ژرفای بهینه آب آبیاری ذرت در روش آبیاری بارانی

شاهرخ زند پارسا، غلامرضا سلطانی و علیرضا سپاس‌خواه[۱]

چکیده

در این پژوهش ژرفای بهینه آب آبیاری برای گیاه ذرت، در روش آبیاری بارانی، در منطقه باجگاه (در ۱۵ کیلومتری شیراز)، در شرایط مختلف حداکثر محصول، محدودیت زمین و محدودیت آب تعیین گردیده است.

نتایج بیانگر این است که در حداکثر محصول، ژرفای بهینه آب آبیاری برابر ۷۷ سانتی‌متر، در شرایط محدودیت زمین، به علت کم بودن هزینه آب و حساسیت زیاد گیاه ذرت نسبت به آب، ژرفای بهینه آب آبیاری برابر ۷۶/۸ سانتی‌متر، و در شرایط محدودیت آب، ژرفای بهینه آب آبیاری برابر ۷۳/۴ سانتی‌متر به دست می آید. در شرایط محدودیت آب، برای بیشترین سود دهی از کشت ذرت، فقط تا ۴/۷ درصد از آب را نسبت به مصرف آن در حداکثر محصول می‌توان صرفه جویی نمود.

واژه‌های کلیدی: *کم آبیاری، ژرفای بهینه آب آبیاری، ذرت*

مقدمه

ژرفای بهینه آب آبیاری کمتر از ژرفای آب آبیاری برای تولید حداکثر محصول است(۴). به همین علت، اگر مزرعه با ژرفای بهینه آب، آبیاری گردد شرایط کم آبیاری[۲] به وجود می آید. در شرایط کم آبیاری، مقدار محصول تولیدی در واحد سطح کمتر از حداکثر تولید در واحد سطح می‌گردد. ولی سرانجام سود حاصله افزایش می‌یابد(۴). روش کم آبیاری در بسیاری از نقاط آمریکا، هند، آفریقا و سایر نواحی کم آب دنیا رایج است(۴).

میان ژرفای آب آبیاری و محصول یک رابطه نسبتاً خطی وجود دارد(۸). ولی هنگامی که ژرفای آب آبیاری بیش از ۵۰ درصد آبیاری کامل باشد، این رابطه غیر خطی می‌شود(۸). علت رابطه غیر خطی، افزایش نفوذ عمقی و رواناب می‌باشد (۱۰). اگر افزایش مقدار آب آبیاری در اثر افزایش شمار آبیاری باشد، تبخیر از خاک بیشتر می‌گردد(۸) و بازده بهره‌برداری از آب (نسبت محصول به آب مصرفی[۳]) کاهش می‌یابد. با مصرف

۱. به ترتیب مربی آبیاری، استاد اقتصاد کشاورزی و استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

2. Deficit irrigation

3. Water use efficiency

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.1.0]

بیشتر آب، عواملی چون ماندابی شدن، کاهش تغذیه منطقه ریشه، شست‌شوی مواد غذایی خاک و افزایش همه‌گیری برخی بیماری‌های مرتبط با خاک مرطوب، ممکن است باعث کاهش محصول گردند(۴).

هدف اصلی کم آبیاری، افزایش بازده بهره‌برداری از آب می‌باشد. آشکار است که هرگاه منابع آب محدود باشد، یا بهره‌برداری از آب هزینه در برداشته باشد، مقدار بهینه ژرفای آب آبیاری کمتر از مقدار آن در حداکثر محصول می‌گردد(۱).

مدیریت کم آبیاری بر پایهٔ شرایط آبیاری، نوع محصول و شرایط محلی فرق می‌کند. کم آبیاری نیاز به آگاهی زیادی نسبت به عوامل مؤثر در کشاورزی دارد، و لازم است بر پایهٔ نوع محصول، مقدار و زمان آبیاری به گونه‌ای تنظیم شود تا کاهش محصول در واحد سطح حداقل گردد. فواید ناشی از کم آبیاری به سه صورت زیر می‌باشد(۵):

۱. هزینه تولید کاهش می‌یابد.

