

نشریه فنی

کاربرد پهپاد سمپاش برای مهار پوره سن گندم

محمود صفری و عزیز شیخی گرجان



بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی

کاربرد پهباد سمپاش برای مهار پوره سن گندم

تهیه و تدوین:

محمود صفری و عزیز شیخی گرجان

اعضای هیئت علمی به ترتیب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

و مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور

سال انتشار: ۱۴۰۴



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: نشریه فنی

عنوان نوشتار: کاربرد پهپاد سمپاش برای مهار پوره سن گندم

نگارانگان: محمود صفری و عزیز شیخی گرجان

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه‌آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۴



مسئولیت صحت مطالب با نگارانگان است.

شماره ثبت ۶۸۴۴۸ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

مخاطبان نشریه

شرکت‌های خدماتی مکانیزاسیون، شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات پهبادی، کشاورزان، کارشناسان و مروجان کشاورزی

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه فنی با:

- آفت سن گندم
- روش‌های سمپاشی
- ارزیابی مزرعه‌ای استفاده از پهباد
- مزایا و معایب استفاده از پهباد
- مبارزه با سن گندم

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه.....	۱
۲- سن گندم.....	۲
۳- سمپاشی.....	۶
۳-۱- انواع سمپاش های مورد استفاده	۶
۳-۲ - کالیبراسیون پهپادسمپاش	۱۳
۳-۳- کیفیت سمپاشی	۱۴
۴- ارزیابی مزرعه‌ای پهپادسمپاش.....	۱۵
۴-۱- اندازه گیری بازده مزرعه‌ای	۱۵
۴-۲- باد بردگی	۱۵
۴-۳- اندازه گیری کارایی سمپاشی	۱۷
۴-۴- تنظیم پارامترهای فنی برای دستیابی به کارایی بالای سمپاشی	۱۷
۵- مزایا و معایب سمپاشی مزارع گندم با پهپاد سمپاش.....	۱۸
۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....	۱۹
۷- فهرست منابع.....	۲۰

۱- مقدمه

یکی از محصولات مهم در بین تولیدات کشاورزی گندم است. میزان تولید گندم در ایران در سال زراعی ۴۰۲-۴۰۱ حدود ۱۶/۶ میلیون تن بوده است. از نظر سطح زیر کشت، از مجموع ۷/۵ میلیون هکتار زمین زیر کشت گندم ۲/۸ میلیون هکتار آبی و ۴/۷ میلیون هکتار دیم و متوسط عملکرد گندم آبی و دیم نیز به ترتیب ۳/۷ و ۱/۳ تن در هکتار بوده است (بی‌نام، ۱۴۰۲). سن گندم بیش از ۱۵ میلیون هکتار از مزارع گندم در کشورهای ترکیه، ایران، عراق، سوریه، لبنان و اردن را آلوده کرده است. این آفت یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید غلات، به‌خصوص گندم و جو در اکثر نقاط ایران است و مخرب‌ترین آفت مزارع گندم و جو در ایران محسوب می‌شود. هر سال برای کنترل این آفت بیش از یک و نیم میلیون هکتار زمین سمپاشی می‌شود. میزان خسارت و کاهش عملکرد بر اثر این آفت در مزارع جو ۲۰ تا ۳۰ درصد و در مزارع گندم ۵۰ تا ۶۰ درصد برآورد شده است (بی‌نام، ۱۳۹۹). سن گندم برخی ترکیبات شیمیایی را به درون دانه وارد می‌کند که موجب کاهش کیفیت آرد حاصل از غلات می‌شود. با کنترل این آفت می‌توان افزایش کمی و کیفی تولید را به طور چشمگیری بهبود بخشید. تاکنون از روش‌های متعددی برای مبارزه با سن گندم استفاده شده است، اما با وجود زیان‌ها و خطرهای ناشی از سمپاشی، کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی همچنان اصلی‌ترین روش مبارزه با این آفت است. روش‌های کنترل شیمیایی شامل استفاده از سمپاش‌های زمینی و هوایی است. روش‌های زمینی رایج باعث مصرف بالای سم، لهیدگی محصول، افزایش مصرف انرژی و نیروی کارگری می‌شود. در روش‌های زمینی سرعت عملیات سمپاشی نسبت به روش‌های هوایی پایین‌تر است. در سال‌های اخیر با منسوخ‌شدن استفاده از هواپیماهای سمپاش، از پهپاد سمپاش برای مبارزه با سن گندم استفاده شده است. فناوری پهپاد سمپاش در مزارع دیم و به‌ویژه در زمین‌های شیب‌دار اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا در این زمین‌ها رساندن آب برای سمپاشی یکی از مشکلات اساسی است و استفاده از تراکتور نیز محدودیت دارد.

پهپادهای سمپاش مجهز به افشانک‌های میکروتر می‌توانند ذرات را در محدوده معین مه‌بار کنند. باتوجه‌به مشکلات به‌کارگیری سمپاش‌های زمینی، در این نشریه فنی ضمن معرفی پهپاد سمپاش، توصیه‌های لازم برای کاربرد پهپاد سمپاش به منظور مبارزه با پوره سن ارائه می‌شود.

۲- سن گندم

سن گندم^۱ از مهم‌ترین آفات گندم است. این آفت با تغذیه از گندم در مراحل مختلف رویشی موجب کاهش عملکرد (خسارت کمی) و از بین بردن خاصیت نانوائی (خسارت کیفی) می‌شود. خسارت سن گندم تاریخچه‌ای بسیار طولانی دارد و در سال‌های اخیر شدیدتر شده است. مشاهدات در سراسر مناطق سن خیز کشور نشان داده است که این حشره دو زیستگاه متفاوت دارد که این موضوع منجر به تغییراتی در اندازه آفت شده است. گروهی از این حشره در زیستگاه‌های طبیعی و ارتفاعات، ضمن تغذیه از گیاهان غیرزراعی، بی‌آنکه پروازهای قابل توجهی داشته باشند به تولید مثل می‌پردازند؛ گروه دوم از این حشره که از گندم تغذیه می‌کنند، به‌خصوص آن‌هایی که به مزارع آبی حمله‌ور می‌شوند، جثه‌ای بزرگ‌تر دارند. مناطق انتشار سن گندم در حال حاضر از سمت غرب کشور به مرزهای ایران با عراق و ترکیه و از طرف شرق کشور به مرزهای کشور افغانستان و پاکستان می‌رسد. به‌عبارت‌دیگر از مرزهای غربی تا شرقی به‌جز کویرهای مرکزی فلات ایران این حشره فعال است. در شمال کشور، به‌جز در نوار ساحلی دریای خزر، در دیگر مناطق سن فعالیت خود را گسترش داده و تا مرزهای ترکمنستان، آذربایجان و ارمنستان پیش رفته است. در جنوب کشور نیز فقط نوار ساحلی دریای عمان و خلیج‌فارس و قسمتی از جلگه خوزستان از حملات این آفت مصون مانده است (بی‌نام، ۱۴۰۳).

