

مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پیت نیشکر عمل‌آوری شده با بخار آب و تعدادی از مواد الیافی و نقش آن‌ها در تغذیه نشخوارکنندگان

مرتضی چاجی^{۱*} - عباسعلی ناصریان^۲ - رضا ولی زاده^۳ - طاهره محمدآبادی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۱۴

چکیده

این آزمایش برای مطالعه ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکی و شیمیایی پیت نیشکر خام و عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار (۱۹ بار به مدت ۳ دقیقه)، باگاس خام نیشکر، کاه‌های گندم، جو و برنج، سبوس گندم و یونجه خشک طراحی شد. استفاده از بخار برای عمل‌آوری پیت خام نیشکر، سبب کاهش معنی‌داری در الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۷۷ در برابر ۵۵ درصد)، نسبت همی سلولز به سلولز (۰/۵۴ در برابر ۰/۱) و افزایش حلالیت همی سلولز و به تبع آن افزایش قند محلول (۲۰ در برابر ۱۲۴ میلی گرم در گرم ماده خشک) شد. بخار تحت فشار منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی شامل افزایش جرم حجمی توده‌ای (۰/۲۰ در برابر ۰/۳۱ میلی گرم بر میلی لیتر)، حل‌پذیری (۸/۲ در برابر ۱۲/۸ درصد)، جرم حجمی لحظه‌ای (۰/۳۰ در برابر ۰/۵۷ گرم بر میلی لیتر) و ماده آلی محلول (۶/۳ در برابر ۱۱/۲ درصد) و کاهش ظرفیت نگهداری آب (۲/۵ در برابر ۲/۱ میلی لیتر در گرم) شد. همبستگی‌های منفی و مثبتی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد الیافی وجود داشت. جرم حجمی توده‌ای، جرم حجمی لحظه‌ای و حل‌پذیری دارای ارتباط منفی با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و لیگنین بودند. ظرفیت نگهداری آب ارتباط مثبت با این اجزاء داشت. به نظر می‌رسد عمل‌آوری مواد خشبی به ویژه پیت نیشکر با بخار آب تحت فشار روش مناسبی جهت بهبود ارزش تغذیه‌ای آن‌ها در تغذیه نشخوارکنندگان باشد.

واژه‌های کلیدی: پیت نیشکر، بخار آب تحت فشار، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

مقدمه

الیاف جیره دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت هستند و این نکته پذیرفته شده است که اثر متقابل این ویژگی‌ها در مورد استفاده قرار گرفتن الیاف در جیره نقش دارد (۲۵). ویژگی‌های فیزیکی مواد خوراکی تعیین‌کننده نحوه تخمیر در شکمبه، فعالیت جویدن و نشخوار حیوان و مقدار یا درصد چربی شیر در دام‌های شیرده و در نهایت سلامتی حیوان می‌باشد (۱۲). روش‌های فیزیکی اطلاعات جدیدی درباره ارزش تغذیه‌ای مواد خوراکی نشخوار

کنندگان و تشخیص اختلاف بین خوراکی‌ها ارائه می‌دهند، این ویژگی‌ها می‌توانند بخشی از نقش میکروارگانیسم‌های شکمبه را در تجزیه مواد خوراکی که با ویژگی‌های شیمیایی قابل درک نیست مشخص کنند (۱۰). ظرفیت نگهداری آب، حداکثر آبی است که یک ماده خوراکی می‌تواند در خود نگه دارد (۲۵) و می‌تواند نقش مهمی در عملکرد شکمبه داشته باشد. برای مثال، ظرفیت نگهداری آب می‌تواند ترشح بزاق، سرعت خروج بخش مایع از شکمبه، بازده تولید میکروبی شکمبه، انباشتگی مواد در شکمبه، سرعت عبور فاز جامد و شروع زمان تخمیر و وسعت تخمیر خوراک را تحت تاثیر قرار دهد. ظرفیت نگهداری، آب کلنی سازی میکروبی و فشار اسمزی را که برای محیط اکولوژی شکمبه حائز اهمیت است را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱، ۳ و ۲۵). تجزیه میکروبی دیواره سلولی گیاهان فرآیندی کند است. برای رسیدن به حداکثر هضم پذیرگی سلولز، نشخوارکنندگان ذرات غذایی را

۱ و ۴- دانش‌آموختگان دکتری گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد و استادیاران گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
* - نویسنده مسئول: Email: chaji@ramin.ac.ir

۲ و ۳ - استادان گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

پیکنومتر در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و قبل از وزن کشی با ورتکس مجدداً مخلوط گردید (۱۲). جرم حجمی لحظه‌ای ماده خشک نامحلول در هریک از زمان‌های آبیگری با معادله اصلاح شده هوپر و ولج (۱۲) محاسبه شد (۳۲):

$$FSG = W_r / ([W_b/S_b] - [W_y - W_r]/S_a)$$

که در معادله: FSG، جرم حجمی لحظه‌ای ماده خشک نامحلول در زمان؛ W_r ، وزن ماده خشک نامحلول؛ S_a ، S_b ؛ جرم حجمی محلول آبیگری به ترتیب قبل و بعد از حل شدن بخشی از ماده محلول؛ W_b ، وزن محلول آبیگری لازم برای پر کردن پیکنومتر در ۳۹ درجه سانتی‌گراد؛ W_y ، وزن نمونه و محلول آبیگری لازم برای پر کردن پیکنومتر در زمان‌های آبیگری؛ W_b/S_b ، برآوردی از وزن آب مقطر بدون گاز لازم برای پر کردن پیکنومتر است.

طبق پیشنهاد هوپر و ولج (۱۲) برای اندازه‌گیری جرم حجمی لحظه‌ای مدت ۱ ساعت آبیگری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد کافی است.

تعیین ظرفیت نگهداری آب^۲ (WHC): از روش صاف کردن

استفاده شد (۲۵). مقدار ۲/۵ گرم نمونه به مدت ۲۴-۱۶ ساعت در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر خیسانده سپس با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۱ نمونه صاف شد. وزن نمونه تر پس از گذشت ۱۰ دقیقه که نمونه روی صافی قرار گرفت ثبت شد. سپس در آن قرار گرفته و محاسبات انجام شد (۱۰).

قابلیت انحلال^۳: نمونه صاف شده که پس از عبور از صافی جمع

آوری شده بود، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه در آن خشک، وزن آن اندازه‌گیری و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر آن تهیه شد. حل پذیری ماده خشک، خاکستر و ماده آلی به صورت درصدی از وزن اولیه نمونه و یا به صورت گرم به ازای لیتر محاسبه شد (۱۰).

جرم حجمی توده‌ای^۴ (BD): جرم حجمی توده‌ای با روش

مونت گومری و بوم گاردت (۲۱) اندازه‌گیری شد. یک استوانه مدرج به حجم ۱۰۰ میلی لیتر با نمونه خشک شده در آن تا حجم ۵۰ میلی لیتر پر و به مدت ۱۵ ثانیه بین دو کف دست چرخانده و وزن و حجم آن یادداشت شد (جرم حجمی در حجم ۵۰). مقدار بیشتری نمونه ریخته شد تا به حجم ۱۰۰ میلی لیتر برسد؛ سپس به مدت ۱۰ ثانیه چرخانده شد، مجدداً استوانه پر شد تا به حجم ۱۰۰ میلی لیتر برسد، به مدت ۵ ثانیه چرخانده و حجم و وزن نهایی اندازه‌گیری شد (جرم حجمی ۱۰۰ میلی لیتر).

