اثر سطوح مختلف آبیاری و کود بر بهره‌وری آب و نیتروژن در کاهو

محمد سعید جعفری‌نجف‌آبادی، حمیده نوری[۱]، عبدالمجید لیاقت و حامد ابراهیمیان

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
m.saeedjafari@ut.ac.ir
دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
hnoory@ut.ac.ir
استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
aliaghat@ut.ac.ir
دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
ebrahimian@ut.ac.ir

دریافت:خرداد ۱۳۹۹ و پذیرش: **اسفند ۱۳۹۹**

چکیده

کاهو یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که بیشتر برای مصارف تازه‌خوری و سالادی استفاده می‌شود. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر هم‌زمان سطوح مختلف آب و نیتروژن بر عملکرد کاهو رقم آیسبرگ و یافتن بهترین میزان آبیاری و کودآبیاری نیتروژن برای تولید این گیاه در روش آبیاری قطره‌ای بود. کشت کاهو رقم آیسبرگ، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۷ شامل سه تیمار آبیاری (I_1، I_2 و I_3 به ترتیب برای تأمین ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ تبخیر- تعرق گیاه) و چهار تیمار نیتروژن (N_1، N_2، N_3 و N_4 به ترتیب مجموعاً ۱۰۵، ۷۰ و ۳۵ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و در سال ۱۳۹۸ شامل دو تیمار آبیاری (I_1 و I_3) و دو تیمار نیتروژن (N_1 و N_4) بود. نتایج حاکی از تأثیر تیمارهای آبیاری، نیتروژن، و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بازارپسند کاهو بود اما ماده خشک تولیدی تنها تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و نیتروژن قرار گرفت. حداکثر عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی، به ترتیب برابر با ۶۶/۱ تن در هکتار و ۲۷۲۸/۲ کیلوگرم در هکتار برای تیمار آبیاری کامل با ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_1N_1) به‌دست آمد. حداقل عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نیز مربوط به تیمار ۶۰٪ تبخیر- تعرق با ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_3N_3)، به ترتیب برابر با ۳۷/۵ تن در هکتار و ۱۹۲۹/۶ کیلوگرم در هکتار بود. حداکثر و حداقل بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد بازارپسند کاهو به ترتیب برابر ۲۱/۶۳ و ۱۵/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب برای تیمار I_2N_1 و I_3N_3 به‌دست آمد. تابع‌های تولید خطی و غیرخطی عملکرد-آب و عملکرد-نیتروژن برای کاهو رقم آیسبرگ به‌دست آمد که در شرایط محیطی مشابه در تحقیقات و کاربردهای اجرایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، کم‌آبیاری، کود نیتروژن، عملکرد بازارپسند، کاهو رقم آیسبرگ

---

[۱] آدرس نویسنده مسئول: البرز، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

مقدمه

کاهو با نام علمی (Lactuca sativa L.) یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که عمدتاً برای مصارف تازه‌خوری و سالادی استفاده می‌شود و اولین گیاهِ سالادیِ کشت‌شده و تجاری‌سازی‌شده در سطح جهان است (ابوریان و همکاران، ۲۰۰۴). این گیاه با توجه به میزان مصرف، ازجمله محبوب‌ترین سبزی‌ها و دارای اهمیت اقتصادی بالا در سراسر جهان است (کوئلهو و همکاران، ۲۰۰۵). کاهو دارای ارقام متنوع از تیپ‌های مختلف اعم از برگی، ساقه‌ای، رومن[۲] و آیسبرگ[۳] است. در کشور ما، کاهو یکی از معروف‌ترین و متداول‌ترین سبزی‌های برگی به شمار می‌رود که روند افزایش سطح زیر کشت این محصول طی سال‌های اخیر بسیار چشمگیر بوده است و بر اساس آمار منتشرشده از سوی وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت شش هزار هکتاری سال ۱۳۸۸ به ۱۱ هزار هکتار در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. بخش اعظمی از سطح زیر کشت کاهو در کشور ما را کاهوهای تیپ رومن تشکیل می‌دهند اما به موازات آن تولید کاهوی تیپ آیسبرگ اعم از بهاره و پاییزه در سال‌های اخیر مورد استقبال گسترده‌ای قرارگرفته است. این تیپ دارای برگ‌های بسیار ترد و شکننده بوده و برگ‌ها یک هدِ فشرده و سخت را تولید می‌کنند که نسبت به فشار و ضربه مقاوم و برای حمل به نقاط دور مناسب هستند؛ بنابراین در مواقعی از سال که در برخی از مناطق، امکان تولید کاهوهای رومن فراهم نیست، توجه به تولید این تیپ، استمرار تولید و تأمین نیاز بازارِ داخل به‌ویژه در مناطق دوردست را میسر می‌سازد (آقابیگی و همکاران، ۱۳۹۶).

افزایش بهره‌وری آب و کود به همراه افزایش تولید در واحد سطح در سال‌های اخیر در مجامع علمی مورد توجه جدی قرارگرفته است. محدودیت منابع آب ازنظر کمی و کیفی، برنامه‌ریزی خاص تحت عنوان استفاده بهینه از واحد آب مصرفی را ایجاب می‌نماید که این امر می‌تواند در قالب کاربرد سامانه‌های مختلف آبیاری تحت‌فشار (نظیر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی) و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری تحقق یابد. به‌طورکلی، درصورتی‌که تبخیر خاک نسبت به تبخیر- تعرق گیاه زیاد باشد، سرعت رشد دوره ابتدایی کند باشد، مقدار آبیاری مطابق با نیاز محصول نباشد و ریشه‌ها به دلیل عمقِ کم قادر به استفاده از رطوبت عمق‌های پایین نباشند، بهره‌وری آب پایین خواهد بود. این مشکلات به‌ویژه در تولید سبزی‌ها که معمولاً مقادیر زیاد آب و کود در تولید آن‌ها به کار می‌رود، رایج است (استارک و همکاران، ۱۹۸۳؛ دورج و همکاران، ۱۹۹۱). از سوی دیگر، یکی از چالش‌های کشاورزی مدرن دستیابی به حداکثر عملکرد با حداقل کردن تأثیرات زیست‌محیطی کشاورزی است. میزان نیتروژن مصرفی در کشت سبزی و صیفی‌جات معمولاً بسیار بیشتر از مقادیر توصیه‌شده است که منجر به تجمع نیترات در گیاه و تلفات آبشویی بالای نیترات می‌شود (راموس و همکاران، ۲۰۰۲؛ تامپسون و همکاران، ۲۰۰۷).

میزان آب مصرفی و تبخیر- تعرق کاهو در طول فصل رشد به رقم کشت‌شده، تراکم کشت، مدیریت زراعی، زمان کاشت، میزان بارندگی و عوامل محیطی وابسته است. کرم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند میزان تبخیر- تعرق تیمار آبیاری کامل برای ۷۰ روز ۴۱۳ میلی‌متر به دست آمد. بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) مقدار آبیاری کاهو بر اساس تشت تبخیر را ۳۶۵ میلی‌متر برای محیط گلخانه در ترکیه گزارش کردند. بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱) مقدار آبیاری انجام‌شده برای تیمار آبیاری کامل کاهو را ۲۳۹ میلی‌متر و میزان تبخیر- تعرق را ۴۵۲ میلی‌متر در کشت فضای باز در ترکیه طی ماه‌های اکتبر تا ژانویه گزارش کردند که اختلاف تبخیر- تعرق با میزان آبیاری ناشی از بارندگی‌های پایان فصل بود. پاتیل و همکاران (۲۰۱۳) میزان آب آبیاری محاسبه‌شده به روش پنمن مانتیث برای کاهو کشت‌شده طی فصل زمستان در هند را ۱۶۸ میلی‌متر گزارش کردند. ساهین و همکاران (۲۰۱۶) حداکثر تبخیر- تعرق کاهو در دو سال را به‌طور متوسط ۲۱۴ میلی‌متر در

[۲] Romaine

[۳] Iceberg

ترکیه در بازه زمانی می تا ژانویه گزارش کردند. میرداد (۲۰۱۶) نشان داد کل آب مصرفی در دوره رشد کاهو آیسبرگ از نوامبر ۲۰۱۱ تا فوریه ۲۰۱۲ در منطقه عربستان ۳۰۱ میلی‌متر بود.