سن گندم زمستان را به‌صورت حشره کامل زیر علف‌های هرز در دامنه کوه‌ها، در دشت‌ها و باغ‌ها زیر برگ‌های ریخته شده و پوستک درختان، در شکاف زمین، و حتی در

1- *Eurygaster integriceps*

مزارع طی می‌کنند. پس از افزایش تدریجی دما در اواخر زمستان یا اوایل بهار، مهاجرت سن مادر یا سن زمستان گذران از مناطق زمستان گذران به مزارع گندم رخ می‌دهد. در شکل ۱ سن مادری یا زمستان گذران و سن نسل جدید گندم نشان داده شده است.



شکل ۱- سن زمستان گذران (به رنگ تیره) و سن نسل جدید (به رنگ روشن) روی خوشه گندم
سن‌های مادر پس از استقرار در مزرعه به مدت یک تا دو هفته تغذیه و سپس جفت‌گیری می‌کنند. این سن‌ها در پشت برگ‌های میزبان در جاهای متراکم مزرعه و معمولاً در دو ردیف هفت‌تایی تخم‌گذاری می‌کنند. تخم‌ریزی آفت در مرحله ساقه رفتن شروع شده و تا مرحله بعد از گل دهی ادامه می‌یابد. سن‌های کامل نسل جدید در مرحله خمیری در مزارع ظاهر می‌شوند و مهاجرت آنها به‌سوی مکان‌های تابستانه تا مرحله برداشت ادامه دارد.



(ب)

(الف)

شکل ۲- پوره سن ۳ (الف) و پوره سن ۴ (ب)

خسارت سن‌های مادر بعد از پرواز از ارتفاعات کوهستانی و ترک محل‌های زمستان‌گذرانی به‌طرف مزارع سبز غلات و تغذیه از شیرۀ ساقه و برگ‌های جوان و سبز گندم صورت می‌گیرد. سن‌های مادر با فرو کردن خرطوم خود به داخل بافت‌های سبز بوته گندم از مواد غذایی مخصوصاً پروتئین گلوتن گندم تغذیه می‌کنند. در این حالت، خوشه‌ها خشک و رنگ آن سفید می‌شود. خسارت در این مرحله کم است و به جمعیت و تراکم حشره بستگی دارد. اما چنانچه تعداد حشره در هر مترمربع مزرعه یک یا بیش از یک باشد، کنترل شیمیایی ضرورت پیدا می‌کند. بعد از یک تا دو هفته تغذیه از برگ‌های جوان و ساقۀ گندم، سن مادر جفت‌گیری می‌کند و هر حشره ماده حدود ۷۰ تا ۸۰ تخم در دسته‌های ۱۴ تایی (دو دسته ۷ تایی موازی هم) زیر برگ‌های سبز و جوان گندم می‌گذارد (شکل ۳).



شکل ۳- تخم سن گندم در مراحل مختلف رشدی و پوسته سفید رنگ تخم‌های تفریخ یافته در پشت برگ‌های سبز گندم

تخم‌ها پس از مدتی باز می‌شوند و پوره‌ها (نوزادان سن) خارج می‌شوند. در سنین ۴ و ۵ پورگی حداکثر تغذیه برای کامل شدن دوره پورگی و پیدایش حشرات بالغ جدید دیده می‌شود. پوره‌ها ۵ مرحله را می‌گذرانند تا به حشرۀ کامل نسل جدید سن تبدیل شوند. پوره‌های سن اول خیلی کوچک و تیره‌رنگ هستند و در قسمت پایین بوته‌های گندم و پشت برگ‌ها در سایه زندگی می‌کنند. پوره‌های سن اول تا اواسط سن دوم بدون حرکت و تغذیه می‌مانند. پس از این مرحله، فعالیت تغذیه آنها شروع می‌شود. هر چه پوره‌ها بزرگ‌تر می‌شوند از دانه گندم بیشتر تغذیه می‌کنند و خسارت بیشتری می‌زنند. پوره‌ها و حشرات بالغ نسل جدید برای بقا، تولید مثل، توانایی پرواز به ارتفاعات، تابستان‌گذرانی و زمستان‌گذرانی خود

احتیاج به تغذیه کافی از دانه‌های خوشه گندم دارند. در این زمان، دانه‌ها در خوشه گندم بین مرحله شیری و برداشت محصول (دانه سخت) قرار دارد. این مرحله یکی از خطرناک‌ترین مراحل زندگی سن گندم است. آنها با وارد کردن ترشحات دهانی خود در دانه گندم، کیفیت نانوایی محصول را پایین می‌آورند و در این مرحله می‌تواند تا صد درصد به دانه‌های گندم خسارت وارد کنند. از نشانه‌های دانه‌های سن زده گندم، یک نقطه تیره‌رنگ با هاله‌ای بی‌رنگ یا سفید دور آن است که در متن زرد دانه گندم کاملاً مشخص است (شکل ۴).



شکل ۴- نقطه تیره رنگ و هاله ای بی رنگ دور دانه گندم

روش‌های مختلفی مانند روش زراعی و شیمیایی برای مبارزه استفاده می‌شود. در روش زراعی، مجموعه ای از راهکارها می‌تواند از طغیان‌های جدی سن گندم، بی آنکه نیاز به کاربرد آفت کش باشد، جلوگیری کند. این راهکارها بیشتر نقش پیش گیری دارند و شامل برداشت زودهنگام، زود کاشتن یا کاشت وارپته‌های مقاوم‌تر، وجین کردن کامل علف‌های هرز در تمام طول فصل، رعایت تناوب کشت با محصولات غیر از غلات و به زراعی در کشت غلات است که باعث می‌شود گیاه بهترین رشد و نمو را داشته باشد و در نتیجه زودتر برداشت شود.