۲. بازده مصرف آب زیاد می‌شود.

۳. هزینه فرصت‌های از دست رفته آب افزایش می‌یابد.

برابر شکل ۱، با افزایش ژرفای آبیاری، میزان محصول افزایش می‌یابد. ولی هرگاه ژرفای آب آبیاری زیاد شود، تهویه خاک کم، و شست‌شوی مواد غذایی گیاه (مثل نیترات) افزایش یافته، در نتیجه کاهش محصول به وجود می‌آید. در شکل ۲ رابطه درآمد و هزینه با ژرفای آب آبیاری نشان داده شده است. هزینه‌ها شامل مواردی مانند هزینه‌های تهیه زمین، کاشت، داشت و برداشت می‌شوند، که به ژرفای آب آبیاری وابسته نیستند، ولی یک دسته از هزینه‌ها در ارتباط با آبیاری می‌باشند. بنابراین، کل هزینه‌ها(C، ریال) را می‌توان به صورت معادله یک خط راست به شرح زیر بیان کرد (۴و۵):

$$C = a + (b \times w) \qquad [۱]$$

که در آن w ژرفای آبیاری (cm)، a هزینه‌هایی است که به مقدار آبیاری ارتباطی ندارند، و b هزینه‌های مربوط به واحد ژرفای آب آبیاری می‌باشد (مانند برق مصرفی در پمپاژ یا هزینه کارگر آبیار).

درآمد حاصله از کشت به طور کلی در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق این شکل در حداکثر درآمد (یا حداکثر محصول) ژرفای آب آبیاری برابر w_m می‌باشد. هنگامی که زمین عامل محدود کننده باشد، ژرفای بهینه آب برای حداکثر سود، کمتر از w_m می‌گردد (w_l). هرگاه آب عامل محدود کننده باشد، از آب صرفه جویی شده می‌توان در جاهای دیگری بهره جست، یعنی هزینه فرصت‌های از دست رفته نیز در نظر گرفته می‌شود. در این حالت ژرفای بهینه آب آبیاری (w_w) کمتر از w_l می‌گردد. به نمودار درآمد- ژرفای آب آبیاری می‌توان معادله‌ای به شرح زیر برازش داد:

$$P \times Y = f(w) \qquad [۲]$$

که در آن Y مقدار محصول (تن در هکتار)، P قیمت واحد وزن محصول (ریال به ازای هر تن) و f(w) نشان‌دهنده تابعی از عمق آب آبیاری می‌باشد.

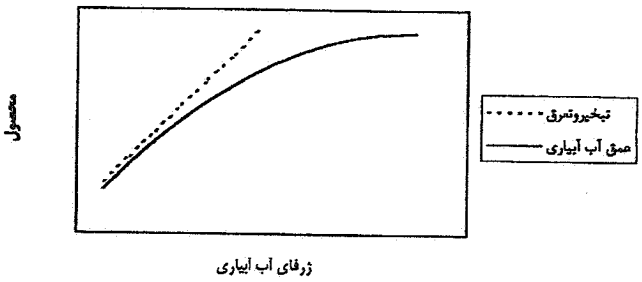
در محصولات گوناگون، نسبت ژرفای بهینه آب آبیاری به ژرفای آن در آبیاری کامل فرق می‌کند. این ژرفای بهینه آب آبیاری وابسته به عوامل مختلفی مانند شرایط خاک، رطوبت خاک پیش از کشت، روش آبیاری، نوع واریته و غیره است، و در نقاط مختلف دنیا برای یک محصول مقدار ثابتی نیست.