ترکیب شیمیایی: ترکیبات شیمیایی مواد مورد بررسی شامل

ذاتاً به مدت طولانی‌تر از بخش مایع، در شکمبه و نگاری نگه می‌دارند. ساز و کار دقیق این نوع عبور دادن و نگه داشتن انتخابی به درستی درک نشده است. اهمیت جرم حجمی ویژه لحظه‌ای^۱ (FSG) در نرخ عبور کاملاً مشخص شده است و در منابع توجه کمتری به تاثیر جرم حجمی ذرات بر میانگین زمان ماندگاری شده است (۷ و ۱۳). ذرات با جرم حجمی بین ۱/۱۷ و ۱/۴۲ گرم بر میلی لیتر، شکمبه گاو را سریع‌تر از ذرات با جرم حجمی سنگین تر یا سبک‌تر ترک می‌کنند (۷ و ۸). تاثیر کمی اندازه ذرات مختلف با جرم حجمی مختلف بر میانگین زمان ماندگاری شکمبه و نگاری نشان داد که مدت زمان ماندگاری ذرات با جرم حجمی پایین (۰/۹۲ گرم بر میلی لیتر) حدود ۲ تا ۳ برابر ذرات با جرم حجمی بالا (۱/۴۴) بود (۱۳). مشخص شده است که ذرات سنگین تر در مایع شکمبه، به اعماق فرو می‌روند و مدت زیادتری را در کیسه شکمی باقی می‌مانند، این در حالی است که ذرات سبک تر شناورند و بیشتر نشخوار می‌شوند که در هر دو حالت ماندگاری بیشتری در شکمبه دارند (۱۳).

هدف از انجام این آزمایش آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی مواد خوراکی الیافی به ویژه محصولات فرعی نیشکر و ارتباط ویژگی‌های فیزیکی با ترکیبات شیمیایی، تغذیه و رفتار آن‌ها در شکمبه بود، که در منابع اطلاعات اندکی درباره آن‌ها وجود دارد.

مواد و روش‌ها

مواد خوراکی: از هشت ماده الیافی شامل: پیت خام نیشکر

(محصول جانبی استحصال شکر از نیشکر که پوست سخت آن جدا شده)، پیت عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار (۱۹ بار به مدت ۳ دقیقه با رطوبت ۷۰ درصد)، باگاس خام نیشکر، کاه‌های گندم، جو و برنج، سبوس گندم و یونجه خشک برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در محیط آزمایشگاهی استفاده شد. نمونه‌ها با ال ک ۱ میلی‌متری آسیاب شدند.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی

تعیین جرم حجمی لحظه‌ای: برای اندازه‌گیری جرم حجمی

لحظه‌ای در طول زمان آبیگری، به یک پیکنومتر شیشه‌ای (TGI)، ساخت آلمان) به حجم ۵۰ میلی لیتر حاوی ۱/۵ گرم ماده خشک از هر نمونه، مقدار ۴۰ میلی لیتر از مایع آبیگری آماده شده با روش واتاکس و همکاران (۳۳) افزوده شد و به آرامی تکان داده شد تا با نمونه مخلوط شود. پس از چند ثانیه پیکنومتر مجدد پر شد و وزن آن ثبت گردید. پیکنومتر در زمان‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۴، ۶، ۱۰، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۹۶ ساعت پر و وزن شد. در بین زمان‌های وزن کشی

2- Water Holding Capacity (WHC)

3- Solubilisation

4- Bulk density

1- Functional Specific Gravity (FSG)

اسیدی یا اجزای لیگنوسولوزی تحت تاثیر قرار نگرفتند و یا تاثیر اندکی گرفتند. اگرچه مقدار کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار نیست، اما کاهش این شاخص در حین بخار دادن ملاحظه می‌شود ($P > 0.05$). غلظت قندهای محلول پس از عمل‌آوری با بخار آب تحت فشار، به مقدار قابل توجهی افزایش یافت ($P < 0.05$) که با نتایج سایر پژوهش‌گرها مطابقت دارد (۱۹ و ۲۲). مقایسه پیت خام با باگاس نشان داد که پوست کنی نیشکر پس از استحصال شکر از آن و تولید پیت یا مغز ساقه نیشکر به سبب برداشتن پوسته سخت روی کاهش قابل توجهی را در محتوی مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی سبب شده است. مقایسه کاه برنج با کاه‌های گندم و جو پایین تر بودن مقدار دیواره سلولی را در کاه برنج نشان داد. بخش عمده‌ای از الیاف سبوس گندم نیز از نوع همی‌سلولزی است و دارای لیگنین کمتری در مقایسه با سایر منابع الیافی در آزمایش حاضر است. مقایسه نسبت همی‌سلولز به سلولز کاه برنج نشان می‌دهد که این ماده دارای همی‌سلولز بالاتری نسبت به سایر مواد الیافی مورد استفاده به استثنای سبوس گندم است. کاه برنج یک ماده سلولزی است که برای فرآیند تبدیل زیستی مناسب است. زیرا این ماده دارای محتوای لیگنین پایینی است (۱۹ و ۲۰). با توجه به جدول ۱، یونجه ماده‌ای است با همی‌سلولز پایین و سلولز و لیگنین بالا، در مقابل، سبوس ماده‌ای کاملاً همی‌سلولزی با لیگنین و همی‌سلولز پایین است. از این نظر نتایج ترکیبات شیمیایی با نتایج دیگران مطابقت دارد (۷ و ۸). طی عمل‌آوری با بخار تحت فشار به دلیل از دست رفتن بیشتر بخش همی‌سلولزی نسبت به اجزاء دیگر دیواره سلول، نسبت همی‌سلولز به سلولز کاهش یافت. کاهش مقدار همی‌سلولز از دو جنبه می‌تواند مفید باشد: اولاً آزاد شدن همی‌سلولز سبب قابل دسترس تر شدن آن برای آنزیم‌های آزاد و میکروبی و در نتیجه افزایش بازده مصرف انرژی آن می‌شود (۱۱)، ثانیاً حذف همی‌سلولز (و تا حدودی لیگنین) سبب در دسترس قرار گرفتن سلولز برای آنزیم‌های با منشأ میکروارگانیسم‌های شکمبه (۲) و آنزیم‌های آزاد (۲۰) می‌شود، زیرا تقریباً سلولز در طبیعت به صورت خالص وجود ندارد و همواره به صورت ترکیب با همی‌سلولز و لیگنین است (۵). باید توجه داشت ویژگی‌های ذاتی و داخلی سلولز به تنهایی عامل محدود کننده دسترسی به آن برای آنزیم‌ها نیست. وجود ترکیبات خارجی، از جمله ساختار لیگنین - همی‌سلولز که بسیار با سلولز نزدیک و همراه هستند، نیز می‌تواند نقش مهمی را در تعیین مقدار قابلیت دسترسی به سلولز توسط عواملی مانند آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌ها داشته باشند (۵). کلینگ و همکاران (۱۶) نشان دادند که در باگاس نیشکر عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار، حدود ۶۰ درصد بخش همی‌سلولزی هیدرولیز شده و به دنبال آن قابلیت بخش سلولزی برای هیدرولیز آنزیمی افزایش می‌یابد. بنابراین، از این جهت در این جا مزیت نسبی پیت خام عمل‌آوری شده با بخار تحت فشار نسبت به کاه غلات و

الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و اسیدی (ADF)، لیگنین (ADL) (۳۰)، پروتئین خام (کج‌لدال) و خاکستر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. کل قندهای محلول خنثی با روش فنول-سولفوریک اسید با استفاده از گلوکز به عنوان استاندارد تعیین گردید (۶). محتوی قند محلول با خیساندن ۴۰-۱۰ میلی گرم نمونه خشک در ۱۵ میلی لیتر آب مقطر در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت بدست آمد، سپس در $300 \times g$ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شده و از محلول رویی برای اندازه‌گیری قند محلول استفاده شد (۶).

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌های مربوط به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی شامل جرم حجمی توده‌ای، حل‌پذیری و ظرفیت نگهداری آب با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن مواد خوراکی به عنوان تیمار با استفاده از رویه GLM نرم افزار آماری SAS (۲۶) تجزیه شدند. از تجزیه رگرسیونی برای مطالعه ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده شد (۱۰). داده‌های مربوط به جرم حجمی لحظه‌ای در واحد زمان به صورت پلاتهای خرد شده با قرار دادن ماده خوراکی در پلات اصلی و زمان آگیری در پلات خرد تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد (۳۲).