کل کود نیتروژن توصیه‌شده برای کاهو بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار منهای نیتروژن معدنی موجود در ناحیه ریشه در ابتدای فصل است (دوجر و همکاران، ۱۹۹۱؛ سورنسن و همکاران، ۱۹۹۴؛ کرم و همکاران، ۲۰۰۲). رینکون و همکاران (۱۹۹۸) گزارش دادند افزایش نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد کاهو را افزایش داد اما مصرف ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش آن شد. بررسی‌های تیتونل و همکاران (۲۰۰۳) روی کاهو نشان داد افزایش نیتروژن مصرفی از ۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار وزن تازه گیاه را افزایش داد. شاهبازی (۲۰۰۵) گزارش کرد افزایش کود نیتروژن مصرفی باعث افزایش عملکرد کاهو شد اما با مصرف بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بررسی‌های صورت گرفته توسط محمودی (۲۰۰۵) روی کاهو (رقم سیاه کرج) هم نتایج مشابه شاهبازی (۲۰۰۵) نشان داد و بیشترین عملکرد کاهو در مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بروجردنیا و همکاران (۲۰۰۷) هم نشان دادند افزایش کود نیتروژن مصرفی تا ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار به‌طور فاحشی عملکرد کاهو را افزایش داد درحالی‌که در مقادیر بالاتر عملکرد کاهش یافت. میرداد (۲۰۱۶) نشان داد کاهو آیسبرگ با دریافت ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین عملکرد و وزن تر و خشک برگ‌های بیرونی را داشت.

رشد کاهو در دوره ابتدایی رشد، کند است و اغلبِ تولید زیست‌توده آن و جذب آب و نیتروژن ناشی از آن در هفته‌های منتهی به برداشت صورت می‌گیرد (تامپسون و همکاران، ۱۹۹۶؛ گالاردو و همکاران، ۱۹۹۶). گالاردو و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند طی فصل رشد کاهو که ۶۳ روز به طول انجامید، در بازه زمانی ۴۵ روز بعد از کاشت، تبخیر مؤلفه اصلی تبخیر- تعرق کاهو بود. آن‌ها نتیجه گرفتند تلفات تبخیر بالا در اوایل و اواسط فصل رشد و عدم حساسیت ظاهری کاهو به حجم آبیاری در این دوره می‌تواند فرصتی برای کاهش عمق آبیاری باشد. به‌طورکلی در مورد کاهو امکان کاهش آبیاری بدون از دست دادن عملکرد دور از انتظار نیست (شولباخ، ۱۹۸۸؛ جکسون و همکاران، ۱۹۹۴). سامانه آبیاری قطره‌ای علاوه بر راندمان بالای کاربرد آب، میزان آبشویی نیتروژن را نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و جویچه‌ای کاهش می‌دهد و آب و کود را در مدت‌زمان بیشتری در محیط ریشه در افق‌های بالایی خاک نگه می‌دارد. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای برای اضافه کردن کودهای نیتروژن مؤثرتر از روش‌های پخش کود گرانوله، چال کود یا کود آبیاری در آبیاری سطحی است (شاک، ۱۹۹۸). آبیاری قطره‌ای باعث می‌شود تا آب و نیتروژن به‌طور مستقیم و یکنواخت به ناحیه ریشه گیاه منتقل شود (سامیس، ۱۹۸۰) که می‌تواند علاوه بر افزایش راندمان کاربرد آب، راندمان کاربرد نیتروژن را هم نسبت به سایر روش‌های آبیاری افزایش دهد (میلر و همکاران، ۱۹۸۱؛ فیگین و همکاران، ۱۹۸۲).

گالاردو و همکاران (۱۹۹۶) دریافتند که رابطه بین عملکرد خشک و بازارپسند کاهو با میزان آب استفاده‌شده به‌صورت خطی بود. سامیس و همکاران (۱۹۸۸)، کرنیک و همکاران (۲۰۰۲)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، سنیجیت و کاپلان (۲۰۱۳) و ساهین و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی گرفتند. در سوی دیگر، کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) و بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱) رابطه بین این دو را از نوع چندجمله‌ای دانستند. گرچه عملکرد خشک کمتر از عملکرد بازارپسند تحت تأثیر میزان آبیاری بود، اما عملکرد کاهو با کاهش آب آبیاری به‌شدت کاهش یافت (بوزکورت و همکاران، ۲۰۰۹). چالا و یوهانس (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند کاهو تحت تیمار آبیاری کامل به‌طور چشمگیری عملکرد بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشت. موناقان و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند هرچه زمان کم‌آبیاری در کاهو آیسبرگ به انتهای دوره رشد نزدیک‌تر شد تأثیر

آن روی عملکرد بازارپسند کاهو افزایش یافت. همچنین افزایش مدت کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد کاهو شد.

در سوی دیگر اثر کود نیتروژن و اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد بازارپسند کاهو اهمیت زیادی دارد. کرم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد تازه و خشک کاهو شد و راندمان کاربرد نیتروژن در تیمارهای با کمترین آبیاری، به کمترین میزان خود رسید. بروجردنیا و عالم‌زاده انصاری (۲۰۰۷) در پژوهشی پیرامون تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد کاهو نتیجه گرفتند سطوح مختلف کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی تمام مشخصات رشد کاهو داشت و با افزایش نیتروژن عملکرد افزایش یافت. اوزونیدو و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر کود نیتروژن و میزان آبیاری روی عملکرد کاهو دریافتند رابطه بین عملکرد کاهو و نیتروژنِ داده‌شده خطی است و کاهش آبیاری کاهش عملکرد و کیفیت کاهو را در پی داشت و مصرف نیتروژن مازاد از نیاز کاهو به عملکرد بهتر منجر نشد. دی‌جیویه و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند مقادیر مختلف کود نیتروژن تأثیر قابل‌توجهی روی عملکرد کاهو داشت و رابطه بین عملکرد بازارپسند و خشک کاهو با میزان نیتروژن داده‌شده از نوع رابطه چندجمله‌ای درجه دو بود و بهتر از رابطه خطی گزارش شد. انصاری و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند زیست‌توده کاهو با افزایش سطوح آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده افزایش قابل‌توجهی یافت. راندمان کاربرد نیتروژن نیز با افزایش آبیاری بیشتر شد اما افزایش نیتروژن داده‌شده در تیمار آبیاری یکسان، به کاهش راندمان کاربرد نیتروژن انجامید. یافته‌های آن‌ها نشان داد کمترین راندمان کاربرد نیتروژن در تیمار با حداکثر نیتروژن داده‌شده رخ داد که با یافته‌های فرانچسکو (۲۰۱۳) مطابقت داشت. همچنین طبق مطالعه آن‌ها، با افزایش مقدار آبیاری روند کاهشی در راندمان کاربرد آب مشاهده شد.

مرور مطالعات صورت گرفته درزمینه تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده در طول فصل نشان داد که اغلب آن‌ها به بررسی نقش آب و نیتروژن به‌صورت مجزا پرداختند و مطالعات اندکی تأثیر متقابل آن‌ها را روی عملکرد کاهو بررسی کردند. از سوی دیگر با توجه به گستردگی ارقام کاهو، پیشرفت روش‌های مدیریت مزرعه و بهبود عملکرد ارقام مختلف تجاری در سال‌های متمادی، ضرورت تکرار مطالعات صورت گرفته در گذشته، برای بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب و کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها روی عملکرد کاهو را دوچندان می‌کند. برای نمونه، سیمکو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند عملکرد کاهو آیسبرگ در آمریکا طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۲، ۱۸۳ درصد افزایش یافته که ناشی از توسعه ارقام مقاوم به آفات و بیماری‌ها و به‌کارگیری روش‌های جدید مدیریت مزرعه بوده است. با توجه به شرایط خاص منابع آب‌وخاک در ایران و ویژگی‌های گیاه کاهو، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب و نیتروژن بر عملکرد کاهو آیسبرگ، یافتن بهترین میزان آبیاری و کود آبیاری نیتروژن برای تولید این محصول و در نهایت ارائه توابع تولید آب و نیتروژن بود.

مواد و روش‌ها

کشت کاهوی آیسبرگ رقم ساهارا (عملکرد بالا و رنگ برگ سبز تیره) در تابستان ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. این مزرعه ازنظر موقعیت جغرافیایی دارای طول جغرافیایی ´۵۹ °۵۰ شرقی، عرض جغرافیایی ´۴۸ °۳۵ شمالی و ارتفاع ۱۳۳۷ متر از سطح دریا است. بر اساس آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کرج، شهرستان کرج دارای میانگین بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. تیرماه با میانگین (حداکثرها) ۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین ماه و بهمن‌ماه با میانگین (حداقل‌ها) ۲/۹- درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه سال است. کرج با میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر، دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل است. سرعت متوسط باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و جهت

غالب آن شمال غرب به جنوب شرق است. میانگین سالیانه جمع ساعات آفتابی ۲۸۹۹ ساعت به‌دست‌آمده است. بررسی آمار و اطلاعات ماهانه و فصلی بارندگی شهرستان کرج نشان می‌دهد که از مجموع بارندگی سالانه مقدار ۱۷۲/۳ میلی‌متر (۶۹/۷٪) در نیمه اول سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۶۹/۹ میلی‌متر (۲۸/۲٪) در سه‌ماهه سوم (بهار) و بقیه ۵/۲ میلی‌متر (۲/۱٪) نیز در فصل تابستان توزیع می‌گردد که نشانگر ناچیز بودن بارندگی در فصل تابستان در این منطقه است.

