

## بررسی رگرسیونی عوامل فنی بر بادبردگی و قطر قطرات در سمپاشی با روش آزمایشگاهی و نرم‌افزاری

فائزه بهزادی پور<sup>۱</sup>، محمود قاسمی نژاد رایینی<sup>۲\*</sup>، محمدمین آسودار<sup>۳</sup>، افشین مرزبان<sup>۴</sup>، سامان مهدی‌زاده آبدانان<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
  ۲. استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
  ۳. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
  ۴. استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
  ۵. استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴)

### چکیده

به منظور ارزیابی عوامل فنی سمپاش توربینی‌زرعی بر میزان بادبردگی، قطر قطرات به هنگام سمپاشی و تحلیل رگرسیونی آن، تحقیقی در مزارع کلزای دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در سال ۱۳۹۴ انجام شد. آزمایش به صورت آزمون فاکتوریل سه عامله در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل فشار سمپاشی با سه سطح ۱۰، ۲۵ و ۳۵ بار، دور پروانه با دو سطح ۱۹۹۸ و ۲۴۳۰ دور در دقیقه و سرعت پیشروی با دو سطح ۹ و ۱۳/۵ کیلومتر بر ساعت بودند. نتایج حاصله در سطح معنی‌داری ۱٪ نشان داد با افزایش فشار سمپاشی، دور پروانه و سرعت پیشروی، میزان بادبردگی افزایش، میزان نشست و قطر قطرات کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون بادبردگی، نشست و قطر قطرات نشان داد فشار سمپاشی بیشترین تاثیر را بر بادبردگی، میزان نشست و قطر میانه حجمی ۵۰٪ دارد.

واژه‌های کلیدی: بادبردگی، سمپاشی، قطر قطرات، مدل رگرسیونی

### مقدمه

طبق گزارش منابع وزارت کشاورزی میزان خسارت سالانه آفات در ایران به حدود ۳۰ درصد می‌رسد که با توجه به این مطلب، لزوم مبارزه با آفات ضروری است. تعداد عوامل خسارت‌زای مهم گیاهی و اقتصادی در کشور ایران بالغ بر ۶۰۷ عامل شامل آفات (حشرات، کنه‌ها، موش‌ها و پرندگان)، بیماری‌ها (باکتری، قارچ، نامات، ویروس و غیره) و علف‌های هرز است که علف‌های هرز با ۴۷ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند، همچنین سهم آفات و بیماری‌ها به ترتیب ۲۸ و ۲۵ درصد است. سالانه در سطحی حدود ۱۲ میلیون هکتار مبارزه شیمیایی صورت می‌گیرد (Anonymous, 2011).

بادبردگی خطر مهمی برای محیط زیست محسوب می‌شود چون بیشتر آفتکش‌ها سمی هستند و بخش زیادی از مسمومیت‌های ناشی از آفتکش‌ها بدلیل بادبردگی سموم است. بادبردگی در سال‌های اخیر بیشتر بخاطر اینکه سموم امروزی قوی‌تر از گذشته هستند و مقادیر بسیار اندک بادبردگی، منجر به آسیب گیاهان و حیوانات غیر هدف می‌گردد، تبدیل به

نگرانی جدی زیست محیطی گردیده است لذا به منظور بررسی میزان بادبردگی و قطر قطرات به هنگام سمپاشی، تحقیقی با بررسی اثرات فنی سمپاش توربینی زراعی انجام گرفت.

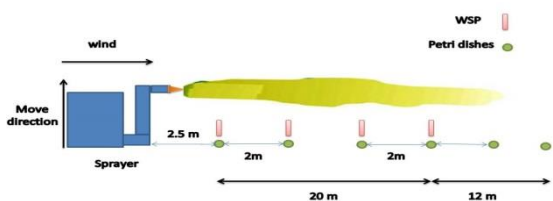
طی تحقیقات (Nuyttens et al., 2014) برای افشانک‌های بادبزی یکنواخت استاندارد با کاهش سرعت پیشروی از ۶ به ۴ کیلومتر بر ساعت، متوسط میزان بادبردگی از ۰/۰۴۲ به ۰/۰۱۴ درصد و برای افشانک‌های این جت از ۰/۰۰۰۲ درصد به ۰/۰۰۰۳ درصد کاهش یافت، همچنین طی پژوهشی، میزان بادبردگی در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت برای افشانک بادبزی یکنواخت استاندارد (XR11004)، ۰/۱۸ درصد و برای افشانک بادبزی یکنواخت پیش‌رونده‌دار (DG11004)، ۰/۰۸ درصد، و در سرعت ۱۲ کیلومتر بر ساعت برای افشانک (XR11004)، ۱/۵۵ درصد و برای افشانک (DG11004)، ۰/۰۳ درصد بود یعنی با افزایش سرعت، بادبردگی افزایش یافت (Van de zande et al., 2001).

همچنین در بررسی اثر فشار سمپاشی بر ویژگی‌های پاشش در افشانک‌ها، افزایش بادبردگی متناسب با افزایش فشار سمپاشی از ۲ به ۴ بار نتیجه شد که این میزان برای افشانک بادبزی یکنواخت استاندارد (F11003) از ۷/۳ درصد به ۲۰/۸ درصد افزایش یافت. (Nuyttens et al., 2007).

\* نویسنده مسئول : ghasemi.n.m@ramin.ac.ir

حجمی برابر باشد (Shafiee, 2008).