در روش شیمیایی، همه حشره کش‌ها اثر مرگومیر لازم را روی سن گندم دارند ولی کاربرد آنها همیشه باعث کاهش جمعیت سن گندم نمی‌شود. برای مبارزه با پوره سن گندم از آفت کش دلتامترین ۲/۵ درصد EC به میزان ۱ لیتر در هکتار استفاده می‌شود (شیخی

گرجان، ۱۳۹۸). باید دقت شود اگر کاربرد آفتکش‌ها در زمان مناسب از نظر شرایط آب‌وهوایی صورت نگیرد، اثر لازم را نخواهد داشت و سمپاشی باید تکرار شود. به‌طور کلی حشرات کوچک‌تر خیلی راحت‌تر با حشره‌کش کشته می‌شوند. بهترین زمان سمپاشی علیه سن غلات به‌خصوص سن گندم، وقتی است که جمعیت غالب، پوره سن ۲ باشد.

۳- سمپاشی

۳-۱- انواع سمپاشی‌های مورد استفاده

برای مبارزه با سن گندم در کشور غالباً از دستگاه‌های سمپاش زمینی بهره‌گیری می‌شود. از متداول‌ترین دستگاه‌های سمپاش مورد استفاده در مزارع گندم می‌توان به سمپاش‌های هیدرولیک لانس دار پشت تراکتوری و توربینی زراعی (توربو لاینر) اشاره کرد (شکل ۵).



(الف)



(ب)

شکل ۵- سمپاش لانس دار (الف) و سمپاش توربو لاینر (ب)

استفاده از این سمپاش‌ها علاوه بر مصرف نسبتاً زیاد آفتکش‌ها، آلودگی آب‌و‌خاک و محیط‌زیست را به دنبال دارد و بنابراین، کاربرد آنها در مزارع توجیه‌پذیر نیست. در این

سمپاش ها قطره هایی که قطر آنها کمتر از ۱۰۰ میکرون است، به راحتی بر اثر جریان شدید هوا تا فاصله ۴۰ متری از افشانک منتقل می شوند و قطره های درشت به محض خروج از افشانک پس از طی مسافت کوتاهی به زمین سقوط می کنند، به طوری که حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد از حجم محلول مصرفی با این نوع سمپاش به هدر می رود. در صورت وارد شدن سمپاش به مزرعه، ۵ تا ۱۰ درصد سطح زیر کشت گندم لهیده می شود (شکل ۵- الف) که این موضوع در گندم های آبی متراکم اهمیت ویژه ای دارد (صفری و همکاران، ۱۳۸۸). در سمپاش ها زمینی و هوایی از افشانک های مختلفی استفاده می شود. این افشانک ها شامل بادبزی (تی جت)، مخروطی توخالی و توپر، سندانی و صفحات چرخان (میکرونر) است. در پهپاد های سمپاش از دو نوع افشانک بادبزی و میکرونر استفاده شده است (شکل ۶). در نوع بادبزی، همه ویژگی ها مشابه ویژگی افشانک های بادبزی روی بوم های سمپاش زمینی است.



(الف)

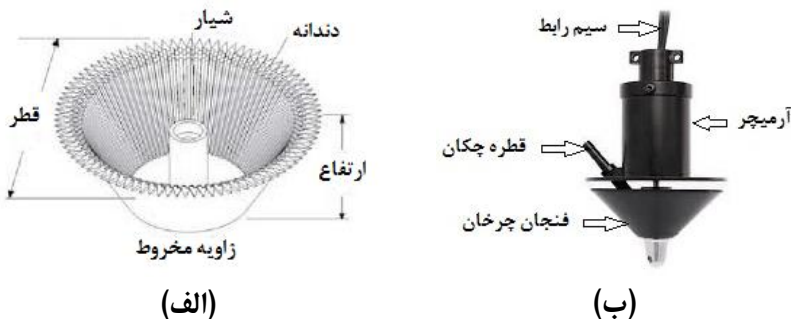


(ب)

شکل ۶- پهپاد مجهز به افشانک میکرونر (الف) و بادبزی (ب)

در پهپادهای سمپاش مجهز به افشانک های میکرونر، فنجان چرخان یکی از قسمت های مهم است که توسط یک آرمیچر با دور بالا می چرخد (شکل ۷). منبع تأمین توان آرمیچر، باتری ۶ ولت ۱۲ آمپر است که در مسیر آن سیم های رابط و کلید قطع و وصل جریان تعبیه شده است. جنس فنجان های چرخان از پلی اتیلن و یال های داخلی آن به صورت شعاعی مضرس شده است. زمانی که محلول سم توسط پمپ به سمت افشانک حرکت می کند، باتوجه به قطر خروجی سوراخ افشانک، محلول در داخل فنجان ریخته می شود. با

چرخش فنجان در دور زیاد (۱۰۰۰۰-۶۰۰۰ دور بر دقیقه)، محلول سم در اثر نیروی گریز از مرکز به قطرات ریز (معمولاً کمتر از ۲۵۰ میکرون) تبدیل می‌شود. در این سمپاش‌ها با تعویض افشانک و تغییر قطر سوراخ محل خروج سم، میزان خروجی مایع سم از ۵ تا ۴۰ لیتر بر هکتار تغییر می‌کند. انتخاب نوع افشانک به نوع سم و قطر ذرات محلول سم بستگی دارد. برای پاشش علف‌کش‌ها از افشانک‌هایی با قطر بزرگتر استفاده می‌شود تا ذراتی با قطر بیشتر (۲۵۰ میکرون) و باد بردگی کمتر به دست آید (امیرشقایق و همکاران، ۱۳۸۹). افشانک یکی از مهم‌ترین بخش‌های سمپاش است و دیگر اجزای سمپاش وظیفه رساندن محلول سمی به آن را بر عهده دارند. با چرخش فنجان چرخان، محلول سم به ذرات ریز تبدیل و قطر ذرات باتوجه به هدف سمپاشی انتخاب می‌شود. ترکیب فنجان چرخان با فضای داخلی داندانه دار، قطره چکان (روزنه) در پهنادهای مجهز به میکرونر باعث ریزش قطرات می‌شود (شکل ۷). قطر افشانک بین ۰/۹ تا ۲/۱ میلی‌متر متغیر است. هرچه قطر روزنه‌ها افزایش یابد دبی خروجی نیز افزایش می‌یابد. افشانک در محلی مناسب روی پوسته آرمیچر تعبیه شده است و شیلنگ پمپ به آن متصل است. قطر متوسطی که کارخانه‌ها برای روزنه منظور می‌کنند معمولاً ۱/۵ میلی‌متر است (Anisa et al., 2015).