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی: ویژگی‌های شیمیایی مواد خوراکی الیافی مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. مطالعه دقیق تمام منابع خوراکی الیافی موجود در جدول مورد هدف این آزمایش نبوده است و تنها به عنوان نمونه‌های شاخصی از مواد خشبی مورد استفاده در تغذیه دام برای مقایسه با محصولات فرعی نیشکر آورده شده اند. مقایسه پیت نیشکر خام و عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار بالا (پیت عمل‌آوری شده) نشان داد که اعمال بخار آب تحت فشار بالا، الیاف نامحلول در شوینده خنثی را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد ($P < 0.05$). پژوهشگران (۲۴ و ۳۴) کاهش مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی در حین اعمال فشار بخار به مواد لیگنوسولوزی از جمله باگاس نیشکر را گزارش کرده‌اند که دلیل اصلی آن هیدرولیز بخشی یا حتی تمام همی‌سلولز به مواد محلول در آب و تا حدودی سست و دپلمریزه شدن لیگنین می‌باشد (۱۹، ۲۲ و ۲۹). توسانت و همکاران (۲۹) با مطالعه الکترون میکروگراف‌های حاصل از برش‌های فوق‌العاده نازک عرضی، تاثیرپذیری لیگنین در طی عمل‌آوری با بخار آب را تایید کردند. مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تحت تاثیر تیمار قرار نگرفت که این مورد در منابع نیز تایید شده است؛ به طوری که پژوهشگران (۲۴ و ۳۴) دریافتند که در طی فرآیند هیدرولیز با بخار آب تحت فشار، همی‌سلولز به بخش‌های محلول در آب تبدیل می‌شود، درحالی که الیاف نامحلول در شوینده

توده‌ای ذرات خوراکی می‌شود، زیرا که سبب کاهش تعداد فضاهای خالی بین سلولی می‌شود که می‌توانست توسط گاز، آب یا حتی ذرات کوچکتر پر شود. در حقیقت ساز و کار بخار در افزایش جرم حجمی توده‌ای مشابه آسیاب کردن است. گزارش شده است که جرم حجمی توده‌ای دارای ارتباط منفی با مقدار خلل و فرج و اندازه منافذ موجود در الیاف است که هرچه این منافذ ریزتر و کمتر باشد مقدار جرم حجمی توده‌ای بیشتر است، زیرا این منافذ یا کیسه‌های هوایی به دلیل داشتن هوا، ماده خوراکی را حجیم و کم وزن می‌کنند (۱۷). جرم حجمی مواد خوراکی دارای ارتباط منفی با مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی و همی سلولز و لیگنین است (۲۷)؛ از آن جای که این بخش‌ها در طی بخاردهی در آزمایش حاضر (جدول ۱) و سایر گزارش‌ها کاهش یافته (۳، ۲۲ و ۲۴)، بنابراین افزایش جرم حجمی توده‌ای مورد انتظار است. در زیر معادلات رگرسیونی (معادلات ۳ تا ۶) مربوط به ارتباط منفی بین جرم حجمی توده‌ای با اجزاء دیواره سلولی نشان داده شده است. جرم حجمی توده‌ای بیشتر با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و لیگنین ارتباط (منفی) دارد و ارتباط قابل توجهی با همی سلولز ندارد، بالاترین مقدار جرم حجمی توده‌ای مربوط به خوراک‌هایی است که دیواره سلولی کمتر و به تبع آن حجم کمتری هم دارند (جدول ۱).

$$(۳) \text{ جرم حجمی توده‌ای} = ۰/۴۰۹۳ - ۰/۵۳۴۸ \times (\text{الیاف نامحلول در شوینده خنثی})$$

$$(۴) \text{ جرم حجمی توده‌ای} = ۰/۱۸۵۷ - ۰/۳۱۳۷ \times (\text{همی سلولز})$$

$$(۵) \text{ جرم حجمی توده‌ای} = ۰/۴۵۲۹ - ۰/۴۷۴ \times (\text{الیاف نامحلول در شوینده اسیدی})$$

$$(۶) \text{ جرم حجمی توده‌ای} = ۲/۵۰۵۸ - ۰/۴۷۷۹ \times (\text{لیگنین})$$

این مشاهدات کاملاً قابل انتظار است. از این نظر داده‌های این آزمایش با نتایج سایر پژوهش‌گرها مطابقت دارد (۱۰ و ۲۸). بسیاری از ویژگی‌های ترکیبات علوفه‌ای که مربوط به حجیم بودن و اشغال فضا است، از جمله جرم حجمی توده‌ای و دیواره سلولی با مصرف خوراک ارتباط دارند (۱۷) داشتن برآورد دقیقی از جرم حجمی توده‌ای خوراک‌ها در شکمبه بسیار مهم است، زیرا این عامل عبور و جا به جایی ذرات در شکمبه و به دنبال آن مصرف خوراک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۷، ۲۱، ۲۷ و ۳۳). سوآن و همکاران (۲۷) گزارش کردند که جرم حجمی توده‌ای و ظرفیت نگهداری آب هر دو با مصرف اختیاری خوراک رابطه منفی دارند. علوفه‌هایی که حجم بیشتری اشغال می‌کنند یا دارای ظرفیت نگهداری آب بالایی هستند کمترین مقدار مصرف شدند. همچنین خوراک‌های دارای جرم حجمی توده‌ای پایین، که دارای الیاف نامحلول در شوینده خنثی بالایی هستند ممکن

برنج مشخص می‌شود. بنابراین مقایسه ترکیبات شیمیایی پیت خام و عمل‌آوری شده با کاه‌های گندم و جو نشان داد که پیت عمل‌آوری شده به نسبت همی سلولز و لیگنین کمتر و سلولز بیشتری دارد، اما قند محلول آن بالاتر است. شاید از نظر ارزش تغذیه‌ای بتوان پیت عمل‌آوری شده را مشابه کاه غلات و حتی با ارزش تر از آن دانست. البته در این زمینه تحقیقات بیشتر بخصوص بر روی دام ضروری به نظر می‌رسد. مقایسه قیمت کنونی کاه غلات و پیت نیشکر عمل‌آوری شده، که قیمت کاه غلات در حدود دو برابر پیت نیشکر است، نشان می‌دهد، در صورتی که ارزش تغذیه‌ای مشابهی داشته باشند باز هم استفاده از آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

ویژگی‌های فیزیکی

جرم حجمی توده‌ای: نتایج مربوط به جرم حجمی توده‌ای مواد غذایی مختلف در جدول ۲ آورده شده است. دو نوع جرم حجمی توده‌ای در این آزمایش شامل: جرم حجمی ۵۰ و ۱۰۰ اندازه گیری شد که با یکدیگر دارای ارتباط بسیار نزدیکی هستند و در واقع اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند. ارتباط آن‌ها با استفاده از رگرسیون خطی به صورت ذیل بدست آمد:

$$(۱) \text{ جرم حجمی توده‌ای} = ۵۰ = ۱/۰۴۵۳ + ۰/۰۰۰۵ \times (\text{جرم حجمی توده‌ای } ۱۰۰)$$

$$(۲) \text{ جرم حجمی توده‌ای } ۱۰۰ = ۰/۹۴۹ + ۰/۰۰۱۸ \times (\text{جرم حجمی توده‌ای } ۵۰)$$

$$(۳) \text{ ضریب تغییرات (CV) جرم حجمی توده‌ای } ۱۰۰ \text{ با } ۵۰ \text{ اختلاف چندانی نداشت (به ترتیب } ۰/۲۹۶ \text{ و } ۰/۳۰۴ \text{)، این نشان می‌دهد که}$$

تکرار پذیری هر دو روش یکسان است و تفاوت زیادی ندارند. در آزمایش گیگر-یوردین (۱۰) تفاوت در ضریب تغییرات بین جرم حجمی توده‌ای ۱۰۰ و ۵۰ بیش از ۲ برابر بود (به ترتیب ۰/۹۹ و ۲/۰۵ درصد) و نتیجه گرفت که تکرار پذیری جرم حجمی ۱۰۰ بیشتر است. جرم حجمی توده‌ای در دامنه ۰/۲۱ تا ۰/۴۰ میلی گرم بر میلی لیتر متغیر بود، کمترین آن مربوط به پیت خام و باگاس بود و بیشترین آن در سیوس گندم مشاهده شد. مقایسه جرم حجمی توده‌ای پیت خام و باگاس با پیت عمل‌آوری شده نشان داد که عمل‌آوری با بخار تحت فشار سبب افزایش معنی دار جرم حجمی توده‌ای شده است (۰/۲۱ و ۰/۳۱ میلی گرم بر میلی لیتر). در طی فرآیند بخاردهی اندازه ذرات ماده خوراکی کاهش می‌یابد و تا حدودی حالت غبار پیدا می‌کند (۳) که منجر به کاهش اندازه منافذ بین الیاف می‌شود. بر اساس تئوری هتل ون سوست (۳۱) آسیاب کردن سبب افزایش جرم حجمی

نگهداری آب بین منابع مختلف الیاف نشان نداد اما ساختار الیاف آن را نشان داد.