انگلیش و راجا(۶) در شرایط محدودیت آب، مقدار ژرفای بهینه آب آبیاری را نسبت به آبیاری کامل (در آبیاری کامل محصول به حداکثر می‌رسد)، برای گندم ۳۹ درصد، پنبه ۴۴ درصد و ذرت ۵۹ درصد ذکر می‌کنند. قهرمان و سپاسخواه (۷) در روش غیر خطی بهینه سازی آب آبیاری در قسمت شمال شرقی ایران، این نسبت‌ها را برای سیب زمینی در اسفراین ۲۰ درصد، برای پنبه در اسفراین ۹ و در دره‌گز ۲۰ درصد به دست آوردند. توکلی (۳) برای محصول چغندر قند این نسبت را ۳۴ درصد تعیین نمود. هاول و همکاران (۹) به این نتیجه رسیدند که در نقاط خشک آمریکا، ذرت نسبت به کم آبی بسیار حساس است، و برای این گیاه کم آبیاری را توصیه ننمودند.

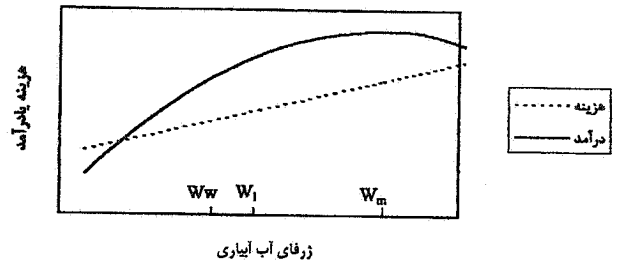
هدف از این پژوهش تعیین ژرفای بهینه آب آبیاری در کشت ذرت است، و مقدار ژرفای آب آبیاری در سه حالت w_m، w_l و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.1.0]



شکل ۱. نمای عمومی تابع تولید محصول



شکل ۲. نمای درآمد محصول تولیدی

W_W تعیین می‌گردد.

مواد و روش ها

به منظور برآورد مقدار محصول و برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت، از گزارش هنر و سپاسخواه (۲) استفاده گردید. در این گزارش برای ژرفاهای مختلف آب آبیاری، مقادیر محصول ذرت در اراضی پژوهشی دانشکده کشاورزی (باجگاه، ۱۵ کیلومتری شیراز) اندازه‌گیری شده است. روش آبیاری به صورت یک خط آبیاری بارانی[1] بود که مقدار آب پاشیده شده به دو طرف لوله آبپاش کم و بیش به صورت خطی کاهش می‌یافت. بنابراین، به قسمت‌های مختلف مزرعه مقادیر متفاوت آب داده می‌شد.

بر پایهٔ داده‌های به دست آمده از آزمایش آبیاری بارانی، در تیمارهای نزدیک به لوله آبیاری، به علت پر آبی و افزایش شست شوی مواد غذایی خاک و کم شدن تهویه خاک، محصول کمتری تولید شده است. درگزارش هنر و سپاسخواه (۲) مقادیر مربوط به محصول دانه ذرت و ژرفای آب آبیاری آمده است. در پژوهش حاضر تابع تولید ذرت از داده‌های اندازه‌گیری شده در منبع فوق برگرفته شده است. مطابق شکل ۳، با افزایش ژرفای آب آبیاری مقدار محصول افزایش می‌یابد، و به یک حداکثر می‌رسد، و سپس با افزایش ژرفای آب آبیاری از مقدار آن کاسته می‌گردد. با برازش یک رابطه درجه ۵ بر این داده‌ها، معادله زیر به دست می‌آید:

$$Y= ۱۲۷/۶-۸/۷۰۰\times w + ۰/۲۱۷\times w^{۲}-۰/۰۰۲\times w^{۳}+ ۶/۸۵\times ۱۰^{-۶}\times w^{۴}-۲/۸۱\times ۱۰^{-۴۱}\times w^{۵} \quad [۳]$$

