# بررسی یکنواختی جیره‌های کاملا مخلوط در دستگاه خوراک‌ساز دام

محمدعلی به‌آئین [۱،*]، عبدالحمید کریمی [۲]

۱. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (Email: ali_behaeen@yahoo.com)

۲. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (ab_karimi2003@yahoo.com)

## چکیده

برای افزایش تولید در صنعت دام و طیور، از جیره‌های غذایی مخلوط استفاده می‌شود. نکته مهم در تهیه این نوع خوراک دام، یکنواختی مخلوط شدن مواد و توزیع یکسان در هر راس دام است. به منظور بررسی یکنواختی مخلوط جیره غذایی در یک دستگاه خوراک‌ساز دام، اثر سه سطح دور مارپیچ ۵۰ ($R_{50}$)، ۶۰ ($R_{60}$) و ۷۰ ($R_{70}$) دور بر دقیقه، زمان مخلوط شدن خوراک دام در سه سطح ۱۵ ($T_{15}$)، ۱۸ ($T_{18}$) و ۲۱ ($T_{21}$) دقیقه در یک آزمایش فاکتوریل در قالب یک طرح کاملا تصادفی با سه تکرار با هم مقایسه شد. پارامترهای مورد بررسی شامل اندازه‌گیری خردشدن مواد مخلوط، اندازه‌گیری و محاسبه یکنواختی مواد مخلوط و بررسی جریان‌پذیری مواد مخلوط (تعیین عدد فرود) بودند. داده‌های به دست آمده به وسیله نرم‌افزار SAS تجزیه گردید. نتایج نشان داد که بیشترین میزان خردشدن مواد (کمترین میزان در میانگین هندسی قطعات) در دور مارپیچ ۷۰ دور بر دقیقه و زمان ۲۱ دقیقه (تیمار $R_{70}T_{21}$) و کمترین میزان خردشدن مواد علوفه در دور مارپیچ ۵۰ دور بر دقیقه و زمان ۱۵ دقیقه (تیمار $R_{50}T_{15}$) به دست آمد. بیشترین یکنواختی نیز در تیمار $R_{70}T_{21}$ حاصل گردید. با توجه به کاربرد زیاد دستگاه خوراک‌ساز دام در گاوداری‌ها و صرفه‌جویی در زمان تهیه جیره کاملا مخلوط، باید تیماری ارائه شود که دور محور مارپیچ آن کم و زمان کاربرد دستگاه در تهیه جیره در حد مناسبی باشد. با بررسی‌های به عمل آمده، تیمار $R_{50}T_{18}$ با انحراف معیار ۱/۳۹ سانتی‌متر طول قطعات ($S_{gm}$) و یکنواختی مواد مخلوط با ۱/۶۳ گرم ($S_d$)، قابل توصیه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** *دستگاه خوراک‌ساز دام، یکنواختی جیره غذایی، جیره‌های کاملا مخلوط.*

* نویسنده مسئول: ali_behaeen@yahoo.com

# بررسی یکنواختی جیره‌های کاملا مخلوط در دستگاه خوراک‌ساز دام

**مقدمه**

تغذیه و خوراک‌دهی مناسب به دام، باعث افزایش تولید به خصوص در دام‌های بزرگ، مانند گاو شیری می‌شود. از آن جایی که افزایش تولید نیاز به مخلوط‌کردن چند نوع علوفه و مکمل‌های گوناگون دارد، بنابراین ضروری است که مواد مورد نیاز در تهیه مخلوط جیره غذایی به طور یکنواخت در بین دام‌ها توزیع شود. به منظور مخلوط نمودن این مواد و تهیه یک جیره کاملا مخلوط[1] از دستگاه خوراک‌ساز دام[2] استفاده می‌شود. با توجه به این که موادی که در تهیه غذای دام استفاده می‌شود از نظر خواص فیزیکی با یکدیگر تفاوت دارند، لازم است که پارامترهای عملکردی این دستگاه برای تهیه یک جیره مناسب و یکنواخت بررسی گردد. عملیاتی که در دستگاه‌های مخلوط‌کننده و از جمله دستگاه خوراک‌ساز دام روی علوفه و سایر مواد غذایی مورد نیاز دام انجام می‌شود، علاوه بر تغییر اندازه، شکل و جرم مخصوص ظاهری مواد غذایی را تغییر داده و در هنگام عبور از روزنه خروجی دستگاه باعث کاهش جریان‌پذیری مخلوط یکنواخت مواد غذایی می‌شود [۱۲]. از طرفی مخلوط‌شدن یکنواخت و جریان‌پذیری مواد غذایی باید در یک تناسب قابل قبول قرار داشته و تغییر در یکی، باعث تغییرات زیاد در دیگری نشود. بنابراین نیاز است که میزان دور محور دستگاه و زمان‌های مخلوط‌شدن مورد آزمایش قرار گرفته و تیماری که هر دو هدف را تامین نماید، انتخاب شود. یاماموتو و همکاران[۱۶]. اثر جرم مخصوص ظاهری موادی که با هم مخلوط می‌شوند را روی درجه مخلوط شدن مهم دانستند. در یک آزمایش شبیه‌سازی، آن‌ها با مخلوط نمودن ذرات کروی شکل آلومینیوم و فولاد به ترتیب با جرم مخصوص ظاهری ۳۶۰۰ و ۷۹۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب، نشان دادند که با افزایش زمان تا هشت ثانیه، درجه مخلوط شدن افزایش و پس از آن تا ثانیه ۱۳ کاهش یافته و سپس از ثانیه ۱۳ به بعد، دوباره افزایش می‌یابد. اسکلزل و همکاران [۱۴] با انجام آزمایش‌هایی روی مواد جامد کروی گزارش نمودند که زمان مخلوط شدن مواد، دور تیغ‌های مخلوط کننده و زاویه تیغه‌ها، روی پراکنندگی مواد در یک مخلوط اثر داشته، به طوری که با افزایش زمان مخلوط شدن، ضریب تغییرات یکنواختی کاهش پیدا کرد. با افزایش سرعت تیغه‌ها، زاویه تیغه ۹۰ درجه، بیشترین ضریب پخش و یکنواختی مواد را ایجاد نمود. پزو و همکاران [۱۳] پارامترهای عملیاتی برای یک ترکیب مناسب مخلوط را سرعت و طراحی مارپیچ و نیز مقدار موادی که قرار است در مخزن با هم مخلوط شوند، موثر دانستند. پس از انجام آزمایش در موادی که از سیلوها به مخزن مخلوط کننده وارد می‌شد، نتایج نشان داد که با افزایش طول تیغ-های مارپیچ، کیفیت مخلوط افزایش می‌یابد. کینگستون و هیندل [۱۰] به منظور به دست آوردن مناسب‌ترین پارامترهای عملکردی یک دستگاه مخلوط‌کننده با دو مارپیچ از مخلوط بلوط و سیب زمینی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که بهترین مخلوط از مواد ذکر شده در سرعت مارپیچ ۶۰ دور بر دقیقه و نسبت بی بعد گام به قطر پیچ ۱/۷۵ به دست آمد. آیسا و همکاران [۵] بیان نمودند که هدف عملیات مخلوط کردن مواد، دستیابی به مناسب‌ترین یکنواختی است. همچنین آن‌ها بیان داشتند که عواملی مثل جرم مخصوص ظاهری، ضریب اصطکاک، کیفیت سطح و اندازه ذرات روی یکنواخت مخلوط شدن مواد اثر دارد. در نهایت برای مواد گرانولی نشان داده شد که با افزایش زمان مخلوط شدن تا ۳۰۰ ثانیه، درجه یکنواختی افزایش و سپس یکنواختی در حد ثابت باقی می‌ماند. جریان‌پذیری مواد از نکات مهمی است که در یک یا چند ماده که با هم مخلوط می‌شوند، باید در نظر گرفته شود. بورلو و همکاران [۷] رابطه بین جرم مواد و روزنه خروج در یک مخزن را بررسی نمودند. سیلاموویز و همکاران [۱۵] با انجام آزمایش‌های تکمیلی بیان داشتند که به ارتفاع مواد در مخزن نیز باید توجه داشت. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که با