شکل ۷- مشخصات فنجان چرخان (الف) و موقعیت قطره‌چکان یا روزنه (ب)

سازندگان سمپاش‌های میکرونر از افشانک‌های مختلف برای اهداف سمپاشی استفاده می‌کنند. برای مثال، در یک شرکت از ۴ نوع افشانک فلزی استفاده و برای راهنمایی کاربران تعدادی خطوط روی هر افشانک حک شده است. هرچه تعداد خطوط افزایش یابد قطر خروجی افشانک بیشتر و دبی خروجی و محلول مصرفی در هکتار نیز بیشتر است.

یکی از عوامل مهم در تعیین میزان محلول مصرفی در هکتار، سرعت پیشروی پهپاد است؛ بهترین روش برای تعیین میزان محلول مصرفی در هکتار این است که مخزن با مقدار معینی از آب پر شود (مثلاً ۵ لیتر) و از کاربر خواسته شود پهپاد را با سرعت معینی معمولاً ۵ متر بر ثانیه در مزرعه حرکت دهد تا زمانی که مخزن خالی شود، در این شرایط با تعیین سطح سمپاشی شده، محلول مصرفی در هکتار تعیین می‌شود. سمپاش‌های زمینی با محلول تحت فشار، اولین سمپاش‌هایی هستند که اختراع شده‌اند و بر اساس تحت فشار قراردادن محلول سم کار می‌کنند. بیشتر سمپاش‌های مورد استفاده در ایران از این نوع هستند. تمام سمپاش‌های پستی که با تلمبه یا موتور بنزینی کار می‌کنند، سمپاش‌های لانس‌دار پشت تراکتوری و فرغونی و سمپاش‌های بوم‌دار رایج از این نوع هستند. کاربرد سمپاش‌های محلول تحت فشار زمینی دارای محدودیت‌های زیر است (صفری و همکاران، ۱۳۸۸):

- مقدار مصرف محلول سم زیاد است که در زمین‌های دیم و مناطق دورافتاده، آبرسانی برای این هدف مشکل‌ساز است. در زمین‌های شیب‌دار و محل‌هایی که امکان تردد تراکتور وجود ندارد مصرف محلول زیاد سم یکی از مشکلات اصلی محسوب می‌شود.
- در زمین‌های کوچک، مانورپذیری تراکتور محدودیت دارد و بازده مزرعه‌ای عملیات سمپاشی کاهش می‌یابد.
- در محصولات متراکم و بلند، حرکت چرخ‌های تراکتور باعث لهیدگی محصول می‌شود و علاوه بر آن تاج محصول به بدنه تراکتور و سمپاش برخورد می‌کند و صدمه می‌بیند.

- در صورت استفاده از سمپاش‌های لانس‌دار پشت تراکتوری، علاوه بر مشکلات ذکرشده، یکنواخت نبودن پاشش، گریز ناپذیر است بدین معنا که برخی مناطق دو بار سمپاشی می‌شود و برخی دیگر اصلاً سمپاشی نمی‌شود.
 - سمپاش‌های پشت تراکتوری نیاز به منبع تأمین توان (تراکتور) دارند و در زمین‌های کوچک استفاده از آنها به صرفه نیست.
 - انرژی و سوخت بیشتری مصرف می‌شود و کارکرد تراکتور باعث آلودگی محیط زیست خواهد شد.
- در پهپادهای سمپاش از دو نوع افشانک میکرونر و تی جت استفاده می‌شود. باتوجه به هدف سمپاشی باید پیش از استفاده از پهپاد، افشانک استفاده شده در پهپاد بررسی و پس از آن سمپاشی کرد. به کارگیری پهپادهای کشاورزی و به خصوص پهپاد سمپاش، گشایش جدیدی در زمینه هوشمندسازی و افزایش کارایی سمپاشی در مزارع به وجود آورده است.
- پهپادها^۱ (پرنده‌های هدایت‌پذیر از دور) از نظر ساختار به دودسته پهپادهای بال ثابت و پهپادهای بال متحرک تقسیم می‌شوند. پهپادهای سمپاش از پهپادهای بال متحرک هستند. پهپادهای بال متحرک نیز انواع گوناگونی دارند که یکی از رایج‌ترین آن‌ها پهپادهای دارای چند روتور (مولتی روتور)^۲ است. پهپادهای با چهار روتور (کوادکوپتر^۳) دارای چهار موتور و چهار ملخ هستند. از انواع دیگر این نوع پهپادها می‌توان به پهپادهای شش روتور (هگزاکوپتر^۴) و پهپادهای هشت روتور (اکتاکوپتر^۵) اشاره کرد. پهپادهای با هشت روتور، به دو صورت وجود دارند. در برخی از مدل‌ها هشت ملخ به هشت بازوی اصلی وصل شده اند و در برخی دیگر پهپاد دارای چهار بازوی اصلی است و هر بازوی اصلی به دو بازوی فرعی

1. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

2- Multi rotors

3- Quadcopter

4- Hexacopter

5- Octocopter

وصل شده و ملخ‌ها و موتورها به سر بازوهای فرعی متصل شده‌اند (سعیدی راد و همکاران، ۱۴۰۰).