برای اجرای آزمایش‌ها در ابتدا رنگ مورد نظر که رنگ تارترازین زرد رنگ با کد ای ۱۰۲<sup>۱</sup> بود، به نسبت ۵ گرم در لیتر در مخزن سمپاش حل شد (Gil et al., 2015 and Balsari et al., 2014). سپس مطابق با استاندارد دستگاه، شعاع پاشش ۲۰ متر است که برای محاسبه بادبردگی تا مسافت ۳۲ متر جعبه‌هایی قرار گرفت و بر روی هر جعبه یک کارت حساس به آب و یک عدد پتری‌دیش نصب شد. کارت‌ها در هر تکرار تا شعاع پاشش دستگاه یعنی ۲۰ متر به تعداد ۱۱ عدد کارت نصب شدند، اما پتری‌دیش‌ها تا مسافت ۳۲ متری برای اندازه‌گیری میزان نشست خارج از عرض پاشش سمپاش (Wolf, 1993; Douzals et al., 2010; Gil et al., 2013 and Gil et al., 2015) قرار گرفتند. تراکتور در فاصله ۲/۵ متری از اولین جعبه حاوی کارت، به صورت عمود بر ردیف جعبه‌ها و پاشش در جهت باد، حرکت کرد (شکل ۱) (Gil et al., 2013).



شکل ۱- شماتیکی از سمپاشی و قرارگیری کاغذهای حساس به آب و پتری‌دیش‌ها

بعد از عملیات پاشش، با دستگاه اسپکتروفتومتری در آزمایشگاه (Douzals et al., 2010; Gil et al., 2014 and Holownicki et al., 2002) یک گراف مرجع رسم شد. پس از جمع‌آوری ظروف، محلول موجود در پتری‌دیش‌ها با آب مقطر شست‌وشو (شکل ۲) و رسوبات در هر پتری‌دیش طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Gil et al., 2013).

مقدار پتانسیل بادبردگی، درصد محلولی است که پس از عبور سمپاش، توسط جریان‌های هوایی به بیرون از منطقه مورد نظر حمل می‌شود که از رابطه (۲) محاسبه شد (Gil et al., 2015):

برای ثبت و اندازه‌گیری تعداد و اندازه قطرات پاشیده شده، از کارت‌های حساس به آب استفاده شد (Wolf et al., 2010 and Douzals et al., 2010). پس از اجرای هر تکرار سریعاً از هر کارت عکس‌برداری شد، سپس کارت‌ها با نرم افزار (Purhaji and Mazaheri tehrani, ImageJ

(2012) Czaczyk et al. با بررسی تأثیر فشار بر مقادیر قطر میانه حجمی ۵۰ درصد برای افشانک‌های هوالقایی (EZ11003) در فشار ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوپاسکال به ترتیب مقادیر ۵۲۸، ۴۸۳ و ۴۲۴/۵ میکرومتر بدست آورد بدین معنی که مقادیر قطر میانه حجمی با افزایش فشار، کاهش می‌یابد. مطابق با پژوهش (Peyman et al., 2010) بیشترین قطر میانه حجمی در فشار ۳ بار به مقدار ۵۴۶/۲۶۷ میکرومتر و کمترین آن در فشار ۵ بار به میزان ۳۹۲/۵۲۰ میکرومتر ثبت شد که مشخص است در فشارهای بالاتر، اندازه قطرات ریزتر و در فشارهای پایین‌تر، ذراتی با اندازه بزرگ‌تر تولید می‌شوند که هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر شود، زمان بیشتری در هوا معلق هستند و لذا احتمال بادبردگی افزایش می‌یابد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عوامل موثر بر بادبردگی و قطر قطرات سم، تحقیقی در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، در شمال شرقی اهواز در سال زراعی ۱۳۹۳ به صورت فاکتوریل سه عامله با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. عامل اول فشار سمپاشی با سه سطح (۱۰، ۲۵ و ۳۵ بار)، عامل دوم سرعت پروانه با دو سطح (۱۹۹۸ و ۲۴۳۰ دور در دقیقه) و عامل سوم سرعت پیشروی با دو سطح (۹ و ۱۳/۵ کیلومتر بر ساعت) اعمال شدند. جهت اجرای طرح از سمپاش توربینی زراعی (توربولاینر) ساخت ایتالیا که به تراکتور جاندر ۳۱۴۰ متصل شد، استفاده گردید. این طرح مطابق با تقویم زراعی سمپاشی محصول کلزا، در شرایط مزرعه و در هوای آرام با ثبت سرعت باد، رطوبت نسبی و دمای هوا اجرا شد. سرعت باد بین ۲/۵-۰ کیلومتر بر ساعت، رطوبت نسبی هوا بین ۲۹/۷ تا ۳۲/۵

$$D_i = \frac{(\rho_{smp} - \rho_{blk}) * V_{dil}}{\rho_{spray} * A_{col}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

درصد و دمای هوا بین ۱۸/۸ تا ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید.

