طراحی مدل تعیین احتمال روزهای کاری مناسب عملیات خاک ورزی

(مطالعه موردی: شهرستان بوئین زهرا)

روح اله یوسفی[1]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین

* ایمیل نویسنده مسئول: r.yousefi1348@gmail.com

چکیده

برای انجام دادن کار در زمان معین، مهم ترین فـاکتور تخمین تعداد روزهای کاری است. در تعیین روزکاری مناسب برای خاکورزی بعضی از عوامل محدود کننده قابل کنترل را می توان با مدیریت صحیح در محدوده مجاز نگه داشت، عوامل اقلیمی از جمله عواملی می باشند که غیر قابل کنترل بوده و مدیر اجرای عملیات کنترلی روی آنها ندارد. این مدل جهت تعیین احتمال روزهای کاری مناسب خاکورزی طراحی گردیده. مدل جهت اجرا نیازمند ورود اطلاعات هواشناسی و خصوصیات فیزیکی خاک می باشد. از اهداف فرعی طراحی مدل محاسبه تبخیر، رواناب، نفوذ عمقی و در نهایت با توجه به موازنه آب خاک، محاسبه مقدار رطوبت ذخیره شده در عمق مورد بررسی می باشد. برای استفاده از مدل باید از عملکرد آن اطمینان حاصل نمود. بدین منظور نتایج شبیه سازی مدل برای رطوبت خاک، مشخصه های منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. جهت ارزیابی از آماره های: میانگین انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب کارایی مدل، میانگین درصد انحراف نسبی، رگرسیون مجموع مربعات مربع و ضریب تعیین استفاده شد. نتایج نشان داد مدل از دقت مناسبی برخوردار است. در بررسی حساسیت ورودی برنامه به مقدار رطوبت اولیه خاک، نتایج نشان داد مقدار رطوبت اولیه فقط در چند روز اول اهمیت دارد و با نزدیک شدن به سطح خاک یا افزایش رطوبت این زمان کاهش می یابد. در تعیین احتمال وقوع روزهای کاری، زمانی که فقط حد بالای قابلیت کاری به عنوان عامل محدودکننده خاکورزی در نظر گرفته شود، احتمال روزکاری نسبتاً بزرگی بدست می آید.

واژه‌های کلیدی: احتمال وقوع روزهای کاری، اعتبارسنجی، قابلیت کاری، مدل، موازنهٔ آب خاک

مقدمه

برای انجام دادن کار در وقت معین، مهم ترین فـاکتور تخمین تعداد روزهای کاریست. تعداد روزهای کاری در هر منطقه با توجه به عوامل محدودکننده متفاوت است، با توجه به این عوامل در هر منطقه روزهای کاری مشخص گـردد (یوسفی، ۱۳۹۱).

مهم ترین عامل محدود کننده در عملیات خاکورزی میزان رطوبت خاک می باشد. برخی از عوامل تأثیر گذار بر تغییر رطوبت خاک عبارت است از: میزان و شدت بارندگی، وضعیت زهکشی خاک، درصد رطوبت موجود در هوا، تبخیر و تعرق، رواناب سطحی خاک، میزان و شدت تابش خورشید، درجه حرارت محیط، میزان پوشش گیاهی و بافت خاک می باشند (حیدری، ۱۳۹۲).

به منظور ارزیابی مقدار رطوبت خاک با توجه به مأخذهای روزانه لازم است، مقدار رطوبت خاک روز قبل، مقدار بارندگی، مقدار رواناب، زهکشی و تبخیر و تعرق مورد توجه قرار گیرد (Witney,1988).

چنانچه عملیات خاکورزی در رطوبت مناسب انجام شود، کمترین اثر تخریبی در خاک وجود خواهد داشت. در زمان انجام عملیات خاکورزی، اگر میزان رطوبت از حد بهینه بیشتر باشد، خاک فشرده می شود و در حالتی که این رطوبت کمتر از میزان بهینه باشد، خاک پودر می شود. همچنین اگر خاک خشک باشد فشار ادوات خاکورز در سطح متمرکز می شود ولی در صورت مرطوب بودن این فشار به لایه های زیرین منتقل می گردد (الماسی و دیگران، ۱۳۸۷).