هر پهیپاد سمپاش از اجزای مکانیکی و الکترونیکی متعددی تشکیل شده است. اجزای اصلی پهیپاد سمپاش شامل بدنه، موتور، ملخ، باتری، افشانک، مخزن، پمپ، شیلنگ‌های رابط، رادیو کنترل، سامانه خلبان خودکار، سیستم خنک‌کننده داخلی، حسگرهای راداری و سیستم‌های هشدار است. بدنه پهیپاد معمولاً از مواد سبک، مقاوم و منعطف ساخته شده است. وظیفه بدنه اصلی، ایجاد استحکام و شرایط مناسب برای تأمین پروازی ایمن است. بدنه به‌گونه‌ای طراحی شده است که مرکز جرم پرنده در وسط آن باشد. زیرا اگر تقارن تأمین نشود پرنده به یک سمت متمایل خواهد شد. بدنه همچنین باید انعطاف‌پذیری لازم را داشته باشد تا بتواند ارتعاش‌ها و ضربه‌ها را جذب کند. جنس بدنه معمولاً از فیبر کربن است. این ماده ضمن داشتن استحکام بالا، چگالی آن پایین است و قابلیت جذب ارتعاش‌ها دارد. بازوهای پهیپاد برای حمل و نقل بهتر قابلیت جمع‌شدن دارند. جنس بازوها از فیبر کربن است و یک سر آنها در سازه اصلی با اتصالات مخصوص محکم شده است و سر دیگر آن به دسته‌موتور متصل است. داخل این بازوها معمولاً توخالی است و سیم‌های انتقال قدرت داخل آنها قرار می‌گیرند (باقری، ۱۳۹۳). در پهیپاد، برای تبدیل انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری به انرژی مکانیکی برای تولید نیروی بالابرنده از موتورهای الکتریکی جریان مستقیم^۱ بدون جاروبک^۲ استفاده می‌شود. این موتورها در مقایسه با موتورهای جریان مستقیم معمولی دارای عمر طولانی‌تر، سرعت و بازده بالاتر و همچنین تداخل الکترومغناطیسی کمتری هستند. ملخ‌های پهیپاد (برخلاف پره‌های هلی کوپتر) گام ثابت دارند و تنها پارامتر مهاری، تنظیم سرعت چرخش آنهاست. اندازه ملخ‌های پهیپاد متناسب با دور موتور، توان خروجی و وزن آن انتخاب می‌شود. جهت ملخ‌ها دوبه‌دو برخلاف جهت یکدیگر است. معمولاً از

1 . Direct Current (DC)

2. Brushless Direct Current Electrical Motors

باتری‌های لیتیوم - پلیمری چندسلولی برای تأمین توان مورد نیاز پهپادها استفاده می‌شود. باتری‌های پهپاد با شارژهای مخصوصی شارژ می‌شوند (باقری، ۱۳۹۳).

افشانک‌ها در پهپادسمپاش بر اساس نوع کاربرد قابل تعویض هستند. جریان هوای ایجاد شده در اثر چرخش ملخ‌ها باعث می‌شود تا ذرات محلول به سمت پایین هدایت شوند و محلول حشره کش بهتر روی هدف بنشینند. افشانک‌ها روی پهپاد معمولاً به دو صورت نصب می‌شوند. افشانک‌ها در نوع اول در زیر ملخ‌ها و در نوع دوم روی یک بوم نصب می‌شوند و بوم به پهپاد وصل می‌شود. در این حالت به دلیل امکان نصب تعداد بیشتری افشانک، عرض پاشش بیشتر است. افشانک‌ها معمولاً از نوع میکرونر یا بادبزی (تی جت) هستند. پهپادهای سمپاش معمولاً یک مخزن پلاستیکی برای حمل محلول دارند. این مخزن‌ها در ابعاد متفاوت با ظرفیت‌های گوناگون هستند. مخزن معمولاً در زیر پهپاد بین پایه‌ها قرار داده می‌شود. برای کاهش حجم پهپاد، در برخی از مدل‌ها باتری پرنده روی مخزن نصب می‌شود. محلول حشره کش با یک پمپ از مخزن مکیده می‌شود و با فشار از طریق افشانک‌ها خارج می‌گردد. از رادیو ماهر برای ماهر پرواز از راه دور استفاده می‌شود. برای ایجاد ارتباط بین بخش هوایی پهپاد و رادیو ماهر از یک فرستنده - گیرنده رادیویی بی‌سیم استفاده می‌شود که با ارسال امواج رادیویی با فرکانس مشخص ارتباط بین رادیو ماهر و پهپاد را برقرار می‌کند.

پایین‌بودن میانگین سطح زیر کشت به‌ازای هر فرد در ایران، شیب دار بودن غالب اراضی دیم و وجود محدودیت در تأمین آب برای سمپاشی معمولی، باعث ترغیب در استفاده از فناوری سمپاشی با پهپاد برای ماهر سن گندم می‌شود. به دلیل قدرت مانور بیشتر و راندمان بالا (مساحت سمپاشی شده در روز) این نوع سمپاش باعث می‌شود در زمان محدودی سطوح بیشتری از مزارع آلوده به سن گندم سمپاشی شود. فناوری بالای پهپاد سمپاش و وجود تعداد عوامل زیاد و مؤثر در کیفیت سمپاشی موجب می‌شود که شرکت‌های تخصصی سمپاشی از افراد ماهر و آگاه برای هدایت سمپاش پهپاد استفاده کنند و همین امر نوید آن را خواهد داد که در آینده کنترل شیمیایی با استفاده از پهپاد افزایش یابد. در این سامانه در

صورت رعایت نشدن اصول اولیه ایمنی، احتمال آسیب دیدگی افراد و دستگاه وجود دارد و از این رو تحقیقات توسعه‌ای و ترویجی برای بومی‌سازی این نوع سمپاش ها از ضروریات است.

۲-۳ - کالیبراسیون پهپاد سمپاش

باتوجه به توصیه‌های ارائه شده در خصوص مقدار محلول مصرفی در هکتار، سمپاش هوایی کالیبره می‌شود. محلول توصیه شده برای کنترل آفات ۳۰-۱۰ لیتر در هکتار، برای مبارزه با بیماری‌های گیاهی ۳۰-۲۰ لیتر در هکتار، مبارزه با علف‌های هرز ۳۰-۲۰ لیتر در هکتار و پخش کود مایع ۴۰-۲۰ لیتر در هکتار توصیه شده است (Woods, 2003). در پهپادهای سمپاش بعد از تعیین مقدار محلول مصرفی در هکتار، ارتفاع سمپاشی نیز باید مشخص شود. ارتفاع افشانک‌های میکرونر باید ۴۰-۳۰ سانتی متر بالای سر محصول انتخاب شود؛ بنابراین ارتفاع پاشش، مجموع ارتفاع محصول و ارتفاع میکرونر از محصول است. باتوجه به مقدار محلول مصرفی در هکتار و ارتفاع پاشش و مراجعه به دفترچه راهنمای استفاده از دستگاه، نوع درپچه مهار جریان تعیین می‌شود (صفری و ظریف نشاط، ۱۴۰۱). در صورتی که اطلاعات شرکت سازنده در دسترس نباشد، روش دیگری برای کالیبراسیون در پیش گرفته می‌شود. برای این منظور، زیر هر یک از افشانک‌ها ظرفی مدرج قرار داده خواهد شد و مقدار خروجی محلول را در یک دقیقه اندازه‌گیری می‌کنند. با جمع مقادیر محلول خروجی از هر افشانک مقدار محلول بر حسب لیتر در دقیقه محاسبه می‌شود. مقدار پاشش محلول سم در هر هکتار با در نظر گرفتن سرعت پیشروی و عرض پاشش از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رستمی، ۱۳۹۴).