نتایج و بحث

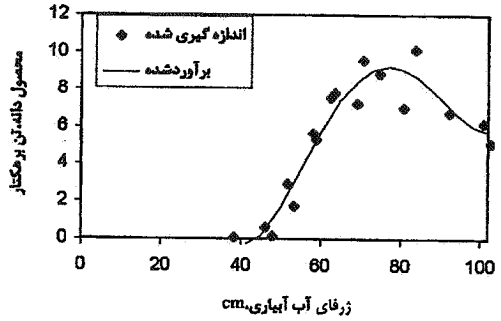
تعیین ژرفای بهینه آب آبیاری

برای برآورد ژرفای بهینه آب آبیاری لازم است که هزینه‌ها جداگانه برای مراحل گوناگون کشت مشخص گردد. بر پایهٔ فهرست بهای سال ۱۳۷۷، افزون بر هزینه‌های مربوط به آبیاری، این هزینه‌ها برابر ۱۲۶۶۹۷۰ ریال در هکتار می‌گردد. هزینه آبیاری بر پایه ساعات کار موتور پمپ و برق مصرفی، به

1. Line source

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.1.0]



شکل ۳. تابع محصول ذرت نسبت به تغییرات ژرفای آب آبیاری (W)

صورت ۱۵۵۵w محاسبه می‌شود. در نتیجه، کل هزینه‌های تولید محصول ذرت را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$C = ۱۲۶۶۹۷۰ + ۱۵۵۵w \qquad [۴]$$

در شکل ۴ منحنی‌های درآمد و هزینه، نسبت به تغییرات ژرفای آب آبیاری نشان داده شده است. همان گونه که از این شکل پیداست، با افزایش ژرفای آب آبیاری، درآمد افزایش می‌یابد، ولی به علت هزینهٔ ناچیز آبیاری نسبت به درآمد، شیب خط هزینه نسبتاً کم است. در ژرفای آب آبیاری (w_m) برابر ۷۷ سانتی متر، مقدار محصول به حداکثر می‌رسد، ولی برای محاسبه ژرفای بهینه آب آبیاری ناگزیر به اجرای کم آبیاری می‌باشیم. برای یک محصول، ژرفای بهینه آب آبیاری را در دو حالت به شرح زیر می‌توان تعیین نمود (۴):

۱. در حالتی که زمین عامل محدود کننده باشد.

۲. در حالتی که آب عامل محدود کننده باشد.

در حالت اول چون کمبود آب وجود ندارد و زمین عامل محدود کننده است، بنابراین، تلاش می‌شود تا از مقدار زمین زیر کشت بیشترین بهره گرفته شود. در این حالت لازم است تا تفاضل درآمد و هزینه را حداکثر نمود. همان گونه که از شکل ۴ پیداست، هر چه هزینه آبیاری کمتر باشد، ژرفای آب آبیاری به w_m نزدیک‌تر می‌شود. برای حداکثر نمودن اختلاف درآمد (P×Y) و هزینه (C) باید:

$$\partial(P\times Y-C)/\partial w = ۰ \qquad [۵]$$

$$P\times\partial Y / \partial w - \partial C / \partial w = ۰ \qquad [۶]$$

با در نظر گرفتن توابع درآمد و هزینه برابر روابط ۳و۴ و مشتق‌گیری از آنها، رابطه ۶ به صورت زیر در می‌آید:

$$۵۶۰۰۰۰(۸/۷۰۰+۲\times۰/۲۱۷w-۳\times۰/۰۰۲w^{۲}+۴\times۶/۸۵\times۱۰^{-۶}\times w^{۳}-۵\times۲/۸۱\times۱۰^{-۴۱}w^{۴})-۱۵۵۵=۰ \qquad [۷]$$