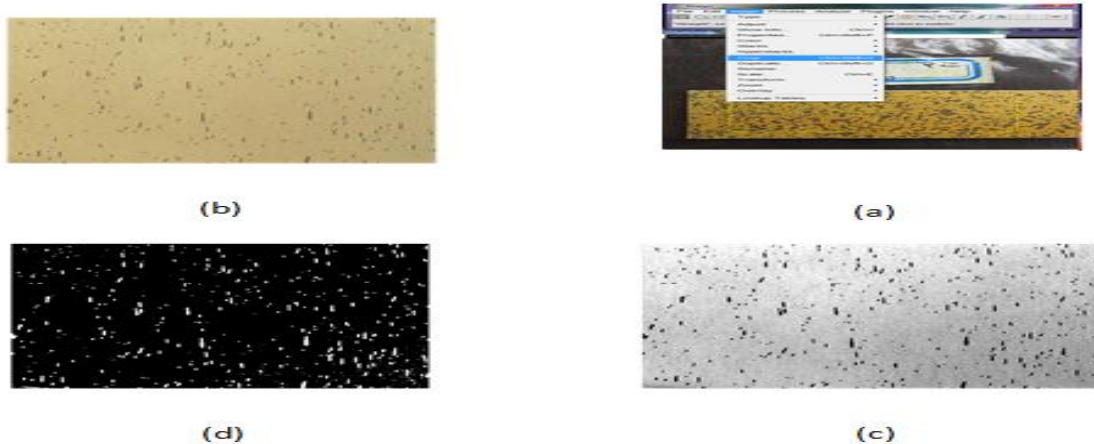
پس از کالیبره کردن و تعیین میزان دبی خروجی سمپاش بر حسب لیتر بر هکتار در چندین مرحله و با دقت زیاد، با انجام آزمایش، میزان بادبردگی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری و قطر میانه حجمی ۵۰ درصد قطرات با پردازش‌های تصویری، محاسبه و اندازه‌گیری شدند. قطر میانه حجمی طیف قطره را به دو قسمت تقسیم می‌کند، به طوری که حجم کل تمام قطره‌های کوچکتر از قطر میانه حجمی با حجم کل تمام قطره‌های بزرگتر از قطر میانه

(2013) برش زده شد.

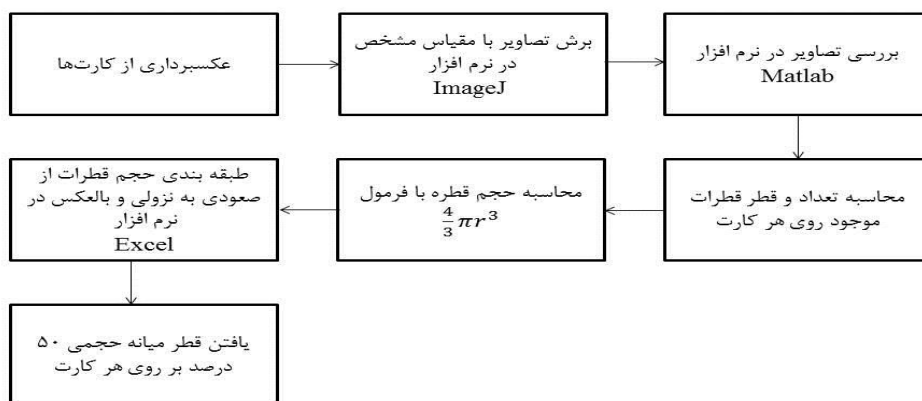
تصاویر برش داده شده و اندازه آن‌ها با نرم افزار Matlab در ۲ مرحله جهت تعیین قطر میانه حجمی ۵۰ درصد، مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند (شکل ۳ و ۴).

$$DPV = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{RSD} * 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$DPV$ : مقدار پتانسیل بادبردگی،  $D_i$ : رسوبات محلول در یک ظرف،  $n$ : شماره ظرف،  $RSD$ : رسوبات شاهد



شکل ۳- (a,b) مراحل برش عکس در نرم افزار ImageJ (c) تصویر تبدیل کارت برش زده شده به خاکستری در نرم افزار MatLab (d) تصویر باینری شده از کارت حساس به آب با روش Otsu



شکل ۴. فلوجارت محاسبه قطر میانه حجمی ۵۰ درصد

SAS 9.2 آنالیز و نتایج در اکسل ثبت و فرمول بندی شدند. ۰/۶۱ میلی‌متر افزایش یافت (شکل ۵ و ۶). علت این است که با کاهش فشار و کاهش دور پروانه (کاهش هوای خروجی برای پودرسازی قطرات)، قطر در قطرات افزایش یافت، بنابراین قطرات درشت‌تری تولید شد که این قطرات درشت‌تر دارای وزن، قطر و حجم بیشتری بودند، این قطرات مقاومت بیشتری در مقابل بادبردگی نشان دادند در نتیجه نشست بیشتری از قطرات محلول حاصل شد بنابراین میزان بادبردگی با فشار سمپاشی و دور پروانه رابطه‌ای مستقیم و با میزان نشست و قطر حجمی ۵۰٪ قطرات محلول دارای رابطه‌ای معکوس است.

نتایج بدست آمده از برنامه MatLab با نرم افزار آماری محاسبه همبستگی و ارائه مدل رگرسیونی با نرم‌افزار SAS 9.2 انجام و نمودار مربوط به آن رسم گردید.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری اثر پارامترهای فنی بر درصد بادبردگی، میزان نشست و قطر حجمی ۵۰٪ قطرات در جدول (۱) نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که با کاهش فشار از ۳۵ به ۱۰ بار و کاهش دور پروانه از ۲۴۳۰ به ۱۹۹۸ دور در دقیقه، افزایش میزان نشست از ۱۴۲/۳ به ۷۷/۴ لیتر بر هکتار، کاهش درصد بادبردگی از ۸/۱ به ۰/۹ و قطر حجمی ۵۰٪ قطرات از ۰/۱۷ به