خاک مزرعه آزمایشی برای بررسی در سه عمق و در قسمت‌های مختلف به‌گونه‌ای که معرف کل مزرعه آزمایشی و تغییرات خاک باشد نمونه‌برداری شد و بافت خاک از طریق مثلث بافت خاک USDA، رطوبت حد ظرفیت زراعی به کمک دستگاه صفحات فشاری، چگالی ظاهری به کمک نمونه خاک دست‌نخورده، شوری و اسیدیته عصاره اشباع خاک به کمک دستگاه AZ[۴]، رطوبت اولیه خاک به روش وزنی و نیتروژن خاک در ابتدای فصل به کمک روش سمی‌میکرو-کجلدال[۵] (برمنر و کینی، ۱۹۶۵) تعیین گردید (جدول ۱). حداکثر عمق نمونه‌برداری ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد زیرا کاهو دارای ریشه سطحی است و نفوذ آب و ریشه کاهو به عمقی بیش از این مقدار با توجه به مشاهدات غیرمحتمل ارزیابی شد. همچنین آب مورداستفاده جهت آبیاری دارای شوری ۰/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۷۲ و مقدار نیترات ۳/۷۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود.

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

عمق (سانتیمتر)	بافت خاک	ظرفیت زراعی (cm^3/cm^3)	نقطه پژمردگی (cm^3/cm^3)	چگالی ظاهری (g/cm^3)	شوری (dS/m)	اسیدیته (pH)	رطوبت اولیه خاک (cm^3/cm^3)	نیترات (ppm)
۰-۲۰	لوم رسی	۰/۳۰۹	۰/۱۳۵	۱/۴	۲/۶	۷/۴	۰/۱۰۸	۷۸/۰۵
۲۰-۴۰	لوم رسی	۰/۳۰۵	۰/۱۳۵	۱/۴	۱/۵۳	۷/۲۴	۰/۱۷۱	۴۰/۳۲
۴۰-۶۰	لوم رسی	۰/۲۹۶	۰/۱۳۷	۱/۴۵	۱/۵	۷/۲	۰/۱۶۷	۳۱/۴۳

سال اول (۱۳۹۷) آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل ترکیب سه سطح آبیاری (I_1، I_2 و I_3 به ترتیب به شکل تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه هر سه روز یک‌بار) و چهار سطح نیتروژن (N_1، N_2، N_3 و N_4 به ترتیب مجموعاً ۱۰۵، ۷۰، ۳۵ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، در سه تکرار صورت گرفت. سطوح نیتروژن بر اساس مقادیر توصیه‌شده در منابع علمی و نیتروژن اولیه خاک تعیین گردید (دوجر و همکاران، ۱۹۹۱؛ سورنسن و همکاران، ۱۹۹۴؛ کرم و همکاران، ۲۰۰۲، بروجردنیا و همکاران، ۲۰۰۷؛ میرداد، ۲۰۱۶). طرح آزمایشی سال دوم (۱۳۹۸) هم مشابه سال اول اما با دو سطح آبیاری (I_1 و I_3) و دو سطح نیتروژن (N_1 و N_4) در سه تکرار انجام شد. با توجه به نتایج سال اول و تفاوت اندک بین نتایج سطوح آبیاری I_1 و I_2 و سطوح نیتروژن N_1 و N_2 و از دست رفتن نتایج سطح N_4، برای سال دوم از بین سطوح آبیاری، I_1 و I_3 و از بین سطوح نیتروژن، N_1 و N_4 انتخاب شد. هر تیمار با سه تکرار مجموعاً به مساحت ۲۵ مترمربع (شامل چهار ردیف کاهو با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم) بود که ردیف‌های کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و تنها دو ردیف وسط برای اندازه‌گیری استفاده شد (شکل ۱). کشت کاهو به‌صورت نشا با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم (فاصله روی

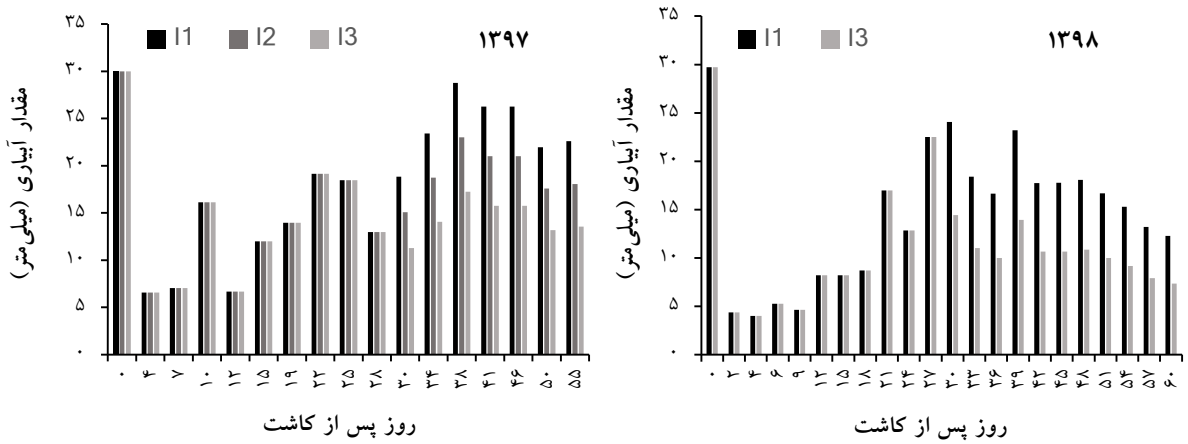
[۴] 86502 AZ Water Quality Professional Benchtop Meter (pH/ORP/mV)

[۵] Semi micro-Kjeldahl

ردیف)، کنار نوار آبیاری، ۱۱ و ۱۴ مردادماه به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش صورت گرفت و در اولین آبیاری، رطوبت خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر به رطوبت حد ظرفیت زراعی رسانده شد.

تبخیر- تعرق گیاهِ مرجع به کمک رابطه فائو پنمن مانتیث با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسیِ ایستگاه هواشناسی کرج (واقع در مزرعه تحقیقاتی) برآورد شد و به کمک روش ضریب گیاهی دوجزئیِ شرح داده‌شده در نشریه فائو ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، میزان تبخیر- تعرق روزانه کاهو تعیین شد. داده‌های هواشناسی استفاده‌شده شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و میانگین روزانه سرعت باد بود. ازآنجاکه کاهو گیاهی کندرشد است و عمده رشد آن در یک ماه منتهی به برداشت صورت می‌گیرد، کم‌آبیاری ۲۵ روز پس از کاشت نشا آغاز شد تا استقرار نشا به‌صورت کامل انجام‌شده باشد. کم‌آبیاری ۲۰ و ۴۰ درصد در تیمارهای I_2 و I_3 در ۳۵ روز انتهایی صورت گرفت و از زمان کاشت نشا تا ۲۵ روز پس‌ازآن آبیاری همه تیمارها مشابه تیمار I_1 انجام شد (شکل ۲).

شکل ۱- کشت کاهو آیسبرگ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



شکل ۲- برنامه آبیاری تیمارهای آزمایشی ۱۳۹۷ (سمت راست) و ۱۳۹۸ (سمت چپ)

آبیاری از طریق سامانه آبیاری قطره‌ای با نوارهای آبیاری پلاک‌دار با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۲/۱ لیتر در ساعت انجام شد. سامانه کودآبیاری نیز شامل یک مخزن کود ۲۰۰ لیتری و پمپ تزریق کود بمنظور تزریق یکنواخت کود به سامانه آبیاری بود. کود نیتروژن در نظر گرفته‌شده برای هر تیمار از نوع نیترات و به‌صورت کودآبیاری در دو نوبت، ۳۰ و ۴۰ روز پس از کاشت نشا، برای تیمارهای N_1، N_2 و N_3 انجام شد. تیمار N_4 نیز تیمار بدون کاربرد کود

بود. برداشت کاهو ۶۰ روز پس از کاشت نشا با برداشت قسمت خارج از خاک گیاه کاهو و حذف برگ‌های اضافی بیرونی انجام شد و وزن تر کاهو (محصول بازارپسند) اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها از هم جدا شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا وزن ماده خشک اندازه‌گیری شود.