با حل رابطه فوق توسط روش نیوتن رافسون، مقدار ژرفای بهینه آب آبیاری در شرایط محدود بودن زمین (w_1) برابر ۷۶/۸ سانتی متر به دست می‌آید. به علت کم بودن هزینه آبیاری نسبت به درآمد، مقدار w_1 نزدیک به w_m می‌گردد. نظر به این که این حالت درباجگاه صادق نبوده و محدودیت آب وجود دارد، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

در حالت دوم که مطابق شرایط باجگاه و بسیاری از مناطق ایران است، محدودیت آب وجود دارد، و با کم آبیاری می‌توان زمین‌های دیگری را به زیر کشت برد. برای آب، هزینه فرصت‌های از دست رفته[1] نیز محاسبه می‌شود، یعنی می‌توان با این آب زمین دیگری را آبیاری کرد، و در این‌جا فرض شده است که این زمین زیر همین کشت باشد. بر پایهٔ این شرایط، لازم است سود نهایی مصرف آب[2] برابر هزینه‌های فرصت‌های از دست رفته آب گردد. یعنی :

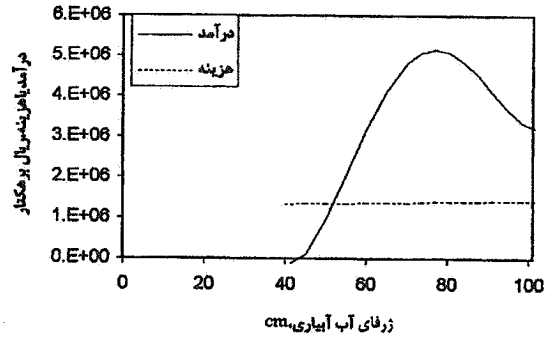
$$w\times[\partial(P\times Y-C)/\partial w] = P\times Y-C \qquad [۸]$$

با منظور نمودن معادلات ۳و۴ و مشتق گیری از آنها، معادله زیر به دست می‌آید:

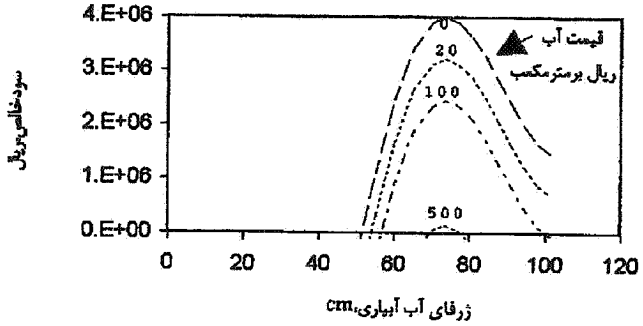
1. Opportunity cost 2. Marginal profit

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.1.0]



شکل ۴. تابع درآمد و هزینه محصول ذرت نسبت به تغییرات ژرفای آب آبیاری در باجگاه



شکل ۵. تغییرات سود حاصله از کشت ذرت برای قیمت‌های مختلف آب آبیاری موجود به میزان ۷۷۰۰ متر مکعب در روش آبیاری بارانی

$$w\times 560000\times(8/700+2\times 0/217w-3\times 0/002w^{2}+4\times 6/85\times 10^{-6}w^{3}+5\times 2/81\times 10^{-41}w^{4})-560000\times(127/6-8/700w+0/217w^{2}-0/002w^{3}+6/85\times 10^{-6}w^{4}-2/81\times 10^{-41}w^{5})+1266970=0 \quad [9]$$

با حل معادله فوق با روش نیوتن رافسون، مقدار ژرفای بهینه برای شرایط محدودیت آب (w_w) برابر ۷۳/۴ سانتی‌متر محاسبه می‌شود. در این حالت ژرفای بهینه کمتر از w_l می‌گردد.