1 Total mixed ration (TMR)
2 Feeder mixer equipment

افزایش ارتفاع مواد در مخزن از ۵ به ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر، نرخ جریان مواد به ترتیب از ۱۳۵/۱ به ۱۶۴/۶ و ۱۷۹/۵ سانتی‌متر مکعب در ثانیه افزایش می‌یابد. پاتریسیا و همکاران [۱۲] نشان دادند که در تهیه یک مخلوط، دور گردش مارپیچ یا تیغه مخلوط کننده، زاویه مخلوط کردن و چسبندگی مواد می‌تواند روی یکنواختی مخلوط تاثیر داشته باشد. علاوه بر این کلر [۹] نشان داد که نوع مواد تشکیل دهنده مخلوط نیز می‌تواند روی یکنواختی و جریان مواد در دستگاه از اهمیت خاصی برخوردار باشد. به منظور جریان‌پذیری موادی که با هم مخلوط می‌شوند، عددی به نام عدد فرود[3] تعریف می‌شود. شکل، اندازه و جرم مخصوص ظاهری موادی که با هم مخلوط می‌شوند، روی این عدد تاثیر دارد [۸]. ملمان [۱۱] با انجام آزمایش‌هایی، رژیم‌های مختلف جریان را در بسترهای دایره‌ای مورد مطالعه قرار داد و گزارش نمود که در این بسترها، عدد فرود بر اساس نوع موادی که با هم مخلوط می‌شوند از $10^{-2}$ – $10^{-4}$ می‌باشد. صفایی و همکاران [۳] با بررسی فاصله غلطک‌های آسیاب در خردکردن جو و تاثیرپذیری آن روی تجزیه‌پذیری این ماده در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان، دریافتند که در بین سه فاصله غلطک ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ میلی‌متر، فاصله غلطک ۰/۳ میلی‌متر باعث افزایش تجزیه‌پذیری موثر و نرخ تجزیه‌پذیری گردید، به طوری که تجزیه‌پذیری موثر ۱۷ درصد و نرخ تجزیه‌پذیری ۰/۲ درصد افزایش یافت. رضوانی و همکاران [۱] به منظور تعیین خواص فیزیکی و شیمایی کاه برنج از یک آسیاب چکشی با قطر توری‌های ۲، ۴، ۷ و ۸ میلی‌متر استفاده نموده و دریافتند که توری‌های آسیاب با قطر روزنه ۲ و ۴ میلی‌متر، توزیع نرمال ایجاد نموده و یکنواختی بیشتری از نظر خواص فیزیکی در این دو قطر مشاهده می‌شود. در مورد این دستگاه سوال‌های زیر مطرح است:

۱- دورهای مختلف مارپیچ و مناسب‌ترین دور، در ارتباط با یکنواختی جیره‌های کاملا مخلوط چه مقدار است؟

۲- زمان انجام تهیه مخلوط علوفه چه اثری بر یکنواختی علوفه دارد؟

۳- آیا تیمارهای مختلف، تغییری روی اندازه علوفه مخلوط شده ایجاد می کنند؟

هدف از اجرای این پروژه دستیابی به یک مخلوط علوفه یکنواخت با تغییر دور مارپیچ و زمان تهیه مخلوط در دستگاه خوراک‌ساز دام بود.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۷، در یک گاوداری با ۴۰ راس گاو شیری در شهرستان مرودشت استان فارس اجرا گردید. به منظور بررسی متغیرهای تاثیرگذار روی یکنواختی مخلوط علوفه، از یک دستگاه خوراک‌ساز دام عمودی مدل DM5، ساخت شرکت دام ماشین کاوه با ظرفیت مخزن ۴ مترمکعب استفاده شد.

### دستگاه خوراک ساز دام با مارپیچ عمودی

دستگاه خوراک‌ساز دام عمودی از مخزن، گیربکس، مارپیچ، نوار نقاله، بارکن هیدرولیک، سیستم توزین و آهن‌ربا تشکل شده است. مزایای دستگاه خوراک‌ساز عمودی عبارتند از: ۱- استهلاک پائین نسبت به نوع افقی به دلیل پائین بودن وزن دستگاه و در نتجه عمر مفید بیشتر دستگاه و تراکتور ۲- بریده شدن ساقه و عدم خرد و له شدن علوفه. مشخصات دستگاه خوراک‌ساز دام و شکل آن در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است.

3 Froude number

جدول ۱- مشخصات فنی دستگاه خوراک‌ساز دام شرکت ماشین‌سازی کاوه

| مدل | حجم مخزن(مترمکعب) | گنجایش وزنی (کیلوگرم) | وزن دستگاه(کیلوگرم) | تعداد لودسل | حداقل توان لازم (اسب بخار) | نوع مارپیچ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DM5 | ۵ | ۱۹۰۰ | ۱۶۰۰ | ۴ | ۴۰ | عمودی |

شکل ۱- دستگاه خوراک‌ساز دام با مارپیچ عمودی

**ترکیب جیره کاملا مخلوط**

به منظور انجام آزمایش‌های دستگاه خوراک سازدام، ترکیبی از مواد که جیره کاملا مخلوط (TMR) را تشکیل می‌دهند، به ترتیب جدول ۲ در دستگاه ریخته و سپس آزمایش‌ها با تیمارهای دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن علوفه انجام شد.

جدول ۲- ترکیب جیره کاملا مخلوط

| جیره کاملا مخلوط | کاه | یونجه | سیلوی ذرت | تفاله چغندرقند | خوراک دام | آب | مجموع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار (کیلوگرم) | ۳۰ | ۴۰ | ۳۵۰ | ۵۰ | ۱۱۵ | ۱۰۰ | ۶۸۵ |

این جیره برای یک گاو ۶۵۰ کیلوگرمی با ۳۵ کیلوگرم تولید شیر و چربی ۴ درصد تهیه می‌شود [۴].