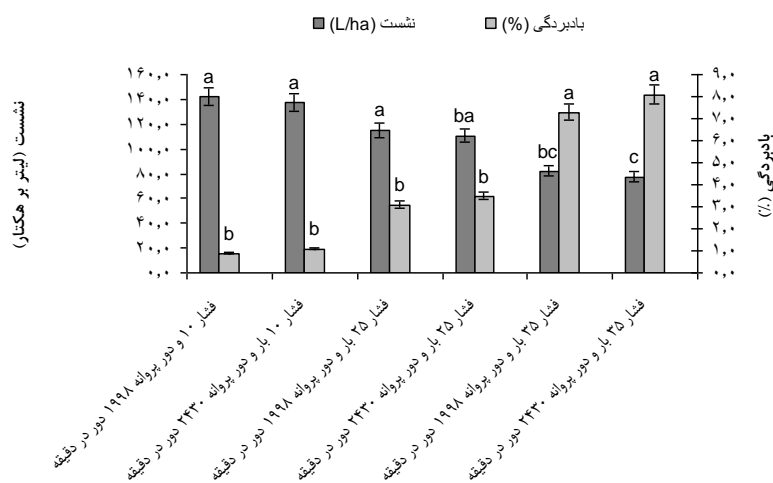
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر پارامترهای فنی سمپاش توربینی زراعی بر بادبردگی، نشست و قطر حجمی ۵۰٪ قطرات

میانگین مربعات (MS)			درجه آزادی	منابع تغییرات
قطر میانه حجمی ۵۰٪ (DV <sub>50</sub> )	بادبردگی (%)	نشست (l/ha)		
۰/۲۹۲**	۱۳۹/۹**	۱۰۸۷۷/۴**	۲	فشار سمپاشی
۰/۰۸۱**	۱/۸**	۱۹۳/۱**	۱	دور پروانه
۰/۰۲۷**	۹۱/۹**	۱۸۶۴۰/۷**	۱	سرعت پیشروی
۰/۰۱۲*	۰/۳**	۰/۳**	۲	فشار سمپاشی × دور پروانه
۰/۰۰۳ <sup>n.s</sup>	۲۰/۰۱**	۲۲۷/۸**	۲	فشار سمپاشی × سرعت پیشروی
۰/۰۰۴ <sup>n.s</sup>	۰/۰۵ <sup>n.s</sup>	۱/۱ <sup>n.s</sup>	۱	دور پروانه × سرعت پیشروی
۰/۰۰۲ <sup>n.s</sup>	۰/۰۲ <sup>n.s</sup>	۳/۵**	۲	فشار سمپاشی × دور پروانه × سرعت پیشروی
۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۲۴	خطای آزمایشی
۱۴/۶	۳/۰۲	۰/۱		ضریب تغییرات

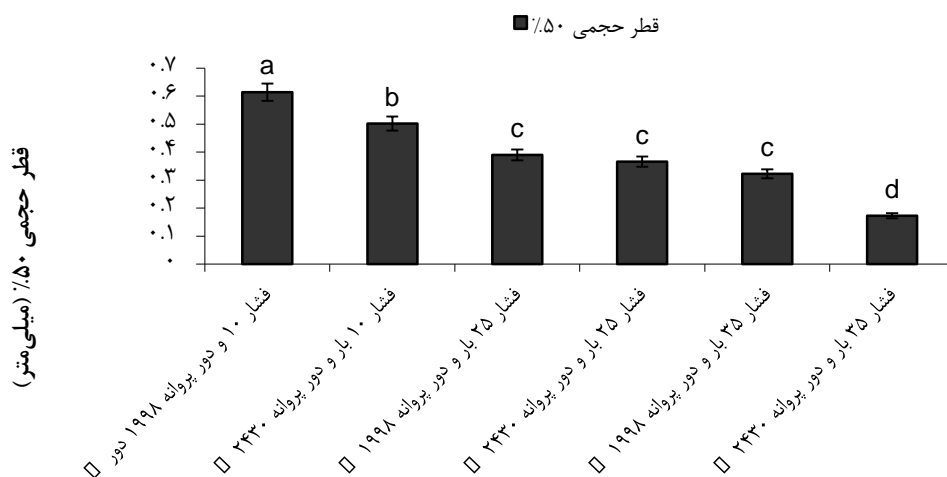
\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار

۳۹۲/۵۲۰ درصد ثبت کردند که با نتایج حاضر هم‌خوانی دارند. با افزایش فشار از ۱۰ به ۳۵ بار و افزایش سرعت پیشروی از ۹ به ۱۳/۵ کیلومتر بر ساعت، میزان نشست، ۶۳ درصد کاهش و بادبردگی ۹۴ درصد افزایش یافت بدین معنی که در بیشترین سرعت پیشروی (۱۳/۵ کیلومتر بر ساعت) و فشار سمپاشی (۳۵ بار)، بیشترین میزان بادبردگی (کمترین میزان نشست) و در کمترین سرعت پیشروی (۹ کیلومتر بر ساعت) و کمترین فشار سمپاشی (۱۰ بار)، بیشترین میزان نشست (کمترین میزان بادبردگی) حاصل شد (شکل ۷). افزایش فشار سمپاشی باعث کاهش قطر قطرات شد در نتیجه قطرات دارای قطر و وزن کمتر، در معرض بادبردگی بیشتری قرار گرفتند و نشست کمتری حاصل گردید همچنین با افزایش سرعت پیشروی، فشار هوا بر روی افشانک‌ها بیشتر شد که به ریزتر شدن اندازه و قطر قطرات کمک گردید بنابراین اثر افزایشی بر

