در غنی سازی مکانیزه کاه با محلول اوره، این تراکم کاه مناسب است.

آب (M_d)، این تغییرات طبیعی و موافق انتظار بود. در خصوص ضریب d روند خاصی وجود نداشت. برای بررسی دلیل تغییرات و تعیین رابطه ضرایب c و d با دبی و تراکم، تجزیه واریانس انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین میانگین مقادیر ضریب d در سطوح مختلف دبی و تراکم، تفاوت معنی دار وجود ندارد ($P < 0/05$). میانگین مقادیر ضریب c به طور معنی داری با تفاوت دبی و تراکم تغییر کرد ($P < 0/01$). در بررسی پدیده خیساندن نوار علوفه، مدل نمایی (غیرخطی) برای روند خروج زه آب ارائه شده است (McGechan & Pitt, 1990).

- میزان رطوبت کاه

روابط شماره ۴ و ۵ به ترتیب برای تعیین درصد رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب و رطوبت نگهداری شده نهایی تعریف شد:

$$W_a = [(M_a + M_i) / (W_i + M_a)] \times 100 \quad (4)$$

$$W_e = [(M_e + M_i) / (W_i + M_e)] \times 100 \quad (5)$$

که در آنها، M_a = مقدار رطوبت نگهداری شده پیش از زه آب (بر حسب گرم)؛ W_a = درصد رطوبت پیش از زه آب کاه بر پایه تر (w.b. درصد)؛ W_e = درصد رطوبت نهایی کاه بر پایه تر (w.b. درصد)؛ M_e = مقدار رطوبت نگهداری شده مؤثر (نهایی) (بر حسب گرم)؛ M_i = مقدار رطوبت موجود در نمونه کاه قبل از خیساندن (بر حسب گرم)؛ و W_i = وزن

نتیجه گیری

- ۱- در فرآیند خیساندن کاه با افشانک مخروطی، با توجه به تطبیق بهتر داده‌های آزمایش، مدل نمایی برای پیش‌بینی میزان رطوبت نگهداری شده و مدل توانی برای برآورد میزان زه آب، مناسب تشخیص داده شد.
- ۲- تراکم کاه و دبی پاشش بر میزان رطوبت نگهداری شده و زه آب تأثیر دارند به طوری که
- با کاهش تراکم کاه یا افزایش دبی، مقدار زه آب کاهش و میزان نگهداری رطوبت افزایش می‌یابد.
- ۳- در سیستم پاششی هنگام خیساندن کاه با افشانک، رطوبت مورد نیاز برای عمل‌آوری کاه قبل از شروع زه آب، تامین می‌شود.
- ۴- برای عمل‌آوری مکانیزه، می‌توان محلول اویره را بر کاه بدون تراکم (۵ کیلوگرم بر متر مکعب) پاشید.

قدردانی

از مؤسسه تحقیقات علوم دامی به دلیل حمایت مالی و فنی، آموزش‌شده کشاورزی کرج به دلیل در اختیار گذاشتن امکانات اجرایی، و نیز از آقای مهندس عبدالرسول غفاری برای همکاری صمیمانه ایشان قدردانی می‌شود.

مراجع

- 1- Bamaga, O. A., Thakur, T. C. and Verma, M. L. 2000. Effect of ammonia (urea) treatment of baled wheat straw on its nutritive value. *Indian J. of Animal Nutrition*. 17, 8-12.
- 2- Bamaga, O. A., Thakur, T. C. and Verma, M. L. 2002. Laboratory investigation into the wetting of baled wheat straw stack with urea solution for ammoniation. *Trans. of the ASAE*. 45(1): 55-64.
- 3- Bhar, R., Garg, A. K. and Pathak, N. N. 1998. Effect of sealing methods on nitrogen loss during urea ammoniation of wheat straw. *Indian J. of Dairy Sci*. 51, 96-99.
- 4- Chenost, M. and Kayouli, C. 1997. Roughage utilization in warm climates. *FAO. Animal Production and Health Paper 135*. Rome.
- 5- Cottyn, B. G. and Boever, J. L. 1988. Upgrading of straw by ammoniation. *Anim. Feed. Sci. Tech*. 21, 287-294.
- 6- Jackson, M. G. 1978. Treating straw for animal feeding. *FAO. Animal Production and Health Paper 10*.

- 7- Mansbridge, R. J. and Deaville, E. R. 1995. Urea as a source of effective rumen degradable protein for high- yielding dairy cows. *Breeding and Feeding the High genetic Merit Dairy Cow*. 19, 102-103.
- 8- McGechan, M. B. and Pitt, R. E. 1990. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 2. Exploratory experiments into absorption and drying. *J. of Agric. Eng. Res.* 45, 69-76.
- 9- McGechan, M. B. and Graham, R. 1993. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 3. Laboratory investigation into the rewetting process. *J. of Agric. Eng. Res.* 55, 45-56.
- 10- Nguyen, X. T., Dan, C. X., Ly, L. V. and Sundstol, F. 1998. Effect of urea concentration, moisture content, and duration of treatment on chemical composition of alkali treated rice straw. *Livestock Research for Rural Development*. 10(1). January.
- 11- Pitt, R. E. and McGechan, M. B. 1990. The rewetting of partially dried grass swaths by rain: part 1. Lumped and distributed models of moisture fluctuation. *J. of Agric. Eng. Res.* 45, 55-67.
- 12- Raisianzadeh, M., Faizi, R., Abbasi, A. and Monazami, H. 2004. Acceptability of urea treating straw project by sheep breeders in khorasan province. in: *Proceedings 2nd Conferences of Sheep and Goat*. Animal Science Research Institute. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Karaj. Iran. (In Farsi)
- 13- Schiere, J. B. and Ibrahim, M. N. M. 1989. Feeding of urea ammonia treated rice straw. A compilation of miscellaneous reports produced by the Straw. Utilization Project (Sri-Lanka). Pudoc. Wageningen. Netherlands.
- 14- Van Elderen, E., Feijter, J. D. and Van Hoven, S. P. J. H. 1972. Moisture in a grass swath. *J. of Agric. Eng. Res.* 17, 209-218.

Wheat Straw Moisture Characteristics at Different Bulk Densities and Water Flow Rates by Conic Type Sprinkler Nozzle

M. Younesi, M. H. Khoshtaghaza and B. Ghobadian

The conventional treatment process of wheat straw is a laborious, tedious and time consuming task. It is essential to facilitate or eliminate some of these operations by using machine. For mechanical treatment of wheat straw with urea solution, it is necessary to study the moisture characteristics of wheat straw. For this purpose, straw rewetting properties like retained and runoff moisture at different water inflow rates and straw bulk densities were studied. The wetting process was applied through sprinkling water by a conic type nozzle on certain mass of wheat straw (100 g) at four levels of straw density 5, 50, 85 and 120 kg/m³ and three flow rate levels 400, 600 and 800 g/min. The relationships between liquid inflow rate, straw bulk density and wetting time with retained and runoff water were determined. The highest quantity of retained and the lowest runoff were observed at 5 kg/m³ straw bulk density and the lowest retained and the highest runoff were noted at 120 kg/m³ bulk density. The exponential and power models were developed to predict water retention and runoff during wetting time, respectively. Spraying of urea solution can be recommended at low straw density (5 kg/m³) for mechanical urea treatment of wheat straw.

Key words: Retained Moisture, Runoff, Wetting Time, Wheat Straw