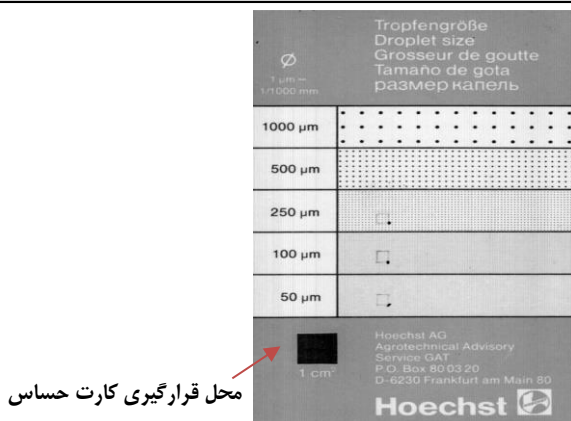
$$q = \frac{Q \times W \times V}{600} \quad (1)$$

که در آن V: سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)، Q: دبی (لیتر بر دقیقه)، q: مقدار محلول در هکتار (لیتر) و W: عرض کار مؤثر (متر) است.

۳-۳- کیفیت سمپاشی

یکنواختی پاشش معمولاً به کمک کاغذهای حساس به آب تعیین می‌شود که در دسترس اغلب کشاورزان و کاربران نیست؛ از این رو به‌منظور فراهم کردن کیفیت پاشش بهتر، لازم است کاربران مراحل را رعایت کنند که باعث بالابردن کیفیت پاشش می‌شود از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- استفاده از پهپاد سمپاش مناسب با توجه به هدف سمپاشی: برای مبارزه با افت سن گندم استفاده از پهپاد سمپاش مجهز به افشانک‌های میکروتر توصیه می‌شود.
 - دور افشانک‌های چرخان طوری تنظیم شود که قطره‌ها نه خیلی ریز شوند که دچار باد بردگی شوند نه خیلی درشت باشند که مناسب مبارزه با افت سن نباشند.
 - فاصله افشانک‌ها روی پهپاد طوری تنظیم شود که همپوشانی‌ها مناسب باشند و در سراسر عرض پاشش یکنواختی وجود داشته باشد.
 - در زمانی که سرعت باد بالاست (بیشتر از ۵ متر بر ثانیه)، سمپاشی متوقف شود و اگر محدودیت زمانی وجود داشته باشد مسیر سمپاشی در جهت عمود بر مسیر باد باشد.
 - ارتفاع پاشش در محدوده ۱/۵ - ۱ متری بالای محصول باشد.
- در صورت در دسترس بودن کارت‌های حساس به آب، پس از سمپاشی این کارت‌ها را در ابتدا با اسکنر اسکن می‌کنند و پس از آن با نرم‌افزار، ضریب کیفیت پاشش را به دست می‌آورند. پس از اسکن کردن کارت‌ها می‌توان به کمک نصب نرم‌افزار Deposit Scan تعداد ذرات، قطر متوسط حجمی و عددی و سرانجام ضریب کیفیت سمپاشی را تعیین کرد (Kharim et al., 2019). در بسیاری از موارد، کاغذهای حساس با نمونه‌های کاغذ استاندارد یا داده‌های استاندارد مقایسه و قطر ذرات با این روش و بادقت کمتر تعیین می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸- تعیین قطر ذرات به کمک نمونه استاندارد

۴- ارزیابی مزرعه‌ای پهباد سمپاش

۴-۱- اندازه‌گیری بازده مزرعه‌ای

بازده مزرعه‌ای عبارت است از نسبت ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای به ظرفیت نظری مزرعه‌ای. برای اندازه‌گیری بازده مزرعه‌ای ابتدا ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار زمین) اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری این شاخص، مدت زمان لازم برای سمپاشی یک هکتار زمین اندازه‌گیری و پس از آن ظرفیت نظری و در نهایت بازده مزرعه‌ای محاسبه می‌شود (صفری و باقری، ۱۴۰۰).

۴-۲- باد بردگی

باد بردگی عبارت است از درصد ذراتی که به هدف مورد نظر نمی‌رسند، سرعت باد و قطر ذرات از پارامترهای مهم در باد بردگی است (شکل ۹). برای جلوگیری از باد بردگی، سمپاشی باید در ارتفاع کم صورت گیرد (Chen et al., 2016). در سرعت‌های زیاد استفاده از پهبادهای مجهز به افشانک‌های میکرونر برای سمپاشی توصیه نمی‌شود. وجود دمنده در قسمت فوقانی افشانک‌ها می‌تواند نشست ذرات را به سمت پایین تقویت کند و باعث افزایش

نفوذ در داخل محصول شود. کاربرد افشانک (قطره چکان) با سوراخ‌های بزرگ‌تر در برابر باد بردگی عملکرد بهتری نشان داده‌اند.



شکل ۹- بادبردگی در پهباد سمپاشی

به منظور مبارزه با آفات و از جمله سن گندم بهتر است از افشانک‌های میکرونر استفاده شود. یکی از مشخصات بارز افشانک‌های میکرونر، تولید ذرات ریزبین ۵۰ تا ۲۵۰ میکرون است که به دلیل ریزبودن قطرات اگر باد به طور ملایم وزیده شود، باعث بادبردگی ذرات می‌شود؛ بنابراین، پیش از آغاز سمپاشی باید مطمئن بود باد نمی‌وزد و دیگر اینکه ارتفاع پاشش را باید طوری تنظیم کرد که حداقل بادبردگی حاصل شود و پاشش به‌خوبی پیش رود طوری که محلول سم به هدف برسد. در صورت وجود باد ملایم، سمپاشی باید در جهت عمود بر مسیر وزش باد تا ذرات محلول سم به سمت مزرعه (نه به سمت مزرعه هم‌جوار) هدایت شود.