حل پذیری: معنی‌داری بین قابلیت حل پذیری منابع مختلف وجود دارد ($P < 0.05$). کمترین مقدار حل پذیری مربوط به باگاس نیشکر و بیشترین آن مربوط به علوفه یونجه بود. سینگ و نارنگ (۲۸) گزارش کردند که علوفه‌های لگومی دارای حل پذیری بیشتری از علوفه‌های غیر لگومی هستند. همچنین گیگر-ریوردین (۱۰) بیشترین مقدار حل پذیری را در یونجه مشاهده کرد که با داده‌های این آزمایش مطابقت دارد. همچنین ملاحظه می‌شود که بخار دادن سبب افزایش معنی‌داری در مقدار ماده خشک قابل حل پیت عمل‌آوری نسبت به نوع خام آن شده است که بیشتر آن مربوط به ماده آلی قابل حل است (جدول ۳). در جدول ۱ نشان داده شده است که بخار دادن سبب افزایش مقدار قند محلول و کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی شده است که این با داده‌های جدول ۳ مطابقت دارد؛ به عبارت دیگر ماده آلی محلول در اثر بخار دادن افزایش یافته است. از طرفی چاجی و ناصریان (۴) در حین مطالعه تجزیه پذیری پیت خام و عمل‌آوری شده با کیسه‌های نایلونی افزایش معنی‌دار بخش محلول را در زمان صفر نشان دادند. حل پذیری ممکن است برآوردی از قابلیت دسترسی مواد مغذی باشد، اما بعضی از مواد محلول مثل محصولات واکنش میلارد، تانن محلول و دیگر مواد فنولیک، ممکن است قابل هضم نباشند (۳۱)، بنابراین توسط باکتری‌های شکمبه استفاده نمی‌شوند.

ارتباط قابلیت حل پذیری ماده خوراکی با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی، همی سلولز و لیگنین: ارتباط بین قابلیت حل پذیری ماده خوراکی با اجزاء دیواره سلولی همبستگی بالایی نشان نداد (r^2 برای الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، همی سلولز و لیگنین به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۶، ۰/۰۱ و ۰/۰۲ بود). با این حال بین قابلیت حل پذیری و دیواره سلولی ارتباط منفی وجود دارد که با نتایج گیگر-ریوردین (۱۰) مطابقت دارد اما نتایج آزمایش حاضر و گیگر-ریوردین با نتایج سینگ و نارنگ (۲۸) متفاوت است. سینگ و نارنگ (۲۸) همبستگی منفی معنی‌داری را بین حل پذیری و دیواره سلولی ($r^2 = 0.75$) گزارش کردند. نتایج آزمایش حاضر در مورد ارتباط بین دیواره سلولی با حل پذیری در مورد پیت و باگاس نیشکر و نیز گاه برنج و تا حدودی سایر مواد با مشاهدات سینگ و نارنگ (۲۸) مطابقت دارد. اما در مورد یونجه کاملاً این تعادل و همبستگی از بین می‌رود. زیرا علی‌رغم الیاف بالا، حل پذیری بالایی نیز دارد. بنابراین هنگامی که یونجه در حین محاسبه ارتباط بین همبستگی حل پذیری با NDF حذف شد معادله زیر حاصل شد:

$$(7) \text{ حل پذیری} = 34.421 - 3.8184 \times \text{NDF} \quad (r^2 = 0.45, n = 32, \text{RMSE} = 6.6)$$

است دارای اثر بیشتری در پرکنندگی شکمبه نسبت به خوراک‌های با جرم حجمی توده‌ای بالاتر باشند (۱۰ و ۲۸).

ظرفیت نگهداری آب: اختلاف معنی‌داری بین مواد الیافی مشاهده شد. بیشترین مقدار آن مربوط به باگاس و کمترین آن مربوط به سبوس (به ترتیب ۴/۵۲ و ۱/۹۱ میلی‌لیتر بر گرم) بود. استفاده از بخار آب تحت فشار برای عمل‌آوری پیت منجر به کاهش در مقدار ظرفیت نگهداری آب شد ($P > 0.05$). در آزمایش کاسترو (۳) تیمار بخار اثر اندکی بر ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های گندم عمل‌آوری شده با بخار داشت که مطابق با نتایج آزمایش حاضر است. همچنین از نظر ظرفیت نگهداری آب، اختلاف معنی‌داری بین پیت نیشکر خام و عمل‌آوری شده با باگاس آن وجود دارد که علت آن کاهش تعداد، اندازه منافذ و کیسه‌های هوایی بین ذرات و ماتریکس الیاف است که با عمل‌آوری یا پوسته کنی از باگاس حاصل می‌شود (۳). سوآن و همکاران (۲۷) گزارش کردند خوراک‌های با ظرفیت بالای نگهداری آب عمدتاً دارای جرم حجمی توده‌ای پایینی هستند. این ممکن است به این دلیل باشد که خوراک‌های دارای جرم حجمی توده‌ای کم، دارای فضای خالی بیشتری در بین ماتریکس دیواره سلولی هستند و این فضا یا کیسه‌های هوایی می‌توانند آب را زمانی که زیاد وجود دارد (مانند شرایط شکمبه) در خود نگه دارد، هم چنین معمولاً این خوراک‌ها دارای اثر پرکنندگی بالایی هستند و نرخ عبورشان از شکمبه پایین است (۲۵).

ارتباط بین ظرفیت نگهداری آب با ترکیبات دیواره سلولی:

تجزیه رگرسیون خطی نشان داد که ظرفیت نگهداری آب دارای ارتباط مثبتی با اجزاء دیواره سلولی به ویژه لیگنین است. با افزایش مقدار ترکیبات دیواره سلولی مقدار ظرفیت نگهداری آب نیز افزایش یافته است. بیشترین مقدار همبستگی مربوط به لیگنین و کمترین آن مربوط به همی سلولز بود (r^2 برای الیاف نامحلول در شوینده خنثی، اسیدی، همی سلولز و لیگنین به ترتیب برابر ۰/۰۸، ۰/۰۶، ۰/۰۱ و ۰/۱۱ بود). در خوراک‌های الیافی همی سلولز و لیگنین عوامل مهم تاثیرگذار بر ظرفیت نگهداری آب می‌باشند (۳۱). گیگر-ریوردین (۱۰) نشان دادند که ظرفیت نگهداری آب دارای ارتباط زیادی با ترکیبات دیواره سلولی است ($r^2 = 0.45$ برای NDF). علت تفاوت در ضریب همبستگی گیگر-ریوردین با آزمایش حاضر (به ترتیب $r^2 = 0.45$ در برابر $r^2 = 0.08$) شاید این باشد که در آزمایش حاضر همه مواد خوراکی مورد استفاده مواد خشبی علوفه‌ای و غیر علوفه‌ای بود که ترکیبات دیواره سلولی آن‌ها به یکدیگر نزدیک است، اما در آزمایش گیگر-ریوردین مواد از نظر کمیت و کیفیت دیواره سلولی بسیار متفاوت بودند؛ زیرا در آن آزمایش مواد دانه‌ای و کنسانتره‌ای مثل دانه غلات و مواد علوفه‌ای و الیافی مانند یونجه و ساقه ذرت وجود داشت. از طرفی روبرتسون و ایست وود (۲۵) نشان دادند اختلاف در ظرفیت نگهداری آب مواد علوفه‌ای احتمالاً بیشتر وابسته به ساختار الیاف است تا ترکیب شیمیایی، زیرا تجزیه شیمیایی، اختلافی در ظرفیت