Nuyttens *et al.*, (2007) اثر فشار سمپاشی بر ویژگی‌های پاشش در افشانک‌ها را بررسی کردند که با افزایش فشار سمپاشی از ۲ به ۴ بار برای افشانک‌های بادبزن یکنواخت استاندارد، میزان بادبردگی از ۷/۳ به ۲۰/۸ افزایش یافت. در پژوهشی از Landers and Farooq (2004) با بررسی اثر دور پروانه بر میزان پوشش گیاهان (یکنواختی پاشش سم)، کاهش دور پروانه از ۲۰۷۶ به ۱۵۵۷ دور در دقیقه افزایش قطر قطرات را نتیجه داد که باعث کاهش میزان بادبردگی از ۱۰/۱ به ۰/۰۴ درصد گردید. Czaczyk *et al.*, (2012) با بررسی تأثیر فشار بر مقادیر قطر میانه حجمی ۵۰ درصد برای افشانک‌های هوالقایی (EZ11003) در فشار ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوپاسکال به ترتیب مقادیر ۵۲۸، ۴۸۳ و ۴۲۴/۵ درصد به دست آوردند بدین معنی که قطر میانه حجمی با افزایش فشار، کاهش می‌یابد و نیز Peyman *et al.*, (2010) بیشترین قطر میانه حجمی در فشار ۳ بار را با ۵۴۶/۲۶۷ درصد و کمترین آن در فشار ۵ بار به میزان



شکل ۵. اثر فشار سمپاشی و دور پروانه بر میزان نشست (L/ha) و درصد بادبردگی



شکل ۶. اثر فشار سمپاشی و دور پروانه بر قطر حجمی ۵۰٪ قطرات

می‌باشد. معادله مربوط به تحلیل رگرسیونی بادبردگی مطابق با رابطه (۳) می‌باشد.

جدول ۲. تجزیه رگرسیونی بادبردگی

Variable	Estimate	Standard Error	P Value
Intercept	۵/۴۷۵	۲/۱۴۹	۰/۰۱۷
P	۰/۷۵۴	۰/۶۶۲	۰/۲۶۵
PF	-۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۱۸۷
PV	-۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۷
FV	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴
PFV	۰/۰۱۲	۰/۰۱۷	۰/۰۶۸
P <sup>2</sup>	-۰/۰۲۰	۰/۰۱۵	۰/۲۱
F <sup>2</sup>	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶
V <sup>2</sup>	۰/۱۷۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۶
PV: P <sup>2</sup>	۰/۰۴۵	۰/۰۲۷	۰/۱۱۱
P <sup>2</sup> : V <sup>2</sup>	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۷

P= فشار سمپاشی =F= دور پروانه =V= سرعت پیشروی

مطابق با جدول ۲، میزان خطای (انحراف) جذر میانگین مربعات با  $RSME=0.122$  نشان از تفاوت ناچیز میان مقدار متوجه فشار سمپاشی (P) با بیشترین ضریب ۰/۷۵ است. فشار نسبت به سایر عوامل بر کاهش قطر و ریز شدن قطرات و در نتیجه بادبردگی اثر بیشتری دارد بنابراین بیشترین ضریب در تحلیل رگرسیونی مربوط به فشار سمپاشی است. نتایج پژوهش‌های Nuyttens *et al.*, (2007) که افزایش فشار از ۲ به ۴ بار، افزایش بادبردگی از ۷/۳ درصد به ۲۰/۸ درصد را در پی داشت نیز تایید کننده این موضوع است.

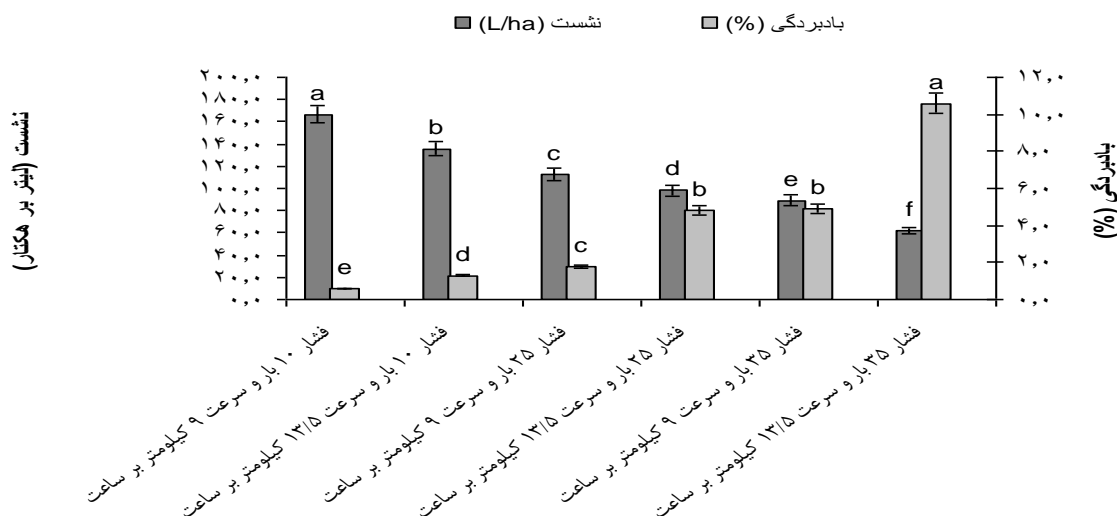
روی بادبردگی ذرات و اثر کاهشی بر میزان نشست ذرات محلول داشت. Erfanian *et al.*, (2009) در آزمایش بر روی افشانک‌ها، با افزایش فشار از ۳۰۰ به ۴۰۰ کیلوپاسکال، افزایش میزان بادبردگی را از ۱۷ به ۲۱ درصد و Nuyttens *et al.* (2014) برای افشانک‌های بادبزی یکنواخت استاندارد، با کاهش سرعت پیشروی از ۶ به ۴ کیلومتر بر ساعت، کاهش میزان بادبردگی را از ۰/۴۲ به ۰/۱۴ درصد نتیجه گرفتند همچنین Van de zande *et al.* (2001)، میزان رسوبات بادبردگی برای افشانک بادبزی یکنواخت استاندارد را در کمترین سرعت (۶ کیلومتر بر ساعت) ۰/۱۸ درصد و در بیشترین سرعت (۱۲ کیلومتر بر ساعت) ۱/۵۵ درصد به دست آوردند که با نتایج حاضر هم‌خوانی دارند.