**الک‌های پنسیلوانیا[4]**

الک‌های پنسیلوانیا از سه الک و یک سینی تشکیل شده که روی سرهم قرار می‌گیرند. اندازه روزنه‌های الک از بالا به پائین با اندازه‌های ۱۹، ۸ و ۱/۱۸ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۲). برای کار با الک پنسیلوانیا، ابتدا جیره کاملا مخلوط که از دستگاه خوراک-ساز دام خارج شده را بدون به هم خوردن در یک ظرف به حجم ۲ لیتر ریخته و سپس آن را در وسط الک بالایی (۱۹ میلی‌متر) ریخته می‌شود. برای کار با الک‌ها هیچ گونه حرکت عمودی وجود نداشته و حرکت‌ها فقط در جهت افقی انجام می‌گیرد. در یک فاصله علامت گذاری شده ۲۰-۱۷ سانتی‌متر در هر وجه الک حرکت رفت و برگشتی ۵ بار انجام شده که برای چهار وجه

4 Penn State Particle Separator (PSPS)

الک‌های روی هم قرار گرفته، ۲۰ حرکت افقی را شامل می‌شود. این عمل یک بار دیگر نیز انجام شده که در مجموع ۴۰ حرکت برای مجموعه الک‌ها تحقق می‌یابد. سپس مواد قرار گرفته روی الک‌ها به صورت مجزا با ترازوی دیجیتالی وزن و سپس اعداد ثبت می‌شود. موردی که باید به آن توجه نمود این است که در مورد الک ۱/۱۸ میلی‌متری، در هنگام وزن کردن باید چند ضربه به الک زد و سپس الک را با برس به طور کامل پاک نمود.

**شکل ۲- الک‌های پنسیلوانیا و جیره کاملا مخلوط روی الک**

به منظور بررسی یکنواختی مخلوط جیره غذایی در یک دستگاه خوراک‌ساز دام، اثر سه سطح دور مارپیچ ۵۰ ($R_{50}$)، ۶۰ ($R_{60}$) و ۷۰ ($R_{70}$) دور بر دقیقه، زمان مخلوط شدن خوراک دام در سه سطح ۱۵ ($T_{15}$)، ۱۸ ($T_{18}$) و ۲۱ ($T_{21}$) دقیقه در یک آزمایش فاکتوریل در قالب یک طرح کاملا تصادفی با سه تکرار با هم مقایسه شد. داده‌های به دست آمده به وسیله نرم افزار SAS، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام گردید.

عملکرد دستگاه با استفاده از پارامترهای زیر بررسی شد:

**اندازه‌گیری و محاسبه یکنواختی مواد مخلوط**

یکنواختی مواد مخلوط از مهمترین پارامترها در اندازه‌گیری عملکرد یک دستگاه مخلوط‌کننده می‌باشد. برای این منظور، پس از جمع‌آوری مواد از خروجی دستگاه خوراک‌ساز در ۵ نمونه به وزن ۲ کیلوگرم، مجددا ۵۰۰ گرم از هر نمونه روی الک‌های پنسیلوانیا ریخته شده و پس از جمع‌آوری مواد از روی هر الک، جداسازی بر حسب نوع ماده و توزین به وسیله ترازوی دیجیتالی، با استفاده از ضریب تغییرات، میزان یکنواختی به دست می‌آید. نمونه‌برداری تا زمان خروج تمام مواد از دستگاه ادامه داشته و آخرین نمونه از دستگاه زمانی برداشته می‌شود که خوراک مخلوط در دستگاه خوراک‌ساز دام وجود ندارد. هر چه میزان ضریب تغییرات در تیمارهای مختلف کمتر باشد، یکنواختی بیشتر است[۱۲]. ضریب تغییرات از روابط ۱ و ۲ به دست می‌آید:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}} \qquad (۱)$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (۲)$$

s = انحراف معیار (gr)، $x_i$ = وزن مواد جمع‌آوری شده روی هر الک (gr)، $\bar{x}$= متوسط وزن مواد جمع‌آوری شده روی هر الک (gr)، CV= ضریب تغییرات (درصد)

معیار استفاده از الک‌های پنسیلوانیا به صورت زیر خواهد بود:

وزن مواد با باقی مانده روی الک بالایی (a)، الک وسطی (b)، الک پایینی (c)، صفحه ته الک (d) می‌باشد. جمع مواد باقی مانده از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$e = a + b + c + d \quad (۳)$$

درصد مواد باقی مانده روی هرالک:

$$Upper = [a/e \times 100] \quad (۴)$$

$$Middle = [b/e \times 100] \quad (۵)$$

$$Lower = [c/e \times 100] \quad (۶)$$

$$Bottom\ pan = [d/e \times 100] \quad (۷)$$

درصد مواد باقی مانده زیر هرالک:

$$Upper\ sieve = f = [100 - (a/e \times 100)] \quad (۸)$$

$$Middle\ sieve = g = [f - (b/e \times 100)] \quad (۹)$$

$$Lower\ sieve = h = [g - (c/e \times 100)] \quad (۱۰)$$

وزن مواد باقی مانده روی هر الک، در قسمت ۳ (اندازه‌گیری خردشدن مواد مخلوط) توضیح داده شده است.

پس از به دست آمدن وزن مواد بالا و پایین هر الک، انحراف معیار و ضریب تغییرات مواد در هر الک و در تیمارهای مختلف برای محاسبه یکنواختی مواد مخلوط با هم مقایسه می‌گردند.

**اندازه‌گیری خردشدن مواد مخلوط**

عملکرد اصلی دستگاه خوراک‌ساز دام، مخلوط کردن یکنواخت علوفه و سایر مواد مکمل است. ولی با توجه به این که از مارپیچ و تیغه‌هایی استفاده می‌شود که روی خردشدن مواد اثر دارند و نیز اندازه مواد مخلوط شدنی روی یکنواختی مخلوط تهیه شده اثر دارد، این پارامتر با ریختن نمونه‌های جمع‌آوری شده روی الک‌های پنسیلوانیا تعیین می‌شود. برای این منظور ۵۰۰ گرم از جیره کاملا مخلوط را روی الک اول ریخته و با عقب و جلو بردن دستگاه به مسافت ۳۰ سانتی‌متر و چرخاندن الک، نمونه غربال می‌شود. پس از الک‌کردن، مواد باقی‌مانده روی هر الک جداگانه توزین و درصد آن روی هر الک محاسبه می‌شود [۴]. میزان اندازه توزیع مواد توصیه شده روی هر الک، در الک بالایی ۸-۲ درصد کل مواد، و در زیر الک پایینی ۹۸-۹۲ درصد می‌باشد. پس از تکان دادن الک‌ها، میزان کل مواد روی الک وسطی ۵۰-۳۰ درصد و زیر الک وسطی ۶۸-۴۲ درصد است. پس از تکان دادن مجدد الک‌ها، میزان کل مواد روی الک پایینی ۵۰-۳۰ درصد و زیر الک پایینی ۲۰-۵ درصد خواهد بود. میزان کل مواد در زیر صفحه پایینی ۲۰ یا کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد. میانگین هندسی و انحراف معیار اندازه قطعات از روابط ۱۱ و ۱۲ به دست می‌آید[۶].

$$X_{gm} = Log^{-1}\frac{\sum(M_i\ Log\ \bar{x}_i)}{\sum M_i} \quad (۱۱)$$

$$S_{gm} = Log^{-1}\left[\frac{\sum M_i(Log\ \bar{x}_i - Log\ x_{gm})^2}{\sum M_i}\right]^{1/2} \quad (۱۲)$$

$x_i$ = قطر منافذ الک i ام، $x_{gm}$ = میانگین هندسی اندازه قطعات، $\bar{x}$= میانگین هندسی طول قطعات روی i امین الک $M_i$ = توده روی i امین الک (مقدار واقعی بعد از الک‌کردن)، $S_{gm}$ = انحراف معیار

**بررسی جریان پذیری مواد مخلوط**

عدد فرود به طور معمول برای تعیین رژیم جریان از یک خروجی تعریف می‌شود[۸]. با توجه به مواد مختلف علوفه مخلوط و وجود تیمارهایی با متغیرهای مختلف، این عدد به منظور عملکرد مناسب دستگاه خوراک‌ساز دام بررسی گردید. هر چه این عدد بزرگتر باشد، مواد سریع‌تر از دهانه خروج خارج می‌شوند. همچنین با توجه به اثر جرم مخصوص ظاهری مواد مخلوط شده روی این عدد، جرم مخصوص ظاهری در سه تکرار در هر نمونه محاسبه و رابطه آن با عدد فرود بررسی شد[۲].