جدول ۱ - ترکیب شیمیایی مواد خوراکی الیافی مورد استفاده در آزمایش
ترکیب شیمیایی (درصد ماده خشک)

ماده خوراکی	ماده خشک	ADF	NDF	لیگنین ^۲	سلولز ^۱	همی سلولز ^۱	نسبت همی سلولز به سلولز	پروتئین خام	خاکستر خام	چربی خام	قند محلول (میلی گرم در گرم)	ماده خوراکی
پیت خام	۹۶/۰۰	۵۳/۵ ^b	۷۷/۰ ^b	۹/۹ ^{ab}	۳۳/۵ ^{ab}	۲۳/۵ ^a	۰/۵۴ ^c	۲/۱ ^c	۱۱/۰ ^b	۱/۵ ^b	۲۰ ^b	پیت عمل‌آوری شده
پیت عمل‌آوری شده	۹۵/۵۷	۵۰/۵ ^b	۵۵/۰ ^c	۶/۰ ^c	۳۴/۵ ^{ab}	۴/۵ ^c	۰/۱۰ ^d	۲/۳ ^c	۱۳/۰ ^b	۱/۵ ^b	۱۳۳/۷۵ ^a	باگاس
کاه برنج	۹۵/۰۰	۵۸/۳ ^a	۹۰/۴ ^a	۱۰/۹ ^a	۴۷/۳ ^a	۳۲/۳ ^a	۰/۶۹ ^c	۲/۰ ^c	۱۳/۰ ^b	۱/۴ ^b	-	کاه گندم
کاه گندم	۹۶/۰۰	۳۳/۴ ^d	۵۷/۵ ^c	۴/۳ ^c	۲۹/۱ ^a	۲۴/۱ ^a	۰/۸۳ ^b	۵/۳ ^b	۱۶/۹ ^a	-	-	کاه جو
کاه جو	۹۴/۰۰	۴۹/۴ ^b	۷۳/۰ ^b	۸/۸ ^{ab}	۴۰/۶ ^b	۳۳/۶ ^a	۰/۵۸ ^c	۲/۶ ^a	۸/۷ ^{bc}	۱/۶ ^b	-	یونجه
یونجه	۹۴/۵۰	۴۹/۰ ^b	۶۸/۰ ^b	۸/۵ ^{ab}	۴۰/۵ ^b	۱۹/۰ ^b	۰/۴۵ ^c	۲/۷ ^c	۷/۴ ^{bc}	۱/۹ ^b	-	سیوس
سیوس	۹۳/۵۰	۳۹/۰ ^c	۴۶/۰ ^d	۷/۳ ^{bc}	۳۱/۴ ^c	۷/۰ ^c	۰/۳۳ ^d	۱۸/۵ ^a	۱۰/۰ ^b	۲/۶ ^b	-	خطای استاندارد میانگین
خطای استاندارد میانگین	۹۰/۰۰	۱۴/۳ ^d	۴۱/۳ ^d	۲/۸ ^d	۱۱/۴ ^d	۲۶/۹ ^a	۲/۳۶ ^a	۱۸/۱ ^a	۶/۳ ^c	۴/۳ ^a	-	احتمال معنی داری
احتمال معنی داری	۹/۶۹	۲/۰ ^۲	۸/۰ ^۸	۱/۲۵	۳/۲۰	۴/۷۰	۰/۱۲	۶/۰ ^۴	۱/۷۶	۰/۷۰	۴۰/۲۸	NS
	NS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

۱. از روش تقاضا محاسبه شده است؛ اعدادی که در یک ستون دارای حروف متفاوتی هستند اختلاف معنی داری با هم دارند؛ * (P < ۰/۰۵)؛ - : اندازه گیری نشده است.

جدول ۲- تعیین جرم حجمی توده‌ای و ظرفیت نگهداری آب در تعدادی از مواد خوراکی

ویژگی‌های فیزیکی			ماده خوراکی
ظرفیت نگهداری آب (میلی لیتر بر گرم)	جرم حجمی توده ای ۱۰۰ (میلی گرم بر میلی لیتر)	جرم حجمی توده ای ۵۰ (میلی گرم بر میلی لیتر)	
۲/۴۴ ^c	۰/۲۰۰ ^c	۰/۲۱۰ ^c	پیت خام
۲/۰۹ ^{dc}	۰/۲۹۵ ^b	۰/۳۰۶ ^b	پیت عمل‌آوری شده
۴/۵۳ ^a	۰/۱۹۰ ^c	۰/۲۱۰ ^c	باگاس
۲/۲۳ ^b	۰/۳۰۵ ^b	۰/۳۱۵ ^b	کاه برنج
۲/۰۶ ^{dc}	۰/۱۹۵ ^c	۰/۱۹۵ ^c	کاه گندم
۲/۴۵ ^c	۰/۲۳۰ ^c	۰/۲۴۰ ^c	کاه جو
۳/۷۳ ^b	۰/۳۲۰ ^b	۰/۳۳۵ ^b	یونجه
۱/۹۱ ^d	۰/۳۸۵ ^a	۰/۴۰۰ ^a	سبوس
۰/۱۵۱	۰/۰۴۰	۰/۰۴۳	خطای استاندارد میانگین
*	*	*	احتمال معنی‌داری
-	۰/۲۹۶	۰/۳۰۴	ضریب تغییرات

*- اعدادی که در یک ستون دارای حروف متفاوتی هستند اختلاف معنی‌داری با هم دارند ($P < 0.05$)

و عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار (جدول ۴) نشان می‌دهد که بخار دادن سبب افزایش معنی‌داری در جرم حجمی لحظه‌ای شده است (۰/۳۱۵) در برابر ۰/۵۷۰ گرم بر میلی لیتر). اثر مثبت بخار بر پتانسیل جرم حجمی لحظه‌ای در کاه گندم توسط کاسترو (۳) گزارش شده است که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. اهمیت افزایش جرم حجمی لحظه‌ای مواد خوراکی و در آزمایش حاضر پیت نیشکر با اعمال بخار تحت فشار، در این است که جرم حجمی ذرات، فاکتور مهمی برای سرعت خروج و یا مدت زمان ماندگاری ذرات در شکمبه و در نتیجه پتانسیل هضم پذیری آن‌ها می‌باشد. اگرچه کاهش اندازه ذرات پیش‌نیازی برای عبور است، اما جرم حجمی ذرات نیز عامل مهمی است که خروج از شکمبه و نگاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نشان داده شده که ذرات با جرم حجمی ۱/۴ تا ۱/۲ گرم بر میلی لیتر فرصت بیشتری برای ترک شکمبه و نگاری نسبت به ذرات با جرم حجمی کمتر در گاو (۷ و ۸) گوسفند (۱۸) و بز (۱۵) دارند. در گوسفند سرعت عبور ذرات بیشتر تحت تاثیر جرم حجمی ذرات است تا اندازه ذرات (۵۸) در برابر ۲۹ درصد (۱۳). با این حال جرم حجمی پیت عمل‌آوری شده هنوز کمتر از مقداری است که در دامنه بیشترین (۱/۴) تا ۱/۲ گرم بر میلی لیتر) سرعت عبور قرار بگیرد. این پایین بودن ممکن است از یک طرف با تأثیری که بر کاهش سرعت عبور دارد منجر به افزایش پتانسیل هضم آن شود و از طرف دیگر با حضور طولانی در شکمبه منجر به کاهش مصرف خوراک شود. در جدول ۵ که روند آبیگری و افزایش جرم حجمی لحظه‌ای در طول زمان نشان داده شده است، به طور میانگین حدود ۱۵ ساعت وقت لازم است تا جرم حجمی توده‌ای لحظه‌ای پیت عمل‌آوری شده به حدود ۰/۹ گرم در میلی لیتر برسد، از طرف دیگر در مورد سبوس گندم (جدول ۴)

ضریب رگرسیون حاصل بسیار بزرگ‌تر (۶/۵ برابر) از قبلی است ($r^2 = 0.7$ و $r^2 = 0.45$). از این رو یکی از علل احتمالی اختلاف بین مشاهدات سینگ و نارنگ (۲۸) با گیگر-ریوردین (۱۰) و آزمایش حاضر نوع مواد خوراکی باشد.