تحلیل رگرسیونی میزان بادبردگی و قطر قطرات بصورت فاکتورهای وابسته به عوامل مستقل شامل فشار سمپاشی، دور پروانه و سرعت پیشروی به منظور بررسی روابط و نیز بررسی تأثیرگذارترین عامل بر بادبردگی و قطر قطرات، با نرم افزار متلب<sup>۱</sup> به روش گام به گام<sup>۲</sup> محاسبه شد.

جدول ۲، نتایج مربوط به تجزیه رگرسیونی بادبردگی برحسب متغیرهای مستقل فشار سمپاشی، دور پروانه و سرعت پیشروی را نشان می‌دهد.

پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی می‌باشد. ضریب تبیین  $R\text{-Square}=0.99$  بدست آمد که بیانگر معادله‌ای مطلوب می‌باشد، همچنین میزان معنی‌داری کلی با  $P\text{-Value}=1.58e^{-35}$  نشان دهنده معادله‌ای معنی‌دار در سطح ۱٪

1. Matlab  
2. Stepwise



شکل ۷. اثر فشار سمپاشی و سرعت پیشروی بر میزان نشست (L/ha) و درصد بادبردگی

نشست برحسب متغیرهای مستقل فشار سمپاشی، دور پروانه و سرعت پیشروی را نشان می‌دهد.

مطابق با جدول ۴، میزان خطای (انحراف) جذر میانگین مربعات با  $RSME=0.135$  نشان از تفاوت ناچیز میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی می‌باشد. ضریب تبیین  $R-Square=1$  بدست آمد که بیانگر معادله‌ای مطلوب می‌باشد، همچنین میزان معنی‌داری کلی با  $P-Value=2.47e^{-59}$  نشان دهنده معادله‌ای معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد. معادله مربوط به تحلیل رگرسیونی میزان نشست مطابق با رابطه (۴) می‌باشد.

$$Y = 67.514 + 5.3974P - 0.00091PF - 0.35 PV - 0.0021FV + 0.0001e^{-06}PFV + 0.004 P^2 + 1.17e^{-05} F^2 - 0.89 V^2 - 2.403 e^{-07} P^2FV + 1.48 P^3F \quad (4)$$

همانطور که در رابطه ۴ مشاهده می‌گردد با توجه به ضرایب مربوط به فشار، دور پروانه و سرعت پیشروی، بیشترین تاثیر بر میزان نشست قطرات متوجه فشار سمپاشی (P) با بیشترین ضریب ۵/۳۹ است. همانطور که قبلا اشاره شد فشار اثر بیشتری بر بادبردگی و نهایتا نشست دارد که در این تحلیل نیز اثر بیشتر فشار، تایید کننده آن است.

جدول ۳ مربوط به تجزیه واریانس تحلیل رگرسیونی برآورد شده برای بادبردگی است.

مطابق با جدول ۳، با توجه به مقدار P value، رابطه خطی (Linear) و غیر خطی (Non Linear) در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند، همچنین میزان نقض برازش (Lack of Fit) با ۰/۰۱ نشان دهنده رابطه‌ای مطلوب با کمترین نقض برازش می‌باشد.

جدول ۳. تجزیه واریانس مدل رگرسیونی بادبردگی

	Df	Sum of square	Mean square	F value	P value
Total	۳۵	۴۱۴/۹۱	۱۱/۸۵۵		
Model	۱۰	۴۱۴/۵۴	۴۱/۴۵۴	۲۷۹۹/۶	۹/۹۵۵
.Linear	۸	۴۱۴/۲	۵۱/۷۷۶	۳۴۹۶/۷	۸/۹۷۸
.Non Linear	۲	۰/۳۳۵	۰/۱۶۷	۱۱/۳۴۲	۰/۰۰۰۳
Residual	۲۵	۰/۳۷۰	۰/۰۱۴۸		
.Lack of Fit	۱	۰/۰۱	۰/۰۱۰	۰/۶۹۴	۰/۴۱۲
.Pure Error	۲۴	۰/۳۵	۰/۰۱۴		

در رابطه ۳ مشاهده می‌گردد با توجه به ضرایب مربوط به فشار، دور پروانه و سرعت پیشروی، موثرترین عامل بر بادبردگی قطرات جدول ۴، نتایج مربوط به تجزیه رگرسیونی میزان

$$Y = 5.47 + 0.75 P - 0.0004 PF - 0.032 PV - 0.0013FV + 5.0636e^{-06} PFV - 0.02 P^2 + 2.033 ) \quad (3)$$

$$e^{-06} F^2 + 0.17 V^2 + 6.8072 e^{-05} P^3V - 0.0002P^2V^2$$

جدول ۴. تجزیه رگرسیونی میزان نشست

Variable	Estimate	Standard Error	P Value
Intercept	۶۷/۵۱۴	۰/۹۰۶	$2/41 \times 10^{-13}$
P	۵/۳۹۷	۰/۱۸۸	$0/241 \times 10^{-8}$
PF	-۰/۰۰۰۹	۰/۰۴۴	$0/94 \times 10^{-5}$
PV	۰/۳۵۲	۰/۰۱۰	$8/81 \times 10^{-10}$
FV	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱
PFV	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۳	$0/31 \times 10^{-6}$
P <sup>2</sup>	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۱۹۶
F <sup>2</sup>	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	$0/63 \times 10^{-7}$
V <sup>2</sup>	-۰/۰۸۹	۰/۰۲	۰/۰۰۰۲
P*PFV	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۹
PF:P <sup>2</sup>	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۴