در تعدادی از پهبادهای در مزارع گندم و برای اهداف مختلف سمپاشی، از افشانک‌های تی جت استفاده شده است. این افشانک‌ها مشابه سمپاش‌های بوم دار در فاصله‌ای مناسب از یکدیگر قرار گرفته‌اند و قطر قطره‌های پاشیده شده نسبت به افشانک‌های میکرونر درشت‌تر است. بر اساس بررسی‌ها، افشانک‌های میکرونر برای مبارزه با آفات از جمله آفت سن کارایی لازم را دارند ولی در خصوص علف‌های هرز تعدادی از منابع استفاده از آنها را تأیید نمی‌کنند (ظریف و همکاران، ۱۴۰۱) و توصیه شده است از افشانک‌های بادبزنی استفاده

شود. افشانک‌های تی جت، نسبت به افشانک‌های میکرونر، به دلیل داشتن قطره‌های درشت‌تر بادبردگی کمتری دارند.

۴-۳- اندازه‌گیری کارایی سمپاشی

برای نمونه‌برداری از پوره و سن نسل جدید از تور حشره‌گیری استفاده می‌شود. برای این منظور، در روش تور زدن برای هر کرت انتخابی حداقل سه بار تور ۵ تایی زده می‌شود و داده‌ها به درصد کارایی تبدیل می‌شوند. پیش از برداشت محصول، از هر پلات ۲۰۰ خوشه گندم به طور تصادفی انتخاب و بعد از پاک کردن، پنج نمونه ۱۰ گرمی دانه گندم جدا می‌شود. در نمونه‌های ۱۰ گرمی، تعداد دانه سالم، شکسته و سن‌زده شمرده خواهد شد و در پایان از مجموع داده‌ها درصد سن‌زدگی هر تیمار مشخص می‌شود. بدین ترتیب در پایان، میانگین درصد سن‌زدگی و میانگین کارایی محاسبه می‌شود. شناسایی آفت با روش‌های دستی مانند کادر اندازی یا تور زنی برای تعیین نرم مبارزه کاری سخت و زمان‌بر است که با کاربرد پهپادهای تصویربردار و پردازش تصاویر دیجیتال می‌توان مناطق آلوده و شدت آلودگی را با سرعت و دقت بالا و بدون خسارت زدن به محصول شناسایی کرد.

۴-۴- تنظیم پارامترهای فنی برای دستیابی به کارایی بالای سمپاشی

ارتفاع مناسب سمپاشی از روی محصول ۱/۵ متر و سرعت مناسب پهپاد ۵ متر بر ثانیه است. دز مصرفی در کلیه روش‌های سمپاشی برای مبارزه با سن گندم ثابت است. میزان محلول مصرفی در هکتار به منظور مبارزه با سن گندم ۱۵ لیتر در هکتار است. از نظر کارایی افشانک‌ها، افشانک میکرونر برای مبارزه با سن گندم کارایی لازم را دارد. کارایی پهپاد سمپاش با سمپاشی میکرونر پشته‌ی نشان داده است که کارایی پهپاد در کنترل پوره‌های سن گندم شبیه سمپاش میکرونر پشته‌ی و بیش از ۹۵ درصد است. سمپاش پهپاد از لحاظ بالا بودن ظرفیت مزرعه‌ای و پایین بودن محلول مصرفی در آن، بادبردگی کمتر و احتمال پایین تر آلودگی کاربر دارای برتری نسبی است. بازده سمپاش‌های پهپاد و میکرونر پشته‌ی به ترتیب

۵/۵ و ۰/۸ هکتار بر ساعت است و مقدار محلول مصرفی آن ها نیز به ترتیب ۱۴/۶۴ و ۳۰ لیتر در هکتار است؛ بنابراین پهپاد سمپاش مجهز به میکرونر همان کارایی سمپاش های میکرونر زمینی را دارد ضمن اینکه از نظر صفات ذکر شده برتری هایی نیز دارد (شیخی گرجان، ۱۳۹۸).

۵- مزایا و معایب سمپاشی مزارع گندم با پهپاد سمپاش

جدول ۱- مزایای استفاده از پهپاد سمپاش در مزارع گندم

مزایا	توضیحات
دقت بالا در پاشش محلول سم	محلول سم را به صورت یکنواخت و دقیق روی مزرعه می پاشد. این دقت بالا باعث کاهش مصرف محلول سم و جلوگیری از آلودگی محیط زیست می شود
صرفه جویی در زمان و هزینه	به جای استفاده از نیروی انسانی و تجهیزات سنگین، سمپاشی در مدت زمان کوتاهی به انجام می رسد. این امر به ویژه در مزارع وسیع، می تواند باعث کاهش هزینه های نیروی کارگری و تجهیزات شود.
کاهش آسیب دیدگی گیاه (لهیدگی)	یکی از مشکلات اصلی در روش های سنتی، آسیب رسیدن به محصول است. با توجه به نبود تردد در سطح مزرعه، مقدار لهیدگی بر اثر به کارگیری پهپاد صفر است.
دسترسی به مناطقی که دسترسی به آن ها دشوار است	در مزارعی که دسترسی به آن ها دشوار است یا دارای شیب زیاد هستند، پهپاد قادر به پرواز است و می تواند به راحتی سمپاشی کند.
نظارت مستمر و بهبود کیفیت کار	برخی از پهپادهای پیشرفته دارای دوربین های تصویربرداری و سامانه های تحلیل داده هستند که اطلاعات دقیقی در مورد وضعیت سلامت گیاه ارائه می دهند. این اطلاعات به کشاورز کمک می کند تا در زمان مناسب سمپاشی شود و مصرف محلول آفت کش ها کاهش یابد.
کاهش خطرهای زیست محیطی	برخلاف روش های سنتی که ممکن است محلول سم به مناطق غیرمطلوب مانند آب های زیرزمینی یا منابع آب پاشیده شوند، پهپادها می توانند آفت کش ها را با دقت بالا تنها روی گیاه موردنظر بپاشند.