بهره‌وری آب آبیاری از تقسیم وزن عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو بر حجم آب آبیاری مورداستفاده در طول فصل رشد به دست آمد (هاول، ۲۰۰۱). همچنین بهره‌وری نیتروژن از تقسیم وزن عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو بر کل نیتروژن داده‌شده در طول فصل رشد محاسبه شد.

تحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده و رسم نمودارها، به کمک نرم‌افزار SPSS و Origin Pro انجام شد و تأثیر تیمارهای آبیاری، تیمارهای کودآبیاری نیتروژن و اثر متقابل آبیاری و کودآبیاری نیتروژن بر عملکرد کاهو مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین میانگین عملکرد تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

مجموع آبیاری انجام‌شده برای تیمارهای آبیاری I_1، I_2 و I_3 در سال ۱۳۹۷، به ترتیب، ۳۱۱، ۲۷۷/۴ و ۲۴۳/۸ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۸ برای تیمارهای I_1 و I_3 به ترتیب، ۳۱۸/۸ و ۲۴۱/۵ میلی‌متر بود. مقدار آبیاری در روزهای ابتدایی رشد کم بود اما با رشد گیاه و افزایش درصد سایه‌اندازی و افزایش سرعت رشد کاهو، مقدار آبیاری افزایش یافت. بمنظور بررسی اثر تیمارها، میانگین عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد با آزمون توکی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر عملکرد بازارپسند طی دو سال، در تیمار آبیاری کامل با کودآبیاری ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برابر با ۶۶/۱ تن در هکتار محقق شد. در نتایجی مشابه، بررسی‌های کوئلهو و همکاران (۲۰۰۵) و بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد تیمار با آبیاری کامل و بیشترین نیتروژن مصرف‌شده، حداکثر عملکرد کاهو را داشت. کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، منصورقلو و همکاران (۲۰۱۰)، مولینا-مونتنگرو و همکاران (۲۰۱۱)، چالا و یوهانس (۲۰۱۵)، ساهین و همکاران (۲۰۱۶) و سانتوش و همکاران (۲۰۱۷) در نتایجی مشابه نشان دادند که عملکرد کاهو با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر است. حداکثر ماده خشک تولیدی برابر ۲۷۲۸/۲ کیلوگرم در هکتار نیز متعلق به تیمار آبیاری کامل با کودآبیاری ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. حداقل عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نیز متعلق به تیمار آبیاری I_3 با کودآبیاری ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برابر ۳۷/۵ تن در هکتار و ۱۹۲۹/۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین نتایج تیمارهای مشابه در دو سال تفاوت معنی-داری نداشت. لازم به ذکر است در سال ۱۳۹۷، عملکرد تیمارهای بدون کود (N_4) به دلیل تأثیر سایه‌اندازی کشت ذرت در مجاورت آن، اندازه‌گیری نشد و در سال ۱۳۹۸ مجدد تکرار شد.

به‌طورکلی کم‌آبیاری و کاهش کود نیتروژن داده‌شده، باعث کاهش عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو آیسبرگ شد که با نتایج سانچز (۲۰۰۰)، اوزونیدو و همکاران (۲۰۱۳)، پاتیل و همکاران (۲۰۱۳) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. نتایج آنالیز واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن در کاهو آیسبرگ نشان داد سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی عملکرد بازارپسند تأثیر معنی‌دار دارد و اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن به‌تنهایی روی ماده خشک تولیدی تأثیر معنی‌دار دارد اما اثر متقابل این دو روی ماده خشک معنی‌دار نبود.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها

متغیر وابسته	منابع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	f	P
عملکرد بازارپسند	تکرار	۰/۰۱۵	۲	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹
	سطوح آبیاری	۲۰۹۶/۳۹۹	۲	۱۰۴۸/۲*	۱۴۴/۱۷۳	۰/۰۰۰
	سطوح نیتروژن	۵۶۰/۱۷۲	۳	۱۸۶/۹۵۷*	۲۵/۷۱۵	۰/۰۰۰
	سال	۲/۱۳۴	۱	۲/۱۳۴^{ns}	۰/۲۹۳	۰/۵۹۳
	اثر متقابل آبیاری و نیتروژن	۱۷۹/۶۸۳	۵	۳۵/۹۳۷*	۴/۹۴۳	۰/۰۰۳
	خطا	۱۸۱/۷۶۱	۲۵	۷/۲۷		
	کل	۱۰۵۷۳۱/۴	۳۹			
ماده خشک	تکرار	۹۲۴۸/۹۲۹	۲	۴۶۲۴/۴۶۵^{ns}	۰/۲۱۴	۰/۸۰۹
	سطوح آبیاری	۱۵۲۵۹۶۹/۱۲	۲	۷۶۲۹۸۴/۵۵۸*	۳۵/۲۸۷	۰/۰۰۰
	سطوح نیتروژن	۵۴۵۲۲۷/۱۲۲	۳	۱۸۱۷۴۲/۳۷۴*	۸/۴۰۵	۰/۰۰۰
	سال	۶۹۵۴/۳۴۲	۱	۶۹۵۴/۳۴۲^{ns}	۰/۳۲۲	۰/۵۷۶
	اثر متقابل آبیاری و نیتروژن	۳۴۴۹۹/۸۹۵	۵	۶۸۹۹/۹۷۹^{ns}	۰/۳۱۹	۰/۸۹۷
	خطا	۵۴۰۵۵۰/۷	۲۵	۲۱۶۲۲/۰۳		
	کل	۲۱۳۲۱۳۰۳۵/۴	۳۹			

* و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری و عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است. f، آماره آزمون f و P مقدار P-value است

نتایج نشان داد در تیمار آبیاری I_3 با ۴۰ درصد کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نیتروژن ازنظر عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی وجود نداشت (جدول ۳). در تیمارهای آبیاری I_1 و I_2 نیز گرچه کاهش نیتروژن از ۱۰۵ به ۷۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نشد اما کاهش نیتروژن به ۳۵ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش معنی‌دار مقادیر ذکرشده شد. مقایسه عملکرد بازارپسند کاهو در تیمارهای ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست‌آمده در سال اول و بدون کود نیتروژن به‌دست‌آمده در سال دوم، عدم وجود تفاوت معنی‌دار را ثابت کرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که به‌طورکلی با کاهش نیتروژن مصرفی عملکرد بازارپسند کاهش یافت که با نتایج سورنسن و همکاران (۱۹۹۴)، شهبازی (۲۰۰۵)، بروجردنیا و عالم‌زاده انصاری (۲۰۰۷)، پاتیل و همکاران (۲۰۱۳)، دی‌جیویه و همکاران (۲۰۱۷)، سیلوستر و همکاران (۲۰۱۹) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) تطابق دارد.

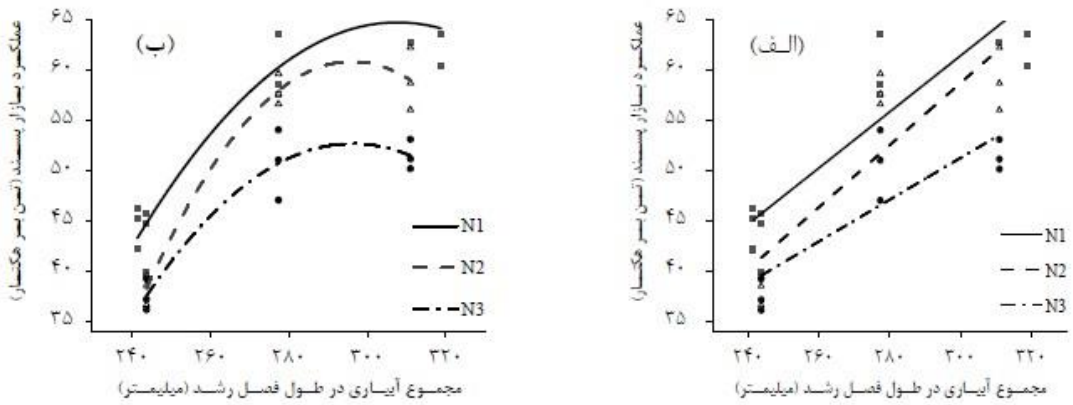
جدول ۳- میانگین عملکرد بازارپسند و ماده خشک کاهو آیسبرگ در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن

سطح آبیاری	سطح نیتروژن	میانگین عملکرد بازارپسند (تن بر هکتار)		میانگین ماده خشک (کیلوگرم بر هکتار)	
		۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸
I_1	N_1	۶۶/۱ ^{a}	۶۳/۲ ^{ab}	۲۷۲۸/۲ ^{a}	۲۶۸۱/۵ ^{ab}
	N_2	۵۹/۱ ^{abc}	–	۲۵۲۵/۹ $^{a-d}$	–
	N_3	۵۱/۵ ^{cde}	–	۲۳۳۳/۶ $^{a-f}$	–
	N_4	*	۵۱/۴ ^{de}	*	۲۳۸۹/۸ $^{a-e}$
I_2	N_1	۶۰ ^{ab}	–	۲۵۴۱/۹ $^{a-c}$	–
	N_2	۵۸ ^{bcd}	–	۲۴۰۹/۶ $^{a-e}$	–
	N_3	۵۰/۷ ^{def}	–	۲۲۶۲/۹ $^{b-f}$	–
I_3	N_1	۴۳/۴ ^{fg}	۴۴/۶ ^{efg}	۲۱۰۸/۹ $^{d-f}$	۲۲۵۱/۹ $^{c-f}$
	N_2	۳۸/۲ ^{g}	–	۲۰۰۵ ^{ef}	–
	N_3	۳۷/۵ ^{g}	–	۱۹۲۹/۶ ^{f}	–
	N_4	*	۴۲ ^{g}	*	۲۰۱۸/۹ ^{ef}

در ستون‌های عملکرد بازارپسند و ماده خشک به‌طور مجزا، میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد با آزمون توکی فاقد اختلاف معنی‌دار است

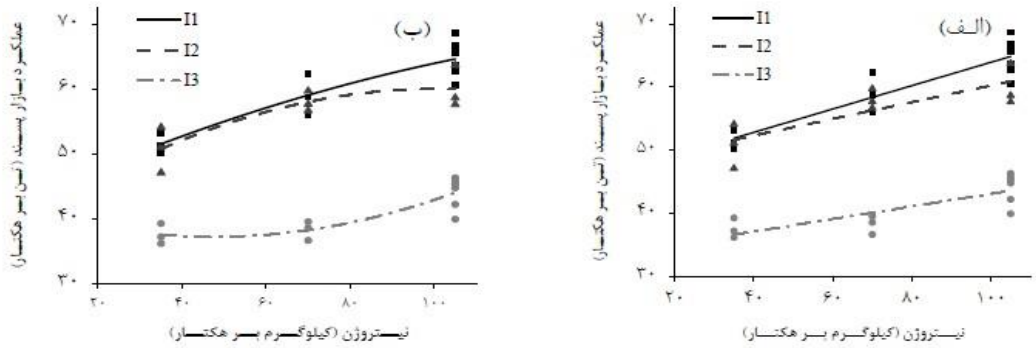
برای بررسی تفاوت بین گروهی در میان سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن از آزمون توکی استفاده شد. نتایج آزمون توکی در عملکرد بازارپسند و ماده خشکِ کاهو آیسبرگ حاکی از تفاوت معنی‌دار بین سطوح آبیاری I_1 و I_2 با سطح آبیاری I_3 بود اما تفاوت معنی‌دار بین سطح آبیاری I_1 با I_2 وجود نداشت، به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۷ متوسط عملکرد بازارپسند تیمارهای I_2 و I_3 به‌طور متوسط به ترتیب ۴/۵ و ۳۲/۵ درصد از متوسط عملکرد تیمارهای آبیاری I_1 (۵۸/۹ تن بر هکتار) کمتر شد. همچنین در سال ۹۷ این مقادیر برای ماده خشک تولیدی به ترتیب ۴/۹ و ۲۰/۴ درصد کاهش نسبت به متوسط ماده خشک تولیدی تیمار I_1 (۲۶۸۱/۵ کیلوگرم بر هکتار) نشان داد. کرم و همکاران (۲۰۰۲)، میزان کاهش عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی برای تیمارهای با ۲۰ و ۴۰ درصد کم‌آبیاری را به ترتیب ۱۴ و ۳۹ درصد و ۳۰ و ۳۸ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل گزارش کردند که علت بیشتر بودن درصد کاهش در نتایج آن‌ها، مدتِ بیشترِ اعمال کم‌آبیاری بود. در سال ۱۳۹۸ کاهش عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی ناشی از کم‌آبیاری ۴۰ درصد به ترتیب ۲۴/۵ و ۱۵/۸ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل بود. مولینگا مونتنگرو و همکاران (۲۰۱۱) نیز در نتایجی مشابه، دریافتند نرخ فتوسنتز و تولید زیست‌توده در کاهو در تیمار ۵۰ درصد آبیاری موردنیاز به‌مراتب کمتر از تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد بود؛ بنابراین به‌طورکلی نتایج نشان داد تیمارهای آبیاری تأثیر معنی‌داری روی عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو آیسبرگ داشتند گرچه اثر کاهشی در مورد عملکرد بازارپسند بیشتر از ماده خشک تولیدی بود که با نتایج کرم و همکاران (۲۰۰۲) همخوانی دارد اما گالاردو و همکاران (۱۹۹۶) و بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹)، عنوان کردند کم‌آبیاری تنها روی عملکرد بازارپسند تأثیر معنی‌دار داشت.

مقایسه تفاوت بین گروهی تیمارهای نیتروژن نیز نشان داد، تفاوت عملکرد بازارپسند بین سطح نیتروژن N_1 با N_2، N_3 و N_4 و N_2 با N_3 و N_4 معنی‌دار بود ولی بین عملکرد بازارپسند سطح N_3 با N_4 تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. به‌طور متوسط عملکرد بازارپسند در تیمارهای N_2، N_3 و N_4 به ترتیب کاهش ۸/۴، ۱۷/۵ و ۱۷/۳ درصدی نسبت به تیمار N_1 نشان داد؛ اما در مورد ماده خشک تولیدی، تنها تفاوت N_3 و N_4 با کاهش ۱۱/۶ و ۱۰/۶ درصدی در مقایسه با N_1 معنی‌دار بود و بین بقیه سطوح نیتروژن تفاوت معنی‌داری حاکم نبود.



شکل ۳- رابطه خطی (الف) و غیرخطی (ب) بین عملکرد بازارپسند کاهو آیسبرگ و مجموع آبیاری در طول فصل رشد

شکل (۳) رابطه خطی و غیرخطی بین عملکرد بازارپسند کاهو و مجموع آبیاری در طول فصل رشد را نشان می‌دهد که هر یک از آن‌ها بر اساس دقت موردنیاز می‌تواند در شرایط محیطی مشابه در تحقیقات و کاربردهای اجرایی مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۴). رابطه‌هایی که از نوع معادله چندجمله‌ای درجه دوم هستند مشابه یافته‌های کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، بوزکورت و همکاران (۲۰۰۹) و بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱) است و رابطه‌های خطی مطابق یافته‌های گالاردو و همکاران (۱۹۹۶)، سامیس و همکاران (۱۹۸۸)، کرنیک و همکاران (۲۰۰۲)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، سنیجیت و کاپلان (۲۰۱۳)، ساهین و همکاران (۲۰۱۶) است.



شکل ۴- رابطه خطی (الف) و غیرخطی (ب) بین عملکرد بازارپسند کاهو آیسبرگ و نیتروژن داده‌شده

شکل (۴) نیز رابطه خطی و غیرخطی بین عملکرد بازارپسند کاهو و نیتروژن داده‌شده در طول فصل رشد را برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد که هر یک از آن‌ها نیز بر اساس دقت موردنیاز می‌تواند در شرایط محیطی مشابه برای توصیه کودی نیتروژن در تحقیقات و کاربردهای اجرایی مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۴). رابطه‌هایی از نوع رابطه خطی مشابه یافته‌های اوزونیدو و همکاران (۲۰۱۳) و معادله چند جمله‌ای درجه دوم مشابه یافته‌های بروجردنیا و عالم‌زاده انصاری (۲۰۰۷)، دی‌جیویه و همکاران (۲۰۱۷) و زندوکیل و همکاران (۲۰۱۹) است.