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (۱۳)$$

$\rho$ = جرم مخصوص ظاهری ($kg\ m^{-3}$)، $m$ = جرم نمونه ($kg$)، $v$ = حجم نمونه ($m^3$)

$$Fr = \frac{\omega^2 R}{g} \quad (۱۴)$$

$Fr$ = عدد فرود (بی بعد)، $\omega$ = سرعت دورانی ($Rad\ s^{-1}$)، $R$ = شعاع مارپیچ ($m$)، $g$ = شتاب جاذبه ($m\ s^{-2}$)

## نتایج و بحث

**اثر متقابل دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن علوفه بر خردشدن مواد مخلوط**

ترکیب تیمارهای دورمارپیچ (۵۰، ۶۰ و ۷۰ دور بر دقیقه) و زمان مخلوط شدن مواد علوفه (۱۵، ۱۸ و ۲۱) در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول ۳ - اثر متقابل دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن روی پارامترهای آزمایش (کل الک‌ها)**

| پارامتر / تیمار | $X_{gm}$ | $S_{gm}$ |
|---|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۲/۴۰ a | ۱/۸۰ a |
| $R_{50}T_{18}$ | ۲/۱۹ ab | ۱/۳۹ c |
| $R_{50}T_{21}$ | ۲/۱۴ abc | ۱/۶۳ ab |
| $R_{60}T_{15}$ | ۲/۲۳ ab | ۱/۵۵ bc |
| $R_{60}T_{18}$ | ۲/۲۵ ab | ۱/۵۶ bc |
| $R_{60}T_{21}$ | ۲/۲۰ ab | ۱/۵۶ bc |
| $R_{70}T_{15}$ | ۲/۰۳ bc | ۱/۵۵ bc |

| | | |
|---|---|---|
| $R_{70}T_{18}$ | ۲/۳۵ ab | ۱/۴۵ bc |
| $R_{70}T_{20}$ | ۱/۸۳ c | ۱/۴۱ bc |

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

با توجه به داده‌های ارائه شده، بیشترین میزان خردشدن مواد (کمترین میزان در میانگین هندسی قطعات) در دور مارپیچ ۷۰ دور بر دقیقه و زمان ۲۱ دقیقه و کمترین میزان خردشدن مواد علوفه در دور مارپیچ ۵۰ دور بر دقیقه و زمان ۱۵ دقیقه (تیمار $R_{50}T_{15}$) و اختلاف معنی دار با یکدیگر به دست آمده است. بقیه تیمارها با اختلاف کم در یک کلاس آماری در سطح ۵ درصد قرار گرفته‌اند. از نتایج جدول ۳ چنین استنباط می‌شود که در تیمارهایی که دور مارپیچ آن‌ها یکسان است، افزایش زمان مخلوط شدن باعث کاهش میانگین هندسی قطعات شده است. لازم به ذکر است که با توجه به دو تیمار بیشینه و کمینه میانگین هندسی قطعات علوفه (۲/۴۰ و۱/۸۳ سانتی‌متر)، سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر نشان نمی‌دهند. در ارتباط با انحراف معیار اندازه قطعات کمترین میزان، مربوط به تیمار $R_{50}T_{18}$ (۵۰ دور بر دقیقه و زمان ۱۸دقیقه مارپیچ) و بیشترین انحراف معیار مربوط به تیمار $R_{50}T_{15}$ می‌باشد. در ارتباط با خردشدن مواد مخلوط باید به چند نکته توجه داشت. اول این که افزایش زمان مخلوط شدن اثر بیشتری در کاهش اندازه قطعات (میانگین هندسی قطعات) نسبت افزایش دور مارپیچ دارد. دوم، علاوه برمیانگین هندسی قطعات که یک شاخص اصلی در میزان خردشدگی است، به انحراف معیار اندازه قطعات نیز باید همزمان در تیمارهای مختلف توجه داشت. موارد یاد شده را می‌توان در تیمارهای $R_{50}T_{21}$ و $R_{60}T_{15}$ مشاهده نمود؛ چرا که ممکن است در یک جیره کاملا مخلوط با مواد علوفه ای گوناگون، موادی وجود داشته باشند که با توجه به ماهیت خود در زمان‌های بیشتر دور مارپیچ، اندازه قطعات ریزتری ایجاد نموده و میانگین هندسی قطعات علوفه را کاهش دهند، ولی مواد دیگر علوفه ای نیز وجود داشته باشند که حتی در زمان‌های زیادتر دور مارپیچ، اندازه آن‌ها تغییر محسوسی نکند. موارد یاد شده را می‌توان در تیمارهای $R_{50}T_{18}$ و $R_{50}T_{21}$ مشاهده نمود. در تیمار $R_{50}T_{21}$ با این که میانگین هندسی قطعات از تیمار $R_{50}T_{18}$ کمتر است (۲/۱۴ نسبت به ۲/۱۹ سانتی‌متر)، ولی انحراف معیار تیمار $R_{50}T_{21}$ از تیمار $R_{50}T_{18}$ بیشتر است (۱/۶۳ نسبت به ۱/۳۹ سانتی‌متر).

**اثر متقابل تیمارهای آزمایش (دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن) روی یکنواختی مواد علوفه مخلوط در الک‌های مجزا**

اثر متقابل یکنواختی مواد مخلوط در الک‌های اول، دوم و سوم در جداول ۱۸، ۱۹ و ۲۰ نشان داده شده است.

**جدول ۴- اثر متقابل دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن روی پارامترهای آزمایش (الک اول)**

| پارامتر / تیمار | $S_d$ | Mean | CV |
|---|---|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۲/۸۸ ab | ۵/۵۴ a | ۵۱/۵۹ ab |
| $R_{50}T_{18}$ | ۱/۸۰ bc | ۳/۹۲ b | ۴۶/۱۰ ab |
| $R_{50}T_{21}$ | ۱/۹۱ bc | ۴/۶۵ ab | ۴۱/۱۷ ab |
| $R_{60}T_{15}$ | ۱/۸۵ bc | ۴/۶۴ ab | ۳۹/۹۳ ab |
| $R_{60}T_{18}$ | ۳/۱۶ a | ۴/۹۸ ab | ۶۳/۴۷ a |
| $R_{60}T_{21}$ | ۱/۹۹ bc | ۴/۵۳ ab | ۴۳/۰۵ ab |
| $R_{70}T_{15}$ | ۲/۱۷ abc | ۴/۵۱ ab | ۴۷/۸۲ ab |
| $R_{70}T_{18}$ | ۲/۴۵ ab | ۴/۶۷ ab | ۵۱/۶۸ ab |
| $R_{70}T_{20}$ | ۱/۲۸ c | ۲/۵۷ c | ۳۴/۷۱ b |