در بررسی تغییرات w_w نسبت به تغییرات هزینه آب از معادله ۹ مشخص می‌شود که ضریب مربوط به قیمت آب، یعنی قیمت آب در معادله ۹ از طرفین حذف شده است، بنابراین، ژرفای w_w هیچ ارتباطی به هزینه آب ندارد. یعنی در هر هزینه‌ای از آب مقدار w_w ثابت است. هرگاه حجم مشخصی آب، مثلاً ۷۷۰۰ متر مکعب در اختیار باشد، در شرایط آبیاری کامل و رسیدن به محصول حداکثر، تنها یک هکتار زمین زیر کشت می‌رود. در شرایطی که بتوان با انجام کم آبیاری بخشی از این آب را به زمین های دیگر اختصاص داد، سود حاصله مانند شکل ۵ تغییر می‌نماید. برابر شکل ۵، هنگامی که هزینه آب برابر ۵۰۰ ریال بر متر مکعب گردد، سود خالص از کشت ذرت نزدیک به صفر می‌شود.

نتیجه‌گیری

ژرفای آب آبیاری در سه حالت برای حداکثر محصول (w_m)، برای حداکثر سود با توجه به محدودیت زمین (w_l)، و برای حداکثر سود با توجه به محدودیت آب (w_w) برآورد گردید. در این برآوردها به ترتیب $w_w<w_l<w_m$ شد. مقادیر w_m، w_l و w_w به ترتیب برابر ۷۷/۰، ۷۶/۸ و ۷۳/۴ سانتی‌متر بوده است. ولی با توجه به حساسیت زیاد محصول ذرت به کم آبی، و حساسیت زیاد منحنی تولید محصول نسبت به ژرفای آبیاری، این سه ژرفا نزدیک به هم می‌باشند. برای حداکثر نمودن سود خالص از کشت ذرت در شرایط کم آبی، می توان تا ۴/۷ درصد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.1.0]

از آب را صرفه‌جویی نمود. بنابراین، با توجه به پراکندگی نقاط اندازه گیری شده تولید محصول و ژرفای آب آبیاری در شکل ۳، می توان گفت که در محصول ذرت برای رسیدن به سود حداکثر، کم آبی مناسب نیست. این مطلب در گزارش هاول و همکاران (۹) در مناطق خشک آمریکا نیز به خوبی نشان داده شده است.

منابع مورد استفاده

۱. سلطانی، غ. ۱۳۷۴. بهره برداری اقتصادی از منابع آب. آب و توسعه ۳:۳۴-۴۰.

۲. هنر، ت. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۳. کاربرد مدل CRPSM برای تخمین محصول ذرت در آبیاری سطحی و بارانی. ص. ۴۱-۵۳. مجموعه مقالات دومین کنگره مسائل ملی آب و خاک کشور، معاونت تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ۲۷-۳۰ بهمن.

۳. توکلی، ع. ر. ۱۳۷۵. بررسی اثرات کم آبیاری روی محصول چغندرقند و تعیین تابع تولید. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران .

4. English, M. J., J. T. Musick and V. V. N. Mutry. 1992. Deficit irrigation. PP. 361-393. *In*: J. G. Howell and K. H. Solomons. Management of Farm Irrigation Systems. ASAE Publication, New York, USA.

5. English, M. J. 1990. Deficit irrigation: An analytical frame work. J. ASCE (lR) 116(3): 399-412.

6. English, M. J. and S. N. Raja. 1996. Review perspectives on deficit irrigation. Agric. Water Manage. 32: 1-14.

7. Ghahraman, B. and A. R. Sepaskhah. 1997. Optimum deficit irrigation of cotton and potato fields in a semi-arid region. Iran. J. Sci. & Technol. 21: 395-405.

8. Hanks, R. J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agron. J. 66: 660-665.

9. Havel, T. A., J. A. Tolk, A. D. Schneider and R. E. Steven. 1998. Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. Agron. J. 90: 3-9.

10. Peri, G. W., E. Hart and D. I. Norum. 1979. Optimal irrigation depths. A method of analysis. Proc. ASCE 105(TR4): 341-355.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.1.0]