جدول ۴- توابع تولید خطی و غیرخطی کاهو آیسبرگ به ازای مقادیر مختلف آب و نیتروژن

رابطه عملکرد بازارپسند کاهو (تن بر هکتار) و مجموع آبیاری در طول فصل رشد (میلی‌متر)

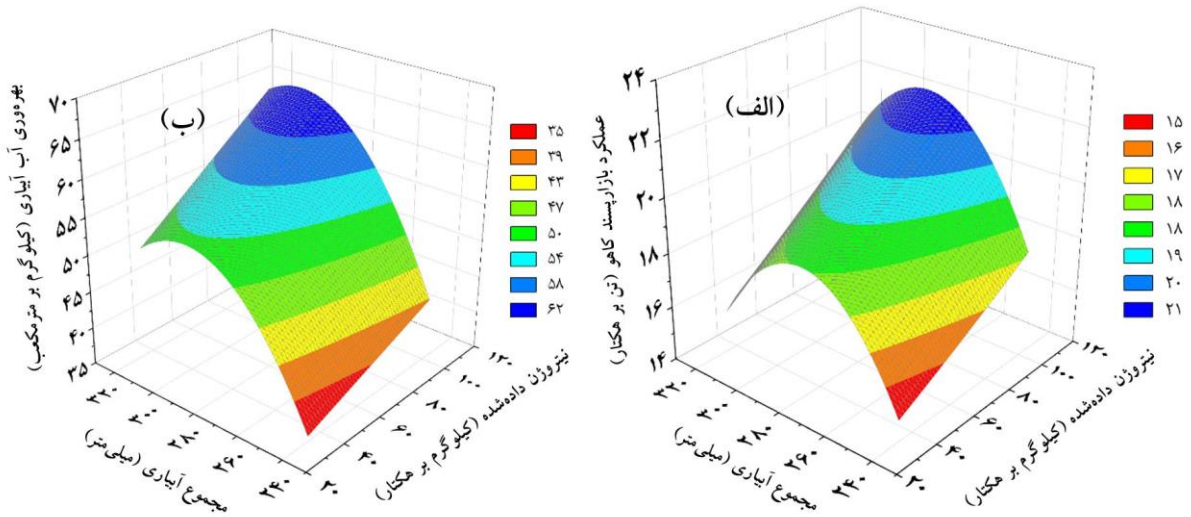
کود نیتروژن داده‌شده (کیلوگرم بر هکتار)	تابع تولید خطی و غیرخطی	R^2	Adj. R^2	RMSE	NRMSE	RE
N_1	$Y = ۰/۲۸\ I - ۲۲/۵۴$	۰/۸۵	۰/۸۴	۳/۷۵	۰/۰۷	۰/۰۵
N_2	$Y = ۰/۳۱\ I - ۳۴/۲۲$	۰/۷۶	۰/۷۳	۴/۷۷	۰/۰۹	۰/۰۸
N_3	$Y = ۰/۲۱\ I - ۱۱/۲۲$	۰/۷۲	۰/۶۹	۳/۵۳	۰/۰۸	۰/۰۶
N_1	$Y = -۰/۰۰۴۹\ I^۲ + ۳/۰۲۳\ I - ۴۰۰/۲۸$	۰/۹۳	۰/۹۲	۲/۵۸	۰/۰۶	۰/۰۴
N_2	$Y = -۰/۰۰۸۳\ I^۲ + ۴/۹۱۵\ I - ۶۶۶/۶$	۰/۹۷	۰/۹۶	۱/۷۸	۰/۰۳	۰/۰۳
N_3	$Y = -۰/۰۰۵۵\ I^۲ + ۳/۲۶۹\ I - ۴۳۱/۵۸$	۰/۹۲	۰/۸۹	۱/۹۶	۰/۰۴	۰/۰۳

رابطه عملکرد بازارپسند کاهو (تن بر هکتار) و کود نیتروژن داده‌شده در طول فصل رشد (کیلوگرم بر هکتار)

مجموع آب آبیاری (میلی‌متر)	تابع تولید خطی و غیرخطی	R^2	Adj. R^2	RMSE	NRMSE	RE
I_1	$Y = ۰/۱۸۵\ N + ۴۵/۳۹$	۰/۸۳	۰/۸۲	۲/۴	۰/۰۴	۰/۰۳
I_2	$Y = ۰/۱۳۲\ N + ۴۶/۹۹۷$	۰/۶۷	۰/۶۲	۲/۶۸	۰/۰۵	۰/۰۴
I_3	$Y = ۰/۰۹۹۶\ N + ۳۳/۰۹$	۰/۶۵	۰/۶۱	۲/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵
I_1	$Y = -۰/۰۰۰۸\ N^۲ + ۰/۲۹۹\ N + ۴۲/۰۲$	۰/۸۴	۰/۸	۲/۳۶	۰/۰۴	۰/۰۳
I_2	$y = -۰/۰۰۲۲\ N^۲ + ۰/۴۳۴\ N + ۳۸/۱۸$	۰/۷۴	۰/۶۵	۲/۳۷	۰/۰۴	۰/۰۴
I_3	$y = ۰/۰۰۲۱\ N^۲ - ۰/۱۹۷\ N + ۴۱/۸۸$	۰/۷۴	۰/۶۸	۱/۸۲	۰/۰۵	۰/۰۴

شکل (۵) رابطه عملکرد بازارپسند کاهو و بهره‌وری آب آبیاری را با مجموع آبیاری در طول فصل رشد و نیتروژن داده‌شده در طول فصل رشد نشان می‌دهد (جدول ۵). شکل (۴)-الف نشان می‌دهد به‌طورکلی افزایش آبیاری و نیتروژن باعث افزایش عملکرد بازارپسند کاهو آیسبرگ شد. شکل (۴)-ب نشان می‌دهد گرچه افزایش نیتروژن به افزایش بهره‌وری انجامید اما کاهش آبیاری تا ۲۰ درصد باعث افزایش و کاهش بیش از آن باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری شد.

مقادیر بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد بازارپسند بین ۲۱/۶۳ و ۱۵/۳۸ و برای ماده خشک بین ۰/۹۳ و ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (جدول ۶). نتایج نشان داد تیمار I_2، بهره‌وری آب آبیاری بیشتری نسبت به تیمارهای I_1 و I_3 داشتند (به ترتیب ۶/۶۵ و ۱۹/۶۵ درصد کاهش نسبت به I_2). نتایج نشان داد کاهش آبیاری تا ۲۰ درصد باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد اما کاهش بیشتر آبیاری باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری شد. نتایج کرنیک و همکاران (۲۰۰۲)، بوزکورت و منصورقلو (۲۰۱۱)، چالا و یوهانس (۲۰۱۵) و جیانینو و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد بهره‌وری آب با کاهش آبیاری افزایش یافت. نتایج کادایفچی و همکاران (۲۰۰۴)، کاپرا و همکاران (۲۰۰۸)، کاسلو و همکاران (۲۰۰۸)، یازگان و همکاران (۲۰۰۸)، سنیجیت و کاپلان (۲۰۱۳) و ساهین و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد کاهش آبیاری باعث کاهش بهره‌وری آب شد.



شکل ۵- رابطه عملکرد بازارپسند (الف) و بهره‌وری آب آبیاری (ب) با مجموع آب آبیاری و نیتروژن داده‌شده در کاهو آیسبرگ

جدول ۵- تابع تولید کاهو آیسبرگ به ازای مقادیر مختلف آب و نیتروژن

رابطه عملکرد بازارپسند کاهو (تن بر هکتار) با مجموع آبیاری در طول فصل رشد (میلی‌متر) و نیتروژن داده‌شده (کیلوگرم بر هکتار)					
$Y = -۴۶۸/۴۸+۳/۵۲I-۰/۱۸N-۰/۰۰۶I^۲ -۰/۰۰۰۰۰۴N^۲ +۰/۰۰۱IN$	R^2	Adj. R^2	RMSE	NRMSE	RE
	۰/۹۴	۰/۹۳	۲/۴۴	۰/۰۵	۰/۰۴
رابطه بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) با مجموع آبیاری در طول فصل رشد (میلی‌متر) و نیتروژن داده‌شده (کیلوگرم بر هکتار)					
$IWUE = -۱۶۱/۹۲۷+۱/۲۷I-۰/۰۲۴N-۰/۰۰۲۳I^۲ -۰/۰۰۰۰۵N^۲ +۰/۰۰۰۲۵IN$	R^2	Adj. R^2	RMSE	NRMSE	RE
	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۰۵	۰/۰۶