جدول ۵- اثر متقابل دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن روی پارامترهای آزمایش (الک دوم)

| پارامتر / تیمار | $S_d$ | Mean | CV |
|---|---|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۱/۱۵ a | ۲/۴۲ a | ۴۶/۹۴ a |
| $R_{50}T_{18}$ | ۱/۰۰ a | ۲/۵۱ a | ۳۹/۳۶ a |
| $R_{50}T_{21}$ | ۱/۲۵ a | ۲/۷۱ a | ۴۳/۷۷ a |
| $R_{60}T_{15}$ | ۱/۰۶ a | ۲/۸۹ a | ۳۶/۳۴ a |
| $R_{60}T_{18}$ | ۱/۳۹ a | ۲/۶۸ a | ۴۷/۹۰ a |
| $R_{60}T_{21}$ | ۱/۰۹ a | ۲/۷۸ a | ۳۹/۵۸ a |
| $R_{70}T_{15}$ | ۰/۸۱ a | ۲/۵۸ a | ۳۱/۴۲ a |
| $R_{70}T_{18}$ | ۱/۰۳ a | ۲/۷۳ a | ۳۸/۳۹ a |
| $R_{70}T_{20}$ | ۰/۸۱ a | ۲/۴۶ a | ۳۶/۱۵ a |

جدول ۶- اثر متقابل دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن روی پارامترهای آزمایش (الک سوم)

| پارامتر / تیمار | $S_d$ | Mean | CV |
|---|---|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۰/۵۷ a | ۱/۲۰ a | ۴۶/۶۷ a |
| $R_{50}T_{18}$ | ۰/۴۷ a | ۱/۳۸ a | ۳۴/۱۸ b |
| $R_{50}T_{21}$ | ۰/۳۷ a | ۱/۱۷ a | ۳۱/۵۲ b |
| $R_{60}T_{15}$ | ۰/۳۷ a | ۱/۳۲ a | ۲۷/۹۸ b |
| $R_{60}T_{18}$ | ۰/۴۹ a | ۱/۳۴ a | ۳۶/۸۶ ab |
| $R_{60}T_{21}$ | ۰/۴۸ a | ۱/۲۶ a | ۳۶/۷۴ ab |
| $R_{70}T_{15}$ | ۰/۳۹ a | ۱/۱۹ a | ۳۲/۵۷ b |
| $R_{70}T_{18}$ | ۰/۵۱ a | ۱/۳۱ a | ۳۸/۹۳ ab |
| $R_{70}T_{20}$ | ۰/۴۶ a | ۱/۲۴ a | ۳۶/۷۰ ab |

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

بررسی یکنواختی با شاخص انحراف معیار در الک‌های مختلف نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد. در الک اول بیشترین میزان یکنواختی(کمترین انحراف معیار)، مربوط به تیمار $R_{70}T_{21}$ با ۱/۲۸ گرم طول قطعات است. کمترین میزان یکنواختی در تیمار $R_{60}T_{18}$ و به میزان ۳/۱۶ گرم به دست آمده است. دو مقدار یاد شده تفاوت معنی‌داری را در سطح ۵ درصد با یکدیگر نشان می‌دهند. با توجه به این که در الک اول قطعاتی از علوفه قرار می‌گیرند که اندازه آن‌ها از قطعات بقیه الک‌ها بیشتر است، دور و زمان مخلوط شدن از اهمیت خاصی برخوردار است. تیمار $R_{60}T_{18}$ با انحراف معیار ۳/۱۶ گرم و تیمار $R_{50}T_{15}$ با انحراف معیار ۲/۸۸ گرم تفاوت معنی دار را در سطح ۵ درصد نشان نمی‌دهد.

الک‌های دوم و سوم از نظر یکنواختی و شاخص انحراف معیار تفاوت معنی‌داری بین تیمارها ندارند. در الک دوم که ذرات با اندازه متوسط قرار می‌گیرند نیز اثر دورهای مارپیچ و زمان زیاد به صورت توام نمایان بوده، به طوری که بیشترین یکنواختی در ۷۰ دور بر دقیقه مارپیچ و زمان ۲۱ دقیقه با انحراف معیار ۰/۸۱ گرم به دست آمده است. این موضوع در الک سوم به صورت عکس عمل کرده است، به طوری که بیشترین میزان یکنواختی در تیمار $R_{50}T_{21}$ و $R_{60}T_{15}$ با انحراف معیار ۰/۳۷ گرم به دست آمده است. با توجه به اینکه قطعات قرار گرفته روی الک سوم، از قطعات الک اول و دوم کوچک‌تر هستند، می‌توان گفت اثر دور و زمان تحت تاثیر اندازه قطعات بوده، به طوری که با کوچک‌تر شدن اندازه قطعات، در عمل اثر دور و زمان کم شده و می‌توان در زمان‌های کوتاه‌تر و دور مارپیچ کمتر دستگاه نیز یکنواختی لازم را به دست آورد. موارد یاد شده در دامداری‌ها بزرگ با تعداد راس دام زیاد مورد توجه می‌باشد، به طوری که با کمتر نمودن دور مارپیچ استهلاک قطعات دستگاه خوراک‌ساز دام و تراکتور، کمتر شده و با کوتاه‌تر نمودن زمان تهیه جیره کاملا مخلوط، ظرفیت استفاده از دستگاه افزایش می‌یابد.

### نتایج میانگین پارامتر یکنواختی مواد کاملا مخلوط در کل الک‌ها

در جدول ۲۴ اثر متقابل دو متغیر یاد شده روی یکنواختی مواد مخلوط نشان داده شده است.

**جدول ۷- اثر متقابل دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن روی پارامترهای آزمایش (کل الک‌ها)**

| پارامتر / تیمار | $S_d$ | Mean | CV |
|---|---|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۲/۵۶ a | ۳/۰۷ ab | ۸۳/۵۶ ab |
| $R_{50}T_{18}$ | ۱/۶۳ bc | ۲/۶۰ cd | ۶۲/۰۰ c |
| $R_{50}T_{21}$ | ۱/۹۷ b | ۲/۸۷ bc | ۶۸/۴۶ abc |
| $R_{60}T_{15}$ | ۱/۸۶ bc | ۲/۹۵ bc | ۶۳/۱۵ c |
| $R_{60}T_{18}$ | ۲/۵۶ a | ۳/۳۳ a | ۸۵/۷۳ a |
| $R_{60}T_{21}$ | ۱/۹۱ bc | ۲/۸۵ bc | ۶۶/۵۶ bc |
| $R_{70}T_{15}$ | ۱/۹۲ bc | ۲/۷۶ bcd | ۶۹/۵۴ abc |
| $R_{70}T_{18}$ | ۲/۱۰ ab | ۲/۸۹ bc | ۷۲/۳۲ abc |
| $R_{70}T_{20}$ | ۱/۳۸ c | ۲/۴۸ d | ۵۵/۶۰ c |

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود، افزایش سرعت و زمان، هر کدام به طور مجزا روی یکنواختی علوفه مخلوط در کل الک‌ها اثر داشته است. به طوری که بیشترین یکنواختی در دور مارپیچ ۷۰ دور دقیقه با انحراف معیار ۱/۸۰ گرم طول قطعات علوفه و نیز در زمان ۲۱ دقیقه با انحراف معیار ۱/۷۵ گرم طول قطعات علوفه و اختلاف معنی دار با سطوح قبلی دور و زمان به دست آمده است. اثر متقابل تیمارها در مورد تمام الک‌ها نیز نشان می‌دهد که بیشترین یکنواختی(کمترین انحراف معیار) طول قطعات علوفه در تیمار $R_{70}T_{21}$ با ۱/۳۸ گرم به دست آمده و اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها نشان می‌دهد. همچنین کمترین میزان یکنواختی (بیشترین انحراف معیار) در تیمار $R_{50}T_{15}$ و $R_{60}T_{18}$ با ۲/۵۶ گرم به دست آمده است. سایر تیمارهای بین دو تیمار بیشینه و کمینه، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