ارتباط قابلیت حل پذیری ماده خوراکی با خاکستر خوراک و خاکستر محلول: بررسی قابلیت حل پذیری ماده خوراکی با خاکستر خوراک و خاکستر محلول نشان می‌دهد، ماده خشک قابل حل همبستگی مثبت با مقدار خاکستر محلول و منفی با کل خاکستر خوراک دارد، این طبیعی است که با افزایش یک بخش محلول ماده قابل حل نیز زیاد شود. از طرفی با توجه به این که درصد بیشتری از خاکستر خوراک نامحلول است (جدول ۳) بنابراین ارتباط منفی نیز مورد انتظار است. نتایج این بخش مشاهدات گیگر-ریوردین (۱۰) و سینگ و نارنگ (۲۸) را تایید می‌کند.

$$r^2 = 0.2048, n = 32, \text{ حل پذیری} = -40.631 - 1/9346 \times \text{خاکستر} \\ \text{RMSE} = 10.494 \quad (8)$$

$$\text{حل پذیری} = -1/7592 - 4/9576 \times \text{کل خاکستر محلول} \\ r^2 = 0.5321, n = 32, \text{RMSE} = 8.0493 \quad (9)$$

ارتباط قابلیت حل پذیری ماده آلی با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و شوینده اسیدی، همی سلولز و لیگنین: مطالعه ارتباط بین قابلیت حل‌پذیری ماده آلی با ترکیبات دیواره سلولی رابطه قابل توجهی نشان نداد (r^2 برای الیاف نامحلول در شوینده اسیدی خنثی، همی سلولز و لیگنین به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۴، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ بود). اما با خاکستر خوراک ($r^2 = 0.25$) و خاکستر محلول خوراک ($r^2 = 0.42$) دارای ارتباط بیشتری بود.

جرم حجمی لحظه‌ای: مقایسه جرم حجمی لحظه‌ای پیت خام

جدول ۳- حل پذیری مواد خوراکی الیافی (درصد)^۱

خطای احتمال معنی دار شدن	میانگین	ماده خوراکی الیافی							ویژگی های فیزیکی	
		سیوس	یونجه	کاه جو	کاه گندم	کاه برنج	باگاس	پیت عمل آوری شده		پیت خام
*	۰/۳۵	۳۱/۰۰ ^b	۴۱/۶۰ ^a	۳۳/۸۰ ^c	۳۲/۹۰ ^c	۱۸/۵۰ ^d	۷/۰۰ ^f	۱۲/۸۵ ^e	۸/۲۰ ^f	حل پذیری ماده خشک
*	۰/۳۵	۶۹/۰۰ ^c	۵۸/۴۰ ^f	۷۶/۲۰ ^d	۷۷/۱۰ ^d	۸۱/۵۰ ^c	۹۳/۰۰ ^a	۸۷/۱۵ ^b	۹۱/۱۸ ^a	ماده خشک نا محلول
*	۰/۳۳	۶/۴۵ ^g	۹/۹۸ ^{de}	۷/۵۵ ^f	۸/۹۹ ^e	۱۵/۱۶ ^{ab}	۱۱/۴ ^{bc}	۱۲/۰۰ ^b	۱۰/۷۵ ^{de}	خاکستر ماده خوراکی
*	۰/۱۸	۲/۶۳ ^c	۴/۰۵ ^e	۳/۳۰ ^d	۴/۰۰ ^c	۹/۵۰ ^b	۸/۹۰ ^b	۱۰/۴۰ ^{ab}	۸/۹۰ ^b	خاکستر پس از خیساندن
*	۰/۳۶	۳/۸۳ ^b	۵/۹۳ ^{ab}	۴/۲۵ ^b	۴/۹۹ ^{ab}	۵/۶۶ ^{ab}	۲/۵۰ ^c	۱/۶۰ ^c	۱/۸۵ ^e	کل خاکستر محلول
*	۲/۴۹	۵۸/۹۱ ^a	۵۹/۲۶ ^{ab}	۵۶/۲۸ ^{ab}	۵۵/۵۵ ^{ab}	۳۷/۳۵ ^b	۳۱/۹۳ ^c	۱۳/۳۳ ^{cd}	۱۷/۲۰ ^{de}	خاکستر محلول به ازای خاکستر خوراک
*	۰/۳۳	۹۳/۵۵ ^{cd}	۹۰/۰۳ ^{cd}	۹۷/۴۵ ^b	۹۱/۰۰ ^c	۸۴/۸۳ ^{cd}	۸۸/۶۰ ^{cd}	۸۸/۰۰ ^f	۸۹/۳۵ ^{de}	ماده آلی
*	۰/۴۸	۶۶/۳۷ ^d	۵۴/۳۵ ^e	۷۲/۹۰ ^c	۷۳/۱۰ ^c	۷۲/۰۰ ^c	۸۴/۱۰ ^a	۷۶/۷۵ ^b	۸۲/۹۰ ^a	ماده آلی پس از خیساندن
*	۰/۵۹	۳۷/۱۷ ^b	۳۵/۶۳ ^d	۱۹/۵۵ ^e	۱۷/۹۰ ^c	۱۲/۸۳ ^d	۴/۵۰ ^e	۱۱/۲۵ ^d	۶/۳۵ ^e	کل ماده آلی محلول ماده خوراکی
*	۰/۵۹	۳۹/۰۴ ^b	۳۹/۶۱ ^{ab}	۲۱/۱۴ ^c	۱۹/۶۴ ^c	۱۵/۱۳ ^d	۵/۰۸ ^g	۱۲/۷۸ ^c	۷/۱۱ ^f	ماده آلی محلول به ازای ماده آلی خوراک

NS: اختلاف از نظر آماری معنی دار نمی باشد* (P<۰/۰۵)
 اختلاف از نظر آماری معنی دارند (P<۰/۰۵)

جرم حجمی آن (۱/۴۰ گرم در میلی لیتر) در همان آغاز به اندازه‌های است که بیشترین سرعت خروج و کمترین زمان ماندگاری در شکمبه را دارد و طبق جدول ۵ اگر به مدت ۱۵ تا ۲۰ ساعت در شکمبه بماند جرم حجمی آن به قدری سنگین می‌شود که ماندگاری آن به سبب رسوب افزایش می‌یابد. کاسکه و انگل هاردت (۱۳) نشان دادند که ذرات با طول ۱ میلی متر و جرم حجمی ۱/۴۴ گرم در میلی لیتر، شکمبه و نگاری را ۲/۶ برابر زودتر از ذرات با همان اندازه اما جرم حجمی ۰/۹۲ و ۱/۰۳ گرم بر میلی لیتر ترک می‌کنند. در مورد یونجه و کاه برنج و غیره نیز بحث مشابهی وجود دارد. اما به نظر می‌رسد اگرچه در روشهای اندازه گیری جرم حجمی لحظه‌ای سعی می‌شود تا حد امکان تقلیدی از شرایط حاکم بر شکمبه اعمال شود (مانند دمای ۳۷-۳۹ درجه، استفاده از بافر مکداووال و یا مایع شکمبه به عنوان مایع آبیگری)؛ با این حال، شرایط شکمبه از نظر وجود تخمیر، نشخوار، انقباضات عضلات، عبور مواد، تبادلات یونی حضور سایر مواد و اثر متقابل آنها و حتی تفاوت های بین گونه‌ای ممکن است سبب شود مواد خوراکی از نظر تغییر جرم حجمی و شاید سایر ویژگی‌های فیزیکی رفتار متفاوتی ارائه دهند (۱۴).