جدول ۶- بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن

سطح آبیاری	سطح نیتروژن	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)				بهره‌وری نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)			
		عملکرد بازارپسند		ماده خشک		عملکرد بازارپسند		ماده خشک	
		۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸
I_1	N_1	۲۱/۲۴	۱۹/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۴	۶۲۹/۰۶	۶۰۲/۲۵	۲۵/۹۸	۲۵/۵۴
	N_2	۱۸/۹۹	–	۰/۸۱	–	۸۴۳/۵۷	–	۳۶/۰۸	–
	N_3	۱۶/۵۶	–	۰/۷۵	–	۱۴۷۱/۷۰	–	۶۶/۶۷	–
	N_4	–	۱۶/۱۳	–	۰/۷۵	–	–	–	–
I_2	N_1	۲۱/۶۳	–	۰/۹۲	–	۵۷۱/۳۳	–	۲۴/۲۱	–
	N_2	۲۰/۱۹	–	۰/۸۷	--	۸۲۸/۷۱	–	۳۴/۴۲	–
	N_3	۱۸/۲۹	–	۰/۸۲		۱۴۴۹/۷۱	–	۶۴/۶۵	–
I_3	N_1	۱۷/۸۲	۱۸/۴۶	۰/۸۷	۰/۹۳	۴۱۳/۷۱	۴۲۴/۵۰	۲۰/۰۸	۲۱/۴۵
	N_2	۱۵/۶۷	–	۰/۸۲	–	۵۴۵/۸۶	–	۲۸/۶۴	–
	N_3	۱۵/۳۸	–	۰/۷۹	–	۱۰۷۱/۴۳	–	۵۵/۱۳	–
	N_4	–	۱۷/۳۹	–	۰/۸۴	–	–	–	–

از سوی دیگر به‌طورکلی کاهش نیتروژن داده‌شده باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری شد که نشان از تأثیر مثبت نیتروژن در افزایش این شاخص داشت و با نتایج انصاری و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. کاهش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای با آبیاری مشابه شد که مطابق نتایج فرانچسکو (۲۰۱۳) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) بود. همچنین کم‌آبیاری باعث کاهش بهره‌وری نیتروژن شد که با نتایج کرم و همکاران (۲۰۰۲) و انصاری و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد.

جمع‌بندی

به‌طورکلی کم‌آبیاری و کاهش کاربرد کود نیتروژن، باعث کاهش عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی کاهو آیسبرگ شد. نتایج آنالیز واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن در کاهو آیسبرگ نشان داد سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی عملکرد بازارپسند تأثیر معنی‌دار داشت و اثر متقابل این دو نیز معنی‌دار بود. همچنین سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی ماده خشک تولیدی تأثیر معنی‌دار داشت اما اثر متقابل این دو روی ماده خشک معنی‌دار نبود. حداکثر عملکرد بازارپسند طی دو سال، در تیمار آبیاری کامل با کودآبیاری ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار محقق شد. حداکثر ماده خشک تولیدی هم متعلق به همین تیمار بود. حداقل عملکرد بازارپسند و ماده خشک تولیدی نیز متعلق به تیمار کم‌آبیاری ۴۰ درصد با کودآبیاری ۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. نتایج نشان داد کاهش آبیاری تا ۲۰ درصد باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد اما کاهش بیشتر آبیاری باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری شد. به‌طورکلی کاهش نیتروژن داده‌شده باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری شد که نشان از تأثیر مثبت نیتروژن در افزایش این شاخص داشت. کاهش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای با آبیاری مشابه شد. همچنین کم‌آبیاری باعث کاهش بهره‌وری نیتروژن شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تیمار آبیاری کامل با ۱۰۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار جهت کشت کاهو آیسبرگ در شرایط آب و هوایی مشابه مزرعه آزمایشی منطقه مورد بررسی پیشنهاد می‌گردد. همچنین در موارد کمبود منابع آب موجود، کاهش ۲۰ درصدی آبیاری در انتهای فصل رشد، با توجه به نتایج، برای کاهو آیسبرگ قابل پیشنهاد است. در مورد کود نیتروژن نیز کاهش ۳۰ درصدی ضمن کاهش ریسک خطرات زیست‌محیطی، تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد کاهو نداشت.

فهرست منابع

۱. آقابیگی، م.، ایمانی، م.، حاجیان فر، ر.، خدادادی، م.، رافضی، ر.، موسوی، ح. ۱۳۹۶. نشریه فنی فناوری تولید کاهوی آیسبرگ و معرفی ارقام تجاری آن. وزارت جهاد کشاورزی ایران.

2. Abu-Rayyan A., Kharawish B.H., Al-Ismail K. 2004. Nitrate content in lettuce (Lactuca sativa L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. J. Sci. Food Agric. 84: 931–936.

3. Acharya S.K., Shukla Y.R. and Khatik P.C. 2013. Effect of water regime on growth and yield of lettuce (Lactuca Satıva L.). The Bioscan. An International Quarterly Journal of Life Science. 8(1): 201-206.

4. Allen G.R., Pereira S.L., Raes,D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO irrigation and drainage paper, NO. 56, Rome, Italy.

5. Ansari M., Chaichi M. R., Bhandari S. and Raheja A. 2019. Water and Nitrogen use Use Efficiency of Lettuce under Water Stressed Growing Conditions. Canadian Journal of Agriculture and Crops. 4(2): 111-120.

6. Belligno A., Fisichella G., Tropea M. and Sambuci G. 1996. Effect of different nitrogen fertilizers on nitrate content in lettuce plants. Agrochimica. 40: 85–93.
7. Boroujerdnia M. & Alemzadeh Ansari N. 2007. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of romaine lettuce (Lactuca sativa L.). Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology. 1: 47-53.
8. Bozkurt S. and Mansuroglu G.S. 2011. Lettuce yield responses to different drip irrigation levels under open field condition. Journal of Cell and Plant Sciences. 2(2): 12–18.
9. Bozkurt S., Mansuroglu G.S., Kara M. and Onder S. 2009. Responses of lettuce to irrigation levels and nitrogen forms. African Journal of Agricultural Research 4(11): 1171-1177.
10. Bremner J. M., & Keeney D. R. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Analytica Chimica Acta. 32: 485–495.
11. Capra A., Consoli S., Russo A. and Scicolone B. 2008. Integrated agroeconomic approach to deficit ırrigation on lettuce crops in Sicily (Italy). J. Irrig. Drain. Eng. 134: 437-445.
12. Chala M. and Yohannes K.W. 2015. Effect of irrigation application levels on yield and water productivity of drip irrigated lettuce (Lactuca sativa L.). Gedio Zone, Southern Ethiopia. Int. J. Basic Appl. Sci. 4: 229-234.
13. Coelho A.F.S., Gomes E.P., Sousa A.P., Gloria M.B.A. 2005. Effect of irrigation level on yield and bioactive amine content of American lettuce. J. Sci. Food. Agric. 85: 1026–1032.
14. Di Gioia F., Gonnella M., Buono V., Ayala O. and Santamaria P. 2017. Agronomic, physiological and quality response of romaine and red oak-leaf lettuce to nitrogen input. Italian Journal of Agronomy. 12(1).
15. Dobermann A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. In: Fertilizer best management practices. General principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium. pp. 1-28.
16. Doerge T.A., Roth R.L. and Gardner B.R. 1991. Nitrogen fertilizer management in Arizona. Univ. Arizona Publ. 191025.
17. Feigin A., Letey J. and Jarrell W.M. 1982. Nitrogen utilization emciency efficiency by drip irrigated celery receiving preplant or water applied N fertilizer. Agron. J. 74: 978-983.
18. Francesco D. 2013. Nitrogen use efficiency, yield and quality response of lettuce crop to nitrogen input, in Nitrogen, Environment, and Vegetables Conference. Torino, Italy. pp. 31-41.
19. Gallardo M., Jackson L.E., Schulbach K., Snyder R.L., Thompson R.B. and Wyland L.J. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. Irr. Sci. 16: 125–137.
20. Gianino D., Malladi A. and van Iersel M.W. 2015. Water use efficiency of four types of lettuce (Lactuca sativa) in response to different drought severities. ASHS 2015 Annual Conference, New Orleans, 4–7 August 2015.
21. Howell T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agron. J. 93: 281-289.
22. Ichi J.O., Ibrahim H., Osunde A.O. and Odofin A.J. 2018. Effect of mulch and irrigation on growth and water use efficiency of lettuce (Lactuca sativa L.) cultivars. International Journal of Applied Biological Research (IJABR) Vol. 9(2): 102 - 119.
23. Jackson L.E., Stivers L.J., Warden B.T. and Tanji K.K. 1994. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. Fert. Res. 37: 93-t05.
24. Kadayifci A., Tuylu G.İ., Ucar Y. and Cakmak B. 2004. Effects of mulch and irrigation water amounts on lettuce's yield, evapotranspiration, transpiration and soil evaporation in Isparta location, Turkey. J. Biol. Sci. 4: 751-755.