در یک نگاه کلی در مورد تمام الک‌ها و یکنواختی ایجاد شده در دور و زمان‌های مختلف استفاده از مارپیچ، می‌توان گفت که افزایش دور و افزایش زمان کاربرد دستگاه خوراک‌ساز دام باعث یکنواختی جیره کاملا مخلوط در تغذیه گاوهای شیری می‌باشد. اما با درنظر گرفتن نتایج به دست آمده از قطعات علوفه تولید شده و عدم اختلاف معنی دار بسیاری از تیمارهای دور و زمان و نیز با توجه به این که دستگاه خوراک‌ساز دام روزانه وتا سه نوبت در گاوداری‌ها مورد استفاده قرار گرفته و استهلاک زیاد دستگاه و تراکتور را به دنبال دارد، می‌توان از تیماری استفاده نمود که مزایای کاربرد بهینه دستگاه و یکنواختی لازم را که هدف اصلی است، در بر داشته باشد. بنابراین با توجه به توضیحات و داده‌های ارائه شده، تیمار $R_{50}T_{18}$ با یکنواختی و انحراف معیار ۱/۶۳ گرم، قابل توصیه می‌باشد. این تیمار، هم از نظر استهلاک دستگاه در استفاده از دورهای زیاد مارپیچ در حد مناسبی قرار دارد وهم زمان کاربرد دستگاه (۱۸ دقیقه)، زمان مناسبی جهت تهیه جیره کاملا مخلوط می‌باشد. زیرا در گاوداری‌هایی که تعداد راس گاو آن‌ها زیاد می‌باشد (گاوداری‌های صنعتی)، زمان تهیه علوفه حائز اهمیت می‌باشد. لازم به یادآوری است که دستگاه‌های خوراک‌ساز دام موجود (مارپیچ عمودی و مارپیچ افقی)، فاقد جعبه دنده تغییر دور مارپیچ بوده و تغییر دور مارپیچ دستگاه فقط با تغییر گاز دستی تراکتور انجام می‌شود. بنابراین استفاده از دورهای کمتر با در نظر گرفتن یکنواختی مناسب جیره کاملا مخلوط، باعث کاهش استهلاک تراکتور و دستگاه خوراک‌ساز دام می‌شود.

### بررسی میانگین مواد باقی مانده روی الک‌ها در تیمارهای مختلف

درصد مواد باقی مانده روی الک‌ها نیز نیز نکته قابل تاملی است که باید به آن توجه شود. همانطور که در روش تحقیق توضیح داده شد، الک‌های پنسیلوانیا از سه الک با اندازه ۱۹، ۸ و ۱/۱۸ میلی‌متر و یک سینی تشکیل شده است. در سال‌های اخیر توصیه سازندگان الک پنسیلوانیا بر این اساس بوده است که به جای الک ۱/۱۸ میلی‌متر، از الک ۴ میلی‌متری استفاده شود. در این تحقیق از الک ۱/۱۸ میلی‌متری به عنوان الک سوم استفاده شد. جدول ۸ و ۹، درصد مواد باقی مانده روی الک‌ها را نشان می‌دهد.

**جدول ۸- مقایسه میانگین مواد باقی مانده روی الک‌ها در سطوح مختلف دور مارپیچ**

| الک‌ها / دور مارپیچ | اول | دوم | سوم | صفحه زیرین (Pan) |
|---|---|---|---|---|
| $R_{50}$ | ۲۱/۹۶ a | ۴۵/۰۳ b | ۲۵/۰۶ c | ۶/۴۲ a |
| $R_{60}$ | ۱۴/۵۸ b | ۴۹/۵۴ a | ۲۹/۳۴ b | ۴/۸۱ b |
| $R_{70}$ | ۱۰/۳۰ c | ۵۱/۵۱ a | ۳۰/۶۴ a | ۶/۱۶ a |

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

**جدول ۹- مقایسه میانگین مواد باقی مانده روی الک‌ها در سطوح مختلف زمان مخلوط شدن**

| الک‌ها / زمان | اول | دوم | سوم | صفحه زیرین (Pan) |
|---|---|---|---|---|
| $T_{50}$ | ۱۸/۱۶ a | ۴۵/۵۶ b | ۲۸/۵۴ b | ۶/۲۵ a |
| $T_{60}$ | ۱۷/۲۷ a | ۴۹/۶۸ a | ۲۶/۸۶ c | ۴/۵۱ b |
| $T_{70}$ | ۱۱/۴۰ b | ۵۰/۸۴ a | ۲۹/۶۵ a | ۶/۶۲ a |

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

نکته مشترک تمام توصیه‌ها این است که در هنگام کار با الک‌های پنسیلوانیا و توزیع مواد روی آن‌ها، بیشترین مقدار مواد روی الک دوم، کمترین مقدار مواد روی الک اول قرار داشته و الک سوم درصدی بین الک اول و دوم را به خود اختصاص می‌دهد. این مورد در بررسی مواد باقی مانده روی الک‌ها با متغییر دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن به صورت مجزا نیز صادق است. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها در جدول ۱۰ نیز با توصیه‌های انجام شده در مورد درصد مواد باقی مانده روی الک‌های پنسیلوانیا مطابقت دارد. جدول ۱۰ نشان می‌دهد که بیشترین مواد روی الک دوم و پس از آن الک‌های سوم و اول قرار دارند.

**جدول ۱۰- اثر متقابل مواد باقی مانده روی الک‌ها**

| الک‌ها / تیمار | اول | دوم | سوم | صفحه زیرین (Pan) |
|---|---|---|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۳۱/۲۹ $^{a}$ | ۳۶/۲۷ $^{d}$ | ۲۴/۹۵ $^{e}$ | ۵/۹۷ $^{bc}$ |
| $R_{50}T_{18}$ | ۱۸/۴۵ $^{bc}$ | ۵۳/۷۷ $^{ab}$ | ۲۱/۵۶ $^{f}$ | ۴/۶۸ $^{cde}$ |
| $R_{50}T_{21}$ | ۱۶/۱۳ $^{bcd}$ | ۴۵/۰۴ $^{c}$ | ۲۸/۶۷ $^{cd}$ | ۸/۶۱ $^{a}$ |
| $R_{60}T_{15}$ | ۱۲/۲۴ $^{cde}$ | ۴۸/۶۶ $^{bc}$ | ۳۰/۶۸ $^{ab}$ | ۶/۹۳ $^{a}$ |
| $R_{60}T_{18}$ | ۲۰/۰۵ $^{b}$ | ۴۵/۵۴ $^{c}$ | ۲۸/۹۰ $^{cd}$ | ۳/۲۸ $^{e}$ |
| $R_{60}T_{21}$ | ۱۱/۴۶ $^{de}$ | ۵۴/۴۲ $^{a}$ | ۲۸/۴۵ $^{d}$ | ۴/۲۲ $^{de}$ |
| $R_{70}T_{15}$ | ۱۰/۹۶ $^{de}$ | ۵۱/۷۵ $^{ab}$ | ۲۹/۹۸ $^{bcd}$ | ۵/۸۵ $^{bcd}$ |
| $R_{70}T_{18}$ | ۱۳/۳۱ $^{cde}$ | ۴۹/۷۳ $^{abc}$ | ۳۰/۱۲ $^{bc}$ | ۵/۵۷ $^{bcd}$ |
| $R_{70}T_{20}$ | ۶/۶۲ $^{e}$ | ۵۳/۰۷ $^{ab}$ | ۳۱/۸۳ $^{a}$ | ۷/۰۵ $^{b}$ |

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند (آزمون دانکن).