P= فشار سمپاشی =F دور پروانه =V سرعت پیشروی

معادله مربوط به تحلیل رگرسیونی قطر حجمی مطابق با رابطه (۵) می‌باشد.

$$Y = -0.812 + 0.081 P - 2.043 e^{-05} PF + 0.0089 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$PV + 0.00015 FV - 2.31 e^{-06} PFV - 0.0026$$

$$P^2 - 2.12 e^{-07} F^2 - 0.017 V^2 - 8.79 e^{-05}$$

$$P^2V + 2.57 e^{-08} P^3F$$

جدول ۵ مربوط به تجزیه واریانس تحلیل رگرسیونی برآورد شده برای میزان نشست است.

جدول ۵. تجزیه واریانس مدل رگرسیونی میزان نشست

	Df	Sum of square	Mean square	F value	P value
Total	۳۵	۴۱/۰۵۳	۱۱/۷۳		
Model	۱۰	۴۱/۰۵۳	۴۱۰۵/۳	$2/24e^{+05}$	$5/85 \times 10^{-26}$
•Linear	۸	۴۱/۰۵۲	۵۱۳۱/۶	۴۱۷/۰۴	$5/23 \times 10^{-26}$
•Non Linear	۲	۰/۶۰۳	۰/۳۰۱۹	۱۶/۵۴۵	۰/۰۱۷
Residual	۲۵	۰/۴۵۶	۰/۰۱۸۲		
•Lack of Fit	۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۹۷۴
•Pure Error	۲۴	۰/۴۵۶	۰/۰۱۹		

جدول ۶. تجزیه رگرسیونی قطر حجمی قطرات

Variable	Estimate	Standard Error	P Value
Intercept	-۰/۸۱۲	۰/۳۸	۰/۰۴۵
P	۰/۰۸۱	۰/۰۷۹	۰/۳۱۶
PF	-۰/۰۱۳	۰/۰۵۸	۰/۴۴۶
PV	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۸۳
FV	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۹۲
PFV	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۲۳۴
P <sup>2</sup>	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۸۰
F <sup>2</sup>	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۳۶۵
V <sup>2</sup>	-۰/۰۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۶۳
P: PV	-۰/۰۵۹	۰/۰۴	۰/۱۵۵
PF: P <sup>2</sup>	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹

P= فشار سمپاشی =F دور پروانه =V سرعت پیشروی

همانطور که در رابطه ۵ مشاهده می‌گردد با توجه به ضرایب مربوط به فشار، دور پروانه و سرعت پیشروی، بیشترین تاثیر بر قطر حجمی ۵۰٪ قطرات متوجه فشار سمپاشی (P) با بیشترین ضریب ۰/۰۸۱ است. نتایج حاصله از تجزیه واریانس، حاکی از آن بود که فاکتور فشار، اثر معنی‌داری بر قطر حجمی ۵۰٪ قطرات دارد بدین معنی که با افزایش فشار سمپاشی، ذرات ریزتر با قطر و وزن کمتری تشکیل می‌شوند و در تحلیل رگرسیونی، فشار با بیشترین ضریب به عنوان اثرگذارترین فاکتور تایید کننده آن است. (Fatahi et al., 2015) عوامل موثر بر بادبردگی در افشانک‌های بادبزی را مورد بررسی قرار

مطابق با جدول ۵، رابطه خطی و غیر خطی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد، همچنین میزان نقض برازش (Lack of Fit) با  $0/000019$  نشان از رابطه‌ای مطلوب با کمترین نقض برازش می‌باشد. جدول ۶، نتایج مربوط به تجزیه رگرسیونی قطر حجمی قطرات برحسب متغیرهای مستقل فشار سمپاشی، دور پروانه و سرعت پیشروی را نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۶، میزان خطای (انحراف) جذر میانگین مربعات با  $RSME=0.056$  نشان از تفاوت ناچیز میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی می‌باشد. ضریب تبیین  $R-Square=0.9$  بدست آمد که بیانگر معادله‌ای مطلوب می‌باشد، همچنین میزان معنی‌داری کلی با  $P-Value=4.18e^{-10}$  نشان دهنده معادله‌ای معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.

شاید بتوان به متفاوت بودن عوامل مورد بررسی دانست. جدول ۷ مربوط به تجزیه واریانس تحلیل رگرسیونی برآورد شده برای قطر حجمی قطرات است.

دادند که نتایج تحلیل رگرسیونی بین عوامل فشار، ارتفاع سمپاشی، نوع افشانک و سرعت باد نشان داد که سرعت باد با ضریب ۰/۷۲۵ بیشترین اثر را بر قطر میانه حجمی قطرات داشت که البته تفاوت بین اثرگذارترین عامل بر بادبردگی را

جدول ۷. تجزیه واریانس مدل رگرسیونی قطر حجمی قطرات

	Df	Sum of square	Mean square	F value	P value
Total	۳۵	۰/۸۱۵	۰/۰۲۳		
Model	۱۰	۰/۷۳	۰/۰۷۳۴	۲۲/۶۴	۰/۰۰۰۱
•Linear	۸	۰/۷۰۶	۰/۰۸۸	۲۷/۳۱	۰/۰۰۰۰۷
•Non Linear	۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۴۰	۴/۳۴	۰/۰۲۴
Residual	۲۵	۰/۰۸۱	۰/۰۰۳۲		
• Lack of Fit	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۱۲	۰/۷۲
•Pure Error	۲۴	۰/۰۸۰۶	۰/۰۰۳		

مقدار پیش بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی نتیجه شد که بیانگر مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی شده مطلوب است. همچنین در بررسی‌های رگرسیونی، از میان سه فاکتور موثر (فشار سمپاشی، دور پروانه و سرعت پیشروی)، فشار سمپاشی با بیشترین ضریب ۰/۷۵، ۵/۳۹ و ۰/۰۸۱ به ترتیب موثرترین عامل بر بادبردگی، میزان نشست و قطر حجمی ۵۰ درصد قطرات شناخته شد.