25. Karam F., Mounzer O., Sarkis F. and Lahoud R. 2002. Yield and nitrogen recovery of lettuce under different irrigation regimes. J. Appl. Hortic. 4(2): 70-76.
26. Kırnak H., Demir S., Tas İ. and Çakmaklı M. 2002. Response of different irrigation water applications on yield and growth of lettuce grown in greenhouse. J. Agric. Fac. Harran Uni. 6: 47-54.
27. Kuslu Y., Dursun A., Sahin U., Kiziloglu F.M. and Turan M. 2008. Effect of deficit irrigation on curly lettuce grown under semiarid conditions. Spanish J. Agr. Res. 6: 714-719.
28. Mahmoudi K.F. 2005. Effects of rates and sources nitrogen fertilizer on nitrate accumulation and yield of lettuce. MSc Thesis. Department of Soil Science. Science and Research Branch. Islamic Azad University. Tehran. Iran.
29. Mansuroglu G.S., Bozkurt S., Kara M. and Telli S. 2010. The effects of nitrogen forms and rates under different irrigation levels on yield and plant growth of lettuce. Journal of Cell and Plant Sciences. 1(1): 33–40.
30. Miller R.J., Rolston D.E., Rauschkolb R.S. and Wolve D.W. 1981. Labeled nitrogen uptake by drip-irrigated tomatoes. Agron. J. 73: 265-270.
31. Mirdad Z.M. 2016. Effect of N Fertigation Rates and Humic Acid on The Productivity of Crisphead Lettuce (Lactuca sativa L.) Grown in Sandy Soil. Journal of Agricultural Science 8(8): 149.
32. Molina-Montenegro M.A., Zurita-Silva A. and Oses R. 2011. Effect of water availability on physiological performance and lettuce crop yield (Lactuca sativa). Cien. Inv. Agr. 38: 65-74.
33. Monaghan J.M., Vickers L.H., Grove I.G. and Beacham A.M. 2017. Deficit irrigation reduces postharvest rib pinking in wholehead Iceberg lettuce, but at the expense of head fresh weight. J. Sci. Food Agric. 97: 1524-1528.
34. Ouzounidou G., Paschalidis C., Petropoulos D., Koriki A., Zamanidis P. and Petridis A. 2013. Interaction of soil moisture and excess of boron and nitrogen on lettuce growth and quality. Hort. Sci. (Prague). 40: 119-125.
35. Patil T., Singh M., Khanna M., Singh D.K. and Hasan M. 2013. Response of lettuce (lactuca sativa l.) to trickle irrigation under different irrigation intervals, n application rate and crop geometry, Indian Journal of Agricultural Economics, Indian Society of Agricultural Economics, vol. 68(4): 1-10.
36. Ramos C., Agut A. and Lidón A.L. 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). Environ. Pollut. 118: 215–223.
37. Rincon L., Pellicer C., Saez J. 1998. Effect of different nitrogen application rates on yield and nitrate concentration in lettuce crops. Agrochemia. 42: 304-312.
38. Sahin U., Kuslu Y., Kiziloglu F.M. and Cakmakci T. 2016. Growth, yield, water use and crop quality response of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region of high altitude. Journal of Applied Horticulture. 18(3): 195-202.
39. Sammis T. W., Kratky B.A. and Wu I.P. 1988. Effects of Limited Irrigation on Lettuce and Chinese cabbage Yields. Irrig Sci. 9:187-198.
40. Sammis T.W. 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. Agron. J. 725: 701-704.
41. Sanchez Ch.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. HortScience. 35(1): 73-77.
42. Santosh D.T., Reddy R.G. and Tiwari K.N. 2017. Effect of drip irrigation levels on yield of lettuce under polyhouse and open field condition. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci. 6(7): 1210-1220.
43. Schulbach K. 1988. Crop water use and irrigation efficiency evaluation. Final Report, Monterey County Agricultural Extension Service, Salinas, California.
44. Şenyiğit U. and Kaplan D. 2013. Impact of different irrigation water levels on yield and some quality parameters of lettuce (lactuca sativa l. var. longifolia cv.) under unheated greenhouse condition. Infrastructure Ecol. Rural Areas. 2: 97-107.

45. Shahbazi M. 2005. Effects of different nitrogen levels on the yield and nitrate accumulation in the four of lettuce cultivars. MSc Thesis, Department of Horticulture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. 99 pp. (in Farsi)
46. Shahbazie M. 2005. Effects of different nitrogen levels on the yield and nitrate accumulation in the four of lettuce cultivars. MSc Thesis. Islamic Azad University. Tahran. Iran.
47. Shock C.C. 1998. An Introduction to Drip Irrigation [Online]. Malheur Experiment Station, Oregon Universit. Available: http://www.cropinfo.net/drip.htm.
48. Simko I., Hayes R.J., Mou B. and McCreight J.D. 2014. Lettuce and spinach. In Yield Gains in Major U.S. Field Crops (Madison, WI, USA: American Society for Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America). P.53–86.
49. Sorensen J.N., Johansen A.S. and Poulsen N. 1994. Influence of growth and conditions on the value of crisphead lettuce: I. Marketable and nutritional quality as affected by nitrogen supply cultivar and plant age. Plant Foods for Human Nutrition. 46(1): 1-11.
50. Stark J.C., Jarrell W.M., Letey J. 1983. Evaluation of irrigation-nitrogen management practices for celery using continuous-variable irrigation. Soil Sci Soc Am J. 47: 95-98.
51. Sylvestre T.D.B., Braos L.B., Batistella Filho F., Cruz M.C.P.D. and Ferreira M.E. 2019. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. Sci. Hort. 225: 153-160.
52. Thompson R.B., Martínez-Gaitán C., Gallardo M., Giménez C. and Fernández M.D. 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. Agric. Water Manag. 89: 261–274.
53. Thompson T.L. and Doerge T.A. 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce I. Plant response. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:163–168.
54. Tittonell P.A., de Grazia J., Chiesa A. 2003. Nitrate and dry water concentration in a leafy lettuce (Lactuca sativa L.) cultivar as affected by N fertilization and plant population. Agricultura Tropica and Subtropica. 36: 82-87.
55. Yazgan S., Ayas S., Demirtas C., Büyükcangaz H. and Candogan B.N. 2008. Deficit irrigation effects on lettuce (Lactuca sativa var. Olenka) yield in unheated greenhouse condition. J. Food Agr. Environ. 6: 357-361.
56. Zandvakili O.R., Barker A.V., Hashemi M., Etemadi F., Autio W.R. and Weis S. 2019. Growth and nutrient and nitrate accumulation of lettuce under different regimes of nitrogen fertilization, Journal of Plant Nutrition. 42(14): 1575-1593.

Effect of Different Levels of Irrigation and Fertilizer on Water and Nitrogen Productivity in Lettuce

M. S. Jafari, H. Noory[\], A. M. Liaghat, and H. Ebrahimian

PhD candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
m.saeedjafari@ut.ac.ir
Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
hnoory@ut.ac.ir
Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
aliaghat@ut.ac.ir
Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
ebrahimian@ut.ac.ir

Received: June 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

Lettuce is one of the most important leafy vegetables used primarily for fresh and salad applications. The purpose of this study was to investigate the effect of different levels of water and nitrogen on lettuce yield and find the best irrigation and nitrogen fertilizer practices for producing this crop in drip irrigation. Iceberg variety of lettuce was planted in 2018 with three irrigation treatments (I_1, I_2 and I_3 to provide 100%, 80%, and 60% of crop evapotranspiration, ET_a, respectively) and four nitrogen treatments (N_1, N_2, N_3, and N_4 to provide 105, 70, 35 and zero kg of nitrogen per hectare in total, respectively). In 2019, two irrigation treatments (I_1 and I_3) and two nitrogen treatments (N_1 and N_4) were used. The experiment had a randomized complete block design with three replications. The results indicated that the effect of irrigation and nitrogen treatments and their interactions on the marketable yield of lettuce; but the dry matter produced was only affected by irrigation and nitrogen treatments. Maximum marketable yield and dry matter production were 66.1 ton.ha^{-1} and 2728.2 kg.ha^{-1} for full irrigation treatment with 105 kg.ha^{-1} nitrogen (I_1N_1) treatment, respectively. The minimum marketable yield and dry matter were 37.5 ton.ha^{-1} and 1929.6 kg.ha^{-1} for 60% ET_a treatment with 35 kg.ha^{-1} nitrogen (I_3N_3) treatment, respectively. The maximum and minimum irrigation water productivities for marketable yield were 21.63 and 15.38 kg.m^{-3} for I_2N_1 and I_3N_3 treatments, respectively. The linear and nonlinear production functions of yield-water and yield-nitrogen were obtained for lettuce variety Iceberg, which can be used in similar environmental conditions in research and practical applications.

Keywords: Deficit irrigation, Fertilizer nitrogen, Marketable yield, Production function, Lettuce variety Iceberg

[\]. Corresponding author: Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.