با توجه به مطالب ارائه شده ، و در نظر گرفتن توصیه‌ها در مورد درصد مواد باقی مانده روی الک‌ها، می‌توان تیماری را انتخاب نمود که از نظر دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن مواد در حد مناسبی بوده و استاندارد مواد روی الک‌ها نیز در آن رعایت شده باشد. در تیمار $R_{60}T_{15}$، درصد مواد باقی مانده روی الک اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۲/۲۴، ۴۸/۶۶ و ۳۰/۶۸ درصد و در تیمار $R_{70}T_{21}$ این مقادیر به ترتیب ۶/۶۲، ۵۳/۰۷ و ۳۱/۸۳ در صد می‌باشد. مقایسه این دو تیمار در هر الک نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. همچنین تیمار $R_{60}T_{15}$ اختلاف معنی‌داری را با تیمار $R_{50}T_{18}$ از نظر میزان مواد باقی مانده روی الک‌ها نشان نمی‌دهد. لازم به یادآوری است که تیمار $R_{50}T_{18}$ تیماری بود که از نظر طول قطعات و یکنواختی جیره کاملا مخلوط در حد مناسبی بود و بنابراین قابل توصیه می‌باشد.

**اثر دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن علوفه روی جرم مخصوص ظاهری**

در جدول ۱۱ اثر دو متغیر دور مارپیچ و زمان مخلوط شدن علوفه بر جرم مخصوص ظاهری بررسی شده است.

جدول ۱۱- تاثیر تیمارهای آزمایش روی جرم مخصوص ظاهری علوفه

| پارامتر / تیمار | جرم مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۱۹۴/۶۰ |
| $R_{50}T_{18}$ | ۲۲۰/۷۰ |
| $R_{50}T_{21}$ | ۲۱۷/۵۰ |
| $R_{60}T_{15}$ | ۲۳۲/۱۷ |
| $R_{60}T_{18}$ | ۲۲۲/۶۷ |
| $R_{60}T_{21}$ | ۲۸۸/۱۷ |
| $R_{70}T_{15}$ | ۲۵۹/۹۲ |
| $R_{70}T_{18}$ | ۲۷۰/۱۷ |
| $R_{70}T_{21}$ | ۲۵۲/۵۸ |

با توجه به داده‌های به دست آمده، افزایش دور مارپیچ در زمان‌های مساوی، باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری علوفه شده است. همچنین در تیمارهایی که سرعت مارپیچ یکسان و زمان از ۱۵ به ۱۸ و ۲۱ افزایش یافته است، روند مشخصی مشاهده نمی-شود. افزایش دور مارپیچ با فشاری که روی جیره کاملا مخلوط وارد می‌کند، فضاهای بین قطعات علوفه را کاهش داده و بنابراین جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد. این در حالی است که تغییر در زمان با یک دور مارپیچ مشخص، فقط باعث می‌شود که مواد جیره کاملا مخلوط روی همدیگر لغزیده و هیچ تغییر محسوسی در جرم مخصوص ظاهری به وجود نیاید.

**بررسی عدد فرود و زمان تخلیه جیره کاملا مخلوط از دستگاه خوراک‌ساز دام**

تاثیر جریان پذیری[5] یک جیره کاملا مخلوط با عدد بدون بعدی[6] به نام عدد فرود بررسی می‌شود. با توجه به اینکه شعاع مارپیچ در دستگاه خوراک‌ساز دام و شتاب جاذبه ثابت می‌باشد، تنها متغیری که روی این عدد تاثیر دارد، سرعت دورانی مارپیچ می‌باشد. مقادیر عدد فرود در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۲- بررسی عدد فرود در دور مارپیچ های مختلف

| پارامتر / دور مارپیچ | عدد فرود |
|---|---|
| $R_{50}$ | ۱/۹۱ |
| $R_{60}$ | ۲/۷۵ |
| $R_{70}$ | ۳/۷۴ |

5 Flowability
6 Dimensionless

بر اساس جدول ۱۲ با افزایش دور مارپیچ، عدد فرود و به دنبال آن جریان پذیری مواد از دستگاه افزایش می‌یابد. جریان پذیری یکنواخت مواد از دستگاه خوراک‌ساز دام باعث می‌شود که جیره علوفه کاملا مخلوط در سرتاسر کانال به طور یکسان توزیع و از گرفتگی دهانه خروجی دستگاه جلوگیری به عمل آید. در تحقیق انجام شده، زمان‌های توزیع مواد در یک فاصله ۱۲ متری از کانال ریزش علوفه در تیمارهای مختلف بررسی گردید. نتایج به دست آمده در جدول ۱۳ ارائه شده است.

**جدول ۱۳- زمان خروج جیره کاملا مخلوط از خروجی دستگاه خوراک‌ساز دام**

| پارامتر / تیمار | زمان خروج جیره کاملا مخلوط* |
|---|---|
| $R_{50}T_{15}$ | ۱:۲۰ |
| $R_{50}T_{18}$ | ۱:۰۳ |
| $R_{50}T_{21}$ | ۰۰:۵۸ |
| $R_{60}T_{15}$ | ۱:۰۱ |
| $R_{60}T_{18}$ | ۱:۰۶ |
| $R_{60}T_{21}$ | ۱:۰۴ |
| $R_{70}T_{15}$ | ۱:۰۶ |
| $R_{70}T_{18}$ | ۰۰:۵۳ |
| $R_{70}T_{21}$ | ۰۰:۴۹ |

*فاصله خروج جیره کاملا مخلوط، ۱۲ متر در نظر گرفته شده است.