جرم حجمی لحظه‌ای مواد الیافی در طی زمان آبیگری:

تعبیر و افزایش در جرم حجمی لحظه‌ای در طول زمان آبیگری در اثر پرفشار شدن خلل و فرج و کیسه‌های هوایی موجود در ذرات غذایی با آب یا مایع آبیگری است (۱۲، ۳۲ و ۳۳). بعضی از مواد خوراکی در ابتدا دارای جرم حجمی بالایی هستند، اما روند آبیگری کندتری نسبت به سایر مواد دارند. برای نمونه، مقایسه پیت عمل‌آوری شده با باگاس نشان می‌دهد که باگاس در طی زمان آبیگری روند کندتری نسبت به پیت خام دارد (جدول ۵)، همچنین در مورد برخی از مواد، ظرفیت گرفتن آب تقریباً از زمان ۴۸ تا ۶۰ ساعت به حد اشباع رسیده و جرم حجمی لحظه‌ای ثابت شده است اما در مورد پیت و باگاس نیشکر و یونجه هنوز کاملاً اشباع نشده و آبیگری ادامه دارد، که شاید بتوان آن را به همبستگی منفی بین جرم حجمی لحظه‌ای و محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیگنین مواد خوراکی نسبت داد (۲۸). سینگ و نارنگ (۲۸) همبستگی منفی معنی‌داری (r²=۰/۷۵) میان جرم حجمی لحظه‌ای مواد علوفه‌ای با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و الیاف خام گزارش کردند. در آزمایش حاضر نیز همبستگی منفی معنی‌داری میان جرم حجمی لحظه‌ای با NDF (r²=۰/۵۷) و لیگنین (r²=۰/۶۶) بدست آمد:

جدول ۴- جرم حجمی لحظه‌ای مواد خوراکی الیافی

میانگین جرم حجمی لحظه‌ای			ماده خوراکی
پس از ۹۶ ساعت آبیگری	میانگین آبیگری در زمان‌های مختلف	پس از ۱ ساعت آبیگری	
۰/۵۸۴	۰/۴۰۳ ^a	۰/۳۱۵ ^a	پیت خام
۱/۳۸۰	۰/۸۴۶ ^b	۰/۵۷۰ ^b	پیت عمل‌آوری شده
۱/۱۰۰	۰/۷۷۵ ^c	۰/۵۷۳ ^b	باگاس
۱/۵۱۵	۱/۴۰۹ ^c	۱/۰۹۵ ^c	کاه برنج
۱/۳۸۵	۰/۹۸۵ ^{b,c}	۰/۸۲۱ ^d	یونجه
۱/۹۴۰	۱/۷۰۵ ^d	۱/۴۳ ^e	سوس
۱/۲۱۵	۱/۰۰ ^c	۰/۸۴۴ ^d	کاه گندم
۱/۲۵۹	۱/۰۹۷ ^e	۰/۹۸۴ ^c	کاه جو
۰/۱۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	خطای استاندارد میانگین
*	*	*	احتمال معنی‌داری

*- اعدادی که در یک ستون دارای حروف متفاوتی هستند اختلاف معنی‌داری با هم دارند؛ (P<۰/۰۵)

این حقیقت که ویژگی‌های فیزیکی خوراک به طور منفی تحت تاثیر عمل‌آوری با بخار قرار نگیرد نشان می‌دهد که بخار دادن الیاف هنوز می‌تواند عملکرد طبیعی خود را در تنظیم ضریب انباشتگی شیرابه شکمبه به نمایش بگذارد و سبب بهبود تجزیه شکمبه‌ای به سبب تاثیر بر روند حرکت فاز جامد و مایع شکمبه، حرکات شکمبه و ترشح بزاق باشد زیرا ویژگی‌های فیزیکی مواد خوراکی تعیین کننده نحوه تخمیر در شکمبه، فعالیت جوییدن و نشخوار حیوان و مقدار درصد چربی شیر و لذا سلامتی حیوان می‌باشد. با توجه به اهمیت این ویژگی‌ها در بحث تغذیه و سلامت دام و توجه به این نکته که این ویژگی‌ها ممکن است در دستگاه گوارش رفتار متفاوتی را نشان بدهند انجام آزمایشات بر روی دام و استفاده از نتایج حاصل از آن مفید خواهد بود.

(۱۰) جرم حجمی لحظه‌ای = $1/911 - 1/772 \times$ الیاف نا محلول در شوینده خنثی ($r^2 = 0.57, n = 32, RSME = 0.276$)
 (۱۱) جرم حجمی لحظه‌ای = $1/634 - 1/41 \times$ لیگنین ($r^2 = 0.66, n = 32, RSME = 0.243$)
 مشاهده می‌شود که همبستگی بین جرم حجمی لحظه‌ای با لیگنین بیشتر است. با افزایش مقدار دیواره سلولی جرم حجمی لحظه‌ای مواد الیافی کاهش می‌یابد. همانطور که قبلاً اشاره شد دلیل احتمالی آن زیاد تر بودن منافذ در مواد الیافی تر است.

نتیجه‌گیری

عمل‌آوری با بخار تحت فشار سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پیت نیشکر شد و تاثیر منفی بر این ویژگی‌ها ملاحظه نشد.

جدول ۵- جرم حجمی لحظه ای مواد الیافی در طی زمان آگیری

خطای استاندارد میانگین	زمان آگیری (ساعت) †												ماده خوراکی	
	۹۶	۷۲	۶۰	۴۸	۲۴	۱۲	۶	۴	۲	۱/۵	۱	۰/۵		۰
-/۰.۱۱	۰/۵۸۴ ^{ab}	۰/۵۶۴ ^{ab}	۰/۵۳۰ ^a	۰/۴۸۷ ^b	۰/۴۳۴ ^c	۰/۳۸۶ ^d	۰/۳۳۴ ^e	۰/۳۳۴ ^f	۰/۳۳۷ ^{ef}	۰/۳۲۳ ^{ef}	۰/۳۱۵ ^g	۰/۲۹۱ ^h	۰/۲۸۹ ^h	پیت خام
-/۰.۵۱	۱/۳۸۰ ^a	۱/۳۲۸ ^a	۱/۱۸۸ ^b	۱/۰۴۵ ^{bc}	۰/۹۵۹ ^c	۰/۸۳۹ ^d	۰/۸۰۳ ^d	۰/۶۵۳ ^e	۰/۶۴۴ ^e	۰/۶۰۷ ^{fg}	۰/۵۷۰ ^{fg}	۰/۵۱۷ ^{gh}	۰/۴۶۴ ^h	پیت عمل‌آوری شده
-/۰.۸۶	۱/۱	۱/۰۵	۱/۰۴	۰/۹۷۷	۰/۹۳۱	۰/۷۵۹	۰/۷۲۶	۰/۶۲۸	۰/۵۸۵	۰/۵۸۲	۰/۵۲۲	۰/۵۷۲	۰/۵۵۹	باگاس
-/۰.۴۶	۱/۵۱۵	۱/۵۱۵	۱/۵۱۵	۱/۵۱۵	۱/۴۸۵	۱/۳۷۶	۱/۳۰۰	۱/۲۰۴	۱/۱۵۸	۱/۱۲۷	۱/۰۹۵	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	کاه برنج
-/۰.۶۷	۱/۲۱۵	۱/۲۱۷	۱/۱۸	۱/۰۹۲	۱/۰۸۳	۱/۰۶۲	۱/۰۰۳	۰/۹۳۲	۰/۹۰۷	۰/۸۷۵	۰/۸۴۴	۰/۸۱۲	۰/۷۸۰	کاه گندم
-/۰.۴۸	۱/۴۵۹	۱/۴۵۸	۱/۲۶۰	۱/۲۵۷	۱/۲۵۷	۱/۱۴۰	۱/۰۴۶	۱/۰۲۳	۰/۹۸۷	۰/۹۸۴	۰/۹۸۴	۰/۹۱۲	۰/۹۰۱	کاه جو
-/۰.۵۰	۱/۳۸۵	۱/۳۴۱	۱/۲۶۴	۱/۲۱۵	۱/۱۳۵	۰/۹۵۷	۰/۹۱۱	۰/۸۸۰	۰/۸۶۳	۰/۸۴۳	۰/۸۲۱	۰/۸۱۳	۰/۷۵۵	یونجه
-/۰.۸۳	۱/۹۴	۱/۹۴	۱/۹۵	۱/۸۲۶	۱/۷۸	۱/۵۹۳	۱/۵۲۸	۱/۵۲۸	۱/۴۷۲	۱/۴۳۶	۱/۴۳۶	۱/۴۳۶	۱/۳۷۱	سیوس
*	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۹۵	۰/۰۷۵	۰/۰۶۶	۰/۰۴۷	۰/۰۵۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	خطای استاندارد میانگین
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	احتمال معنی دار شدن*