جدول ۲- معایب استفاده از پهپاد سمپاشی در مزارع گندم

معایب	توضیحات
هزینه‌های اولیه بالا	یکی از معایب استفاده از پهپاد برای سمپاشی مزارع گندم، هزینه‌های اولیه خرید پهپاد است. این تجهیزات ممکن است برای برخی کشاورزان با بودجه محدود گران تمام شوند. علاوه بر این، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات نیز ممکن است بر هزینه‌های کلی افزوده شوند.
نیاز به آموزش و مهارت	پهپادها نیاز به مهارت‌های خاص برای مهار و استفاده دارند. کشاورزان باید آموزش‌های لازم را برای استفاده از این دستگاه‌ها ببینند و با نرم‌افزارهای مربوطه آشنا شوند. این موضوع ممکن است در ابتدا زمان‌بر و پرهزینه باشد.
محدودیت در ظرفیت	پهپادها برای سمپاشی، محدودیت ظرفیت دارند یعنی ممکن است برای مزارع بزرگ نیاز به استفاده از چندین پهپاد یا چندین نوبت پرواز باشد. این مسئله ممکن است در پروژه‌های بزرگ و در مزارع وسیع، به‌ویژه در مناطق با دسترسی دشوار، چالش باشد.
وابسته بودن کیفیت سمپاشی و پرواز پهپاد به شرایط جوی	شرایط جوی می‌تواند تأثیر زیادی بر عملکرد پهپادها داشته باشد. بادهای شدید، باران یا شرایط نامساعد آب‌وهوایی می‌تواند کارکرد پهپادها را مختل کند و حتی باعث آسیب دیدگی پهپاد شود. شرایط جوی ممکن است زمان‌بندی سمپاشی را تحت تأثیر قرار دهد.
محدودیت‌های قانونی	در برخی از کشورها، استفاده از پهپادها برای سمپاشی با محدودیت‌های قانونی مواجه است. در ایران، اگرچه استفاده از پهپادها در کشاورزی در حال گسترش است، اما ممکن است برخی محدودیت‌ها در زمینه‌های پروازی، مهار ترافیک هوایی و مجوزهای لازم برای استفاده از این تجهیزات وجود داشته باشد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در انتخاب سمپاشی مزارع گندم برای مبارزه با سن گندم باید عواملی مانند کارایی سمپاشی، یکنواختی پاشش، مقدار مصرف محلول سم، مصرف انرژی، بادبردگی، راحتی کار، درصد لهیدگی، عملکرد محصول و هزینه‌های سمپاشی در نظر گرفته شوند. پهپادهای سمپاش از وسایل مؤثر و مناسب به منظور سمپاشی برای مبارزه با آفت سن گندم هستند مشروط بر آنکه عوامل فنی و اقتصادی در نظر گرفته شوند. برای مبارزه با پوره سن گندم

استفاده از پهپادهای مجهز به افشاشک‌های میکرونر و یا بادبزی توصیه می‌شود. هزینه سمپاشی به ازای هر هکتار با پهپاد یکی از عوامل اصلی انتخاب این روش سمپاشی است؛ چنانچه هزینه عملیات سمپاشی با پهپاد با روش‌های رایج اختلاف زیادی داشته باشد هرچند از نظر فنی برتری داشته باشد، کشاورزان استفاده از روش رایج را ترجیح می‌دهند.

۷- فهرست منابع

- امیر شقاقی، ف و صفری، م. ۱۳۸۹. مقایسه عملکرد فنی سمپاش‌های متداول در مزارع گندم. نشریه فنی، انتشارات موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۳۷. صفحه ۱۸.
- باقری، ن. ۱۳۹۳. توسعه و ارزیابی عمودپرواز بدون سرنشین ویژه تصویربرداری چندطیفی از مزارع کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. بی‌نام. ۱۳۹۹. سن گندم. سایت سپانه. <https://sepaneh.om>.
- بی‌نام. ۱۴۰۲. آمار نامه کشاورزی، جلد اول، محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز آمار، فناوری، اطلاعات و ارتباطات.
- بی‌نام. ۱۴۰۳. آشنائی با آفت سن گندم. <https://agroXir.om/Newsdetails>.
- سعیدی‌راد، م.ح. ولی‌خانی، ب، ظریف نشاط، س و صفری، م. ۱۴۰۰. مبنای و کاربرد پهپادها در کشاورزی و اصول فنی سمپاشی با آنها. نشریه فنی. به شماره ثبت ۶۰۰۸۷ مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.
- شیخی گرجان، ع. ۱۳۹۸. ارزیابی پهپاد سمپاش در کنترل شیمیایی پوره سن گندم. گزارش پژوهشی شماره ۵۵۸۷۲، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور.
- صفری، م و ظریف نشاط، س. ۱۴۰۱. معرفی و کاربرد سمپاش پستی میکرونر برای اراضی کوچک دیم. دستورالعمل فنی. به شماره ثبت ۶۱۳۴۸ مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.
- صفری، م و باقری، ن. ۱۴۰۰. معیارهای انتخاب و ارزیابی پهپاد سمپاش. دستورالعمل فنی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

ظریف نشاط، س.، سعیدی راد، م.ح. صفری، م.، معتمدالشریعتی، ح.، ر و ناصر، م. ۱۴۰۱. ارزیابی پهپاد سمپاش در مبارزه با علف‌های هرز گندم و مقایسه آن با روش‌های مرسوم. تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی. جلد ۲۳، شماره ۸۲، ص ۷۲-۵۳.

رستمی، م.ع. ۱۳۹۴. کالیبراسیون سمپاش‌ها، نشریه ترویجی، انتشارات مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی کرمان، اداره رسانه ترویجی، نوبت اول. ۲۸ صفحه.

Anisa, K.M., Tripathi, A., Geeta, K.M., Kumar, A. 2015. Discharge Available by Different Sizes of Nozzles at Various Speeds of Spinning Disc. EUROPEAN ACADEMIC RESEARCH, Vol. III, Issue 6.

Chen, S., Lan, Y., Li, J., Zhou, Z., Jin, J., and Liu, A., 2016. Effect of Spray Parameters of Small-Unmanned Helicopter on Distribution Regularity of Droplet Deposition in Hybrid Rice Canopy. Transaction of. Chinese Agriculturue. Engineering. 32(17):40-46.

Kharim, M. N. A., Wayayok, A., Shariff, Sharif, A. R. M., Abdullah, A. F., and Husin, E. M. 2019. Droplet Deposition Density of Organic Liquid Fertilizer at low Altitude UAV Aerial Spraying in Rice Cultivation. Computers and Electronics in Agriculture .167:105045.

Woods, N., 2003. The aerial application of pesticides. Optimising Pesticide Use, pp.97-114.