مطابق با جدول ۷، رابطه خطی در سطح ۱٪ و رابطه غیرخطی در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد، همچنین میزان نقض برازش (Lack of Fit) با ۰/۰۰۰۴ نشان از رابطه‌ای مطلوب با کمترین نقض برازش می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش فشار سمپاشی و دور پروانه، میزان بادبردگی تا ۸۸٪ افزایش یافت ولی میزان نشست و قطر قطرات به ترتیب ۴۵٪ و ۷۲٪ کاهش یافتند. همچنین با افزایش سرعت پیشروی و فشار سمپاشی، کاهش میزان بادبردگی تا ۹۴٪ و کاهش میزان نشست تا ۶۳٪ بود. در بررسی تحلیل رگرسیونی و معادله خطی، با توجه به ضریب‌های تبیین بالاتر از ۹۰ درصد، تفاوت ناچیزی بین

### سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان که بخشی از هزینه این تحقیق را تأمین نمودند تشکر می‌گردد.

### REFERENCES

- Anonymous. 2011. Agricultural statistics. Agricultural Jihad province of Khuzestan. *Department of Planning and Economic Information and Communication Technology Center*. Vol. 2. Pp: 421. (In Farsi).
- Balsari, P., Marucco, P. and Tamagnone, M. 2007. A test bench for the classification of boom sprayers according to drift risk. *Crop protection*. 26. Pp: 1482- 1489.
- Czaczyk, Z., Kruger, G. and Hewitt, A. 2012. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. *Journal of plant protection research*. 52 (4). Pp: 415- 420.
- Douzals, J. P., Sinfort, C. and Cotteux, E. 2010. Spraying quality assessment of a mist blower used on banana crops. *International conference on agricultural engineering*. Pp: 1-11.
- Erfanian, M., Alizadeh, a., Mousavi Bayeghi, M., Ansari, H. and Baghani, G. 2009. The potential effects of evaporation and drift on the efficiency of sprinkler irrigation systems in agricultural plains of Khorasan Razavi of the province. North and South. *International Conference on Water Resources University of Shahrood*. Pp: 9. (In Farsi)
- Fatahi, H., Abdollahpor, Sh. A., Esmaeelzade, A. and Moghadamvahed, M. 2014. Evaluation of an experimental model for flat fan nozzles In the wind tunnel with the help of image processing. *Journal of Agricultural Machinery*. 4(2). Pp: 266- 274.
- Gil, E., Balsari, P., Gallart, M., Liorens, J., Marucco, P., Andersen, P. G., Fabregas, X. and Liop, J. 2015. Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench. *Crop protection*. 56. Pp: 58- 68.
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fabregas, X. and Gallart, M. 2013. Use of a terrestrial lidar sensor for drift



- detection in vineyard spraying. *Sensors*. 13. Pp: 516- 534.
- Holownicki, R., Doruchowski, G., Swiechowski, W. and Jaeken, P. 2002. Methods of evaluation of spray deposit and coverage on artificial targets. *Electronic Journal of publish agricultural universities*. 5 (1). Pp: 1-7.
- Landers, A. and M. Farooq. 2004. Reducing Drift and Improving Deposition in Orchards. *Cornell University, NYSAES, Geneva, NY 14456, USA*. Pp: 380- 384.
- Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Beatens, K. and Snock, B. 2007. The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *American society of agricultural and biological engineers (ASABE)*. 50(4). Pp: 1129-1140.
- Nuyttens, D., Zwertvaegher, I. and Dekeyser, D. 2014. Comparison between drift test bench results and other drift assessment techniques. *International advances in pesticide application*. 122. Pp: 293-302.
- Peyman, L., Abdollah pour, Sh. A., Rana bonab, B., Moghadam, M., Mahmoudi, A., Abbas ghazvini, M. and Jarolmasjed, S. 2010. Evaluation the factors affecting at the size of the droplets spraying to stabilize the volume mean diameter of the particles. *First National Conference on agricultural mechanization and new technologies in Ahvaz*. Pp: 1-11. (In Farsi)
- Purhajy, F. And Mazahery Tehrani, M. 2013. Study of image processing software ImageJ on the formulation sesame cream with soybean flour. *Twenty-first National Congress of Food Science and Technology*, University of Shiraz. (in Farsi)
- Shafiee, A. 2008. Principle of agricultural machinery. *Tehran university press*. Pp:498. (In Farsi)
- Van de Zande, J. C., Stallinga, H., Michielsen, J. M. G. P. and Van Velde, P. 2001. Effect of sprayer speed on spray drift. *Wageningen University and Research Center- Agro technology and Food Innovations (WUR- A&F)*. 17. Pp: 339a-339j.
- Wolf, T. E., Graver, R., Wallace, K., Shewchuk, S. R. and Maybank, J. 1993. Effect of protective shields on drift and deposition characteristics of field sprayers. *Canadian Journal of Plant Science*. 73. Pp: 1261-1993.