اعدادی که در یک ردیف دارای حروف متفاوتی هستند اختلاف معنی داری با هم دارند ($P < 0.05$)
 †: مقایسه تنها بین ارقام موجود در ردیف ۱ و ۲ است؛ از آنجایی که محور بحث مقاله بر روی عمل‌آوری با بخار است، از طرفی گذاشتن حروف برای مقایسات ستون‌ها و ردیف‌ها سبب ازدحام جدول می‌شود تنها روند آگیری پیت خام و عمل‌آوری شده مقایسه شده است.

- 1- Allen, M. S. and D. R. Mertens. 1988. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. J. Nutr. 118: 261-270.
- 2- Castro, F. B., and P. F. Machado. 1990. Feeding value of steam sugar cane bagasse in ruminant ration. Lives. research for rural development 2:no 1
- 3- Castro, F. B. 1994. The use of steam treatment to upgrade lignocellulosic materials for animal feed. Ph.D. Thesis, University of Aberdeen, UK.
- 4- Chaji, M., and A. A. Naserian. 2006. Chemical composition and in situ dry matter degradability of Sugar cane pith treated with steam at high pressures. Proc. Br. Soci. Anim. Sci.
- 5- Cowling, E. B. and T. K. Kirk. 1976. Properties of cellulose and lignocellulosic materials as substrates for enzymatic conversion processes. Biotechnol. Bioeng. Symp. 6:95-123.
- 6- Dubios, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric methods for determination of sugars and related substance. Anal. Chem. 28:350- 356.
- 7- Ehle, F. R. 1984. Influence of feed particle density on particulate passage from the rumen of Holstein cows. J. Dairy Sci. 67:693-697.
- 8- Ehle, F. R. and M. D. Stern. 1986. Influence of particle size and density on particulate passage through alimentary tract of Holstein heifers. J. Dairy Sci. 69:564- 568.
- 9- Evans, E. W., G. R. Pearce, J. Burnett, and S. L. Pillinger. 1973. Changes in some physical characteristics of the digesta in the reticulorumen of cows fed once daily. Br. J. Nutr. 29:357-376.
- 10- Giger-Reverdin, S. 2000. Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. Anim. Feed. Sci. Technol. 86: 53-69
- 11- Grethlein, H. E., D. C. Allen, and A. O. Converse. 1984. A comparative study of the enzymatic hydrolysis of acid-pretreated white pine and mixed hardwood. Biotechnol. Bioeng. 26:1498-1505.
- 12- Hooper, A. P., and J. G. Welch. 1985. Effects of particle size and forage composition on functional specific gravity. J. Dairy Sci. 68:1181-1188.
- 13- Kaske, M., and W. v. Engelhardt. 1990. The effect of size and density on mean retention time of particles in the gastrointestinal tract of sheep. Br. J. Nutr. 63:457-465.
- 14- Kaske, M., S. Hatiboglu, and W. V. Engelhardt. 1992. The influence of density and size of particles on rumination and passage from the reticulo-rumen of sheep. Br. J. Nutr. 67:235-244
- 15- Katoh, K., F. Sato, A. Yamazaki, Y. Sasaki, and T. Tsuda. 1988. Passage of indigestible particles of various specific gravities in sheep and goats. Br. J. Nutr. 60:683-687.
- 16- Kling, S. H., C. Carvalho-Neto, M. A. Ferrara, J. C. R. Torres, D. B. Magalhaes, and D. D. Y. Ryu. 1987. Enhancement of enzymatic hydrolysis of sugar cane bagasse by steam explosion treatment. Biotechnol. Bioeng. 29:1035-1039.
- 17- Laredo, M. A., and D. J. Minson. 1973. The voluntary intake, digestibility, and retention time by sheep of leaf and stem fractions of five grasses. Aust. J. Agric. Res., 24:875-
- 18- Lindberg, J. E. 1985. Retention time of chromium-labelled feed particles and of water in the gut of sheep given hay and concentrate at maintenance. Br. J. Nutr. 53:559-567.
- 19- Liu, J. X., E. R. Orskov, and X. B. chen. 1999. Optimization of steam as method for upgrading rice straw as feeds. J. Anim. Feed Sci. technol. 76:345-35.
- 20- Liu, J. X., and E. R. Orskov. 2000. Cellulase treatment of untreated and steam pre-treated rice straw effect on *in vitro* fermentation characteristic. J. Anim. Feed Sci. technol. 88:189-200.
- 21- Montgomery, M. J., and B. R. Baumgardt. 1965. Prediction of nutrient composition and *in vitro* dry matter digestibility from physical characteristics of forages. J. Dairy Sci. 48:1623-1628
- 22- Morjanoff, P. J. and P. P. Gray. 1987. Optimization of steam explosion as a method for increasing susceptibility of sugarcane bagasse to enzymatic saccharification. Biotechnol. Bioeng. 29: 733-741.
- 23- Murphy, M. R., P. M. Kennedy, and J. G. Welch. 1989. Passage and rumination of inert particles varying in size and specific gravity as determined from analysis of faecal appearance using multi-compartment models. Br. J. Nutr. 62: 481-.
- 24- Pate, F. M. 1982. Value of treating Bagasse with Steam under Pressure for Cattle Feed. Trop. Agric. 59:293-
- 25- Robertson, J. A., and M. A. Eastwood. 1981. An investigation of the experimental conditions which could affect water holding capacity of dietary fiber. J. Sci. Food Agric. 32: 819-825.
- 26- SAS Users Guide: Statistics. 1999. Version 8.2. SAS Inst. Inc., Cary, NC
- 27- Seoane, J. R., M. Cote, M. and S. A. Visser. 1982. The relationship between voluntary intake and the physical properties of and forages. Can. J. Anim. Sci. 62:473-
- 28- Singh, B., M. P. Narang. 1991. Some physico-chemical characteristics of forages and their relationships to digestibility. Indian J. Anim. Nutr. 8:179-186.
- 29- Toussaint, B., G. Excofier, and M. R. Vignon. 1991. Effect of steam explosion treatment on the physico-chemical

- characteristics and enzymic hydrolysis of poplar cell wall components. *Anim. Feed Sci. Technol.* 32:235-242
- 30- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- 31- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant, 2th edition. Comestock publishing associates, Cornell University press, Ithaca and London
- 32- Wattiaux, M. A., L. D. Satter and D. R. Merens. 1992. Kinetic of hydration and effect of liquid uptake on specific gravity of small hay and silage particles. *J. Anim. Sci.*75:3597-.
- 33- Wattiaux, M. A., L. D. Satter and D. R. Merens. 1993. Factors affecting volume and specific gravity measurements of NDF and forage particles. *J. Anim. Sci.*76:1978.
- 34- Wong You Cheong, Y., J. T., d'Espaignet, P. J. Deville, R. Sansoucy and T. R. Preston. 1974. The effect of steam treatment on sugar-cane bagasse in relation to its digestibility and furfural production. Proceedings of the 15th congress of ISSCT (South Africa)