اعداد این جدول ۱۳ با عدد فرود در ارتباط می‌باشد. با توجه به نتایج جداول ۱۲ و ۱۳، کمترین مقدار عدد فرود با مقدار ۱/۹۱ در تیمار $R_{50}T_{15}$ بوده که زمان توزیع مواد در کانال علوفه، یک دقیقه و به ۲۰ ثانیه به دست آمده است. همچنین بیشترین مقدار عدد فرود، ۳/۷۴ بوده که دور مارپیچ ۷۰ دور بر دقیقه معادل کمترین مقدار خروج مواد یعنی ۴۹ ثانیه در تیمار$R_{70}T_{21}$ می‌باشد. نکته دیگر این است که با توجه به این که در یک دور مشخص محور مارپیچ عدد فرود یکسان می‌باشد ( مثلا ۵۰ دور بر دقیقه معادل عدد فرود ۱/۹۱)، با این حال به عنوان مثال در تیمارهای $R_{50}T_{15}$، $R_{50}T_{18}$ و $R_{50}T_{21}$، زمان توزیع جیره کاملا مخلوط در کانال توزیع علوفه به ترتیب ۱:۲۰، ۱:۰۳ و۰۰:۵۸ به دست آمده است. این امر حاکی از تاثیر زمان‌های ۱۵، ۱۸ و ۲۱ دقیقه در هنگام مخلوط شدن علوفه می‌باشد. زمان‌های بیشتر باعث شده که هم مواد ریزتر و هم علوفه یکنواخت‌تر مخلوط شده و بنابراین جریان پذیری مواد (عدد فرود) بیشتر و مدت زمان خروج مواد از دهانه دستگاه کاهش یابد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده، افزایش دور و افزایش زمان کاربرد دستگاه خوراک‌ساز دام باعث یکنواختی جیره کاملا مخلوط در تغذیه گاوهای شیری می‌شود. بیشترین میزان خردشدن مواد (کمترین میزان در میانگین هندسی قطعات) در دور مارپیچ ۷۰ دور بر دقیقه و زمان ۲۱ دقیقه (تیمار $R_{70}T_{21}$) و کمترین میزان خردشدن مواد علوفه در دور مارپیچ ۵۰ دور بر دقیقه و زمان ۱۵ دقیقه (تیمار $R_{50}T_{15}$) و اختلاف معنی دار با یکدیگر به دست آمده است. بیشترین یکنواختی نیز در تیمار $R_{70}T_{21}$ به دست آمده است. دستگاه خوراک‌ساز دام روزانه وتا سه نوبت در گاوداری‌ها مورد استفاده قرار گرفته و استهلاک زیاد دستگاه و

تراکتور را به دنبال دارد. بنابراین باید تیماری توصیه شود که مزایای کاربرد بهینه دستگاه و یکنواختی لازم را که هدف اصلی است، در بر داشته باشد. با توجه به توضیحات و داده‌های ارائه شده، تیمار $R_{50}T_{18}$ با یکنواختی و انحراف معیار ۱/۶۳ گرم، قابل توصیه می‌باشد. این تیمار، هم از نظر استهلاک دستگاه در استفاده از دورهای زیاد مارپیچ در حد مناسبی قرار دارد و هم زمان کاربرد دستگاه (۱۸ دقیقه)، زمان مناسبی جهت تهیه جیره کاملا مخلوط می‌باشد

## مراجع


۱- رضوانی، ز.، عرب حسینی، ا.، چگینی، غ. و کیانمهر، م. ح. ۱۳۹۲. تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی کاه برنج و انرژی مورد نیاز برای خردکردن آن. نشریه مکانیزاسیون کشاورزی، ۱(۱)، ۹۰-۸۱.

۲- رضوی، م. ع. و اکبری، ر. ۱۳۹۱. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۴۰ صفحه.

۳- صفایی، خ.، قربانی، غ.، علیخانی، م.، صادقی سفید مزگی، ع.، ون ژو، ی. و محمدی، ف. ۱۳۹۴. تاثیر روش فرآوری، زمان بخاردهی و تنظیم فاصله غلطک بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای دانه جو. نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان، ۳(۴)، ۱۲۶-۱۰۳.

۴- نیکخواه، ع.، نصوحی، م. و زالی، ا. ۱۳۸۴. تعیین اندازه ذرات علف یونجه خشک با سیستم پنسیلوانیا و اثر آن روی توان تولیدی گاوهای شیرده. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶ (۱)، ۱۰۷-۹۹.

5- Aissa, A.A., Duchesne, C., and Rodrigue, D. 2011. Effect of friction coefficient and density on mixing particles in the rolling regime. Powder Technology, 212: 340-347.

6- ASAE. 2001. S424. Method of determining and epressing particle size of chopped forage materials sieving. In standards. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, M.I.

7- Beverloo, W., Leniger, H., and de Velde, J.V. 1961. The flow of granular solids through orifices. Chemical Engineering Science, 15: 260-268.

8- Henein, H. 1981. Bed behavior in rotary cylinders with applications to rotary kilns. Ph.D dissertation, University of British Columbia, 11-36.

9- Keller, N.K.G. 2012. Mixing and segregation in 3D multi-component, two phase fluidized beds. Ph.D Thesis Department of Mechanical Engineering, Iowa State University.

10- Kingston, T.A., and Heindel, T.J. 2014. Granular mixing optimization and the influence of operating conditions in a double screw mixer. Powder Technology, 266: 144-155.

11- Mellmann, J. 2001. The transverse motion of solids in rotating cylinders – forms of motion and transition behavior. Powder Technology, 118: 251-270.

12- Patricia, M., Marianthi, G.I., and Fernando, J.M. 2009. Effects of rotation rate, mixing angle, and cohesion in two continoues poder mixers – A statistical approach. Powder Technology,194: 217-227.

13- Pezo, L., Jovanovic, A., Pezo, M., Colocic, R., and Lonkar, B. 2015. Modified screw conveyor-mixer – Discrete element modeling. Advanced Powder Technology, Article in press.

14- Schmelzle, S., Leppert, S., and Nirschl, H. 2015. Influence of impler geometry in a vertical mixer described by DEM simulation and the dispersion model. Advanced Powder Technology, Article in press.

15- Seilamovicz, I., Czech, M., and Kowalewski, T.A. 2011. Empirical description of granular flow inside a model silo with vertical walls. Biosystems Engineering, 108: 334-344.
16- Yamamoto, M., Ishihara, S., and Kano, J. 2016. Evaluation of particle density effect for mixing behavior in a rotating drum mixer by DEM simulation. Advanced Powder Technology, Article in press.

# Investigation of uniformity of total mixed ration in feeder mixer equipment

Mohammad-Ali Behaeen [1*], Abdol-Hamid Karimi[2]

1. Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education And Extention Organization, Shiraz, Iran
2. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education And Extention Organization, Shiraz, Iran

## Abstract

Total Mixed ration are used to increase production in the livestock and poultry industry. Important point in preparing this type of livestock feed, is uniformity of mixing of materials and the same distribution at each livestock. In order to investigate the uniformity of the mixed ration in a feeder mixer equipment, effect of three levels of spiral axis 50 ($R_{50}$), 60 ($R_{60}$) and 70 ($R_{70}$) rpm, feed mixing time at three levels of 15 (T15), 18 ($T_{18}$) and 21 ($T_{21}$) min was analyzed with a factorial experiment in completely randomized design and three replications. The parameters included measuring the crushing of mixed ration, measurement and calculation of the uniformity of the mixed materials and the flowability of the mixed materials (Froud number). Data were analyzed using SAS software. The results showed that the highest amount of mixed material crushing (the lowest in geometric mean of material) was obtained at spiral revolution of 70 rpm and 21 min (treatment $R_{70}T_{21}$). The lowest forage crushing was obtained at spiral revolution of 50 rpm and 15 min (treatment $R_{50}T_{15}$) and significant difference with each other. The highest uniformity was obtained in treatment $R_{70}T_{21}$. Due to the great use of feeder mixer equipment in dairy farms and saving time on preparing a total mixed ration, total mixed ration should be provided in low revolution of the spiral axis and adequate time. With the reviews, $R_{50}T_{18}$ with standard deviation of 1.39 cm in crushing of mixed ration ($S_{gm}$) and the uniformity of the mixed ration with 1.63 g ($S_d$) is recommended.

**Key words**: Feeder mixer equipment, Uniformity, Total mixed ration.

*Corresponding author
E-mail: ali_behaeen@yahoo.com