اجرای عملیات خاکورزی زمانی میسر است که تراکتور و ماشین های کشاورزی بر روی خاک امکان تردد داشته باشند (قابلیت تردد) و شرایط خاک به گونه ای باشد که انجام عملیات خاکورزی به نحو مطلوب امکان پذیر باشد (قابلیت کاری) (Rounsevell and Jones, 1993).

برای عملیات خاک ورزی ، از لحاظ رطوبت خاک دو حد قابل تصور است :

الف – حد بالای قابلیت کاری (UWL) ب– حد پایین قابلیت کاری (LWL)

به فاصله میان حد بالای قابلیت کاری و حد پایین قابلیت کاری که در آن امکان عملیات خاک ورزی وجود دارد، گستره قابلیت کاری برای خاک ورزی گویند. در گستره قابلیت کاری نقطه ای وجود دارد که بهترین عملکرد عملیات خاک ورزی در آن رطوبت روی می دهد. به این نقطه، رطوبت بهینه خاک برای عملیات خاک ورزی گویند (Dexter *et al*., 2005).

بررسی ها نشان می دهد مرز مشخصی برای رطوبت در حد پایین خاکورزی به صورتی که برای حد بالای خاکورزی وجود داشت ، موجود نیست و نمی توان مقدار رطوبت مشخصی را در این مرحله تعیین کرد که نتیجه خاک ورزی به طور ناگهانی تغییر کند. دکستر و بیرد حد پایین خاکورزی را این گونه تعریف کردند: رطوبتی که در آن مقاومت خاک دو برابر مقاومت خاک در رطوبت بهینه خاک ورزی گردد (Dexter and Bird, 2001).

از آنجا که تغییرات جوی زیاد می باشد هرگونه پیش بینی در خصوص روز های کاری آینده می تواند فقط به صورت احتمالات بیان شود. تعداد روزهای کاری در هر دوره زمانی تحت تأثیر آب و هوای منطقه ای، شیب زمین، نوع خاک، مشخصات زهکشی و نوع

عملیات و نحوه راه اندازی و کشش ماشین های کشاورزی وسایل می باشد، جهت فراهم آوردن شرایط کار مناسب ماشین، رطوبت خاک باید در حد بهینه باشد (ASAE D997.2 NO4, 1995).

بنابر این ارائه مدل یا الگویی که بتواند روزهای کاری مناسب جهت عملیات خاکورزی در مناطق مختلف کشور برای محصولات مختلف با توجه به: نوع کشت (دیم یا آبی)، روش خاکورزی، انواع خاک (ساختمان و بافت)، وضعیت و شرایط منطقه، شرایط فنی و اقتصادی با محوریت نقش مکانیزاسیون را مشخص نماید، کاملاً ضروری به نظر می رسد.

برای تعیین احتمال روز کاری معمولاً از دو روش؛ آمارگیری از شرایط واقعی و به کارگیری مدل‌های بیلان آب خاک استفاده می‌شود (خانی و دیگران، ۱۳۸۷).

ادواردز و بوهلجی، داده‌های آماری ۲۰ سال ایالت آیووای آمریکا را در مورد روزهای کاری عملیات‌های کشاورزی مورد بررسی قرار دادند و مستقیماً تعداد و احتمال روزهای کاری را به‌دست آوردند (Edwards and Boehlje, 1980).

کوپر و همکاران، نیز با استفاده از مدل SOIL و داده‌های هواشناسی ۱۰ سال چهار منطقه اسکاتلند، تعداد روزهای کاری مناسب در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی را برآورد کردند (Cooper *et al*., 1997).

سیمالنگا و هیو با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۱ سال و یک مدل بیلان آب خاک که رطوبت خاک را به صورت روزانه تخمین می‌زد، روزهای مناسب کاری برای عملیات خاک‌ورزی در مناطق نیمه خشک موروگورو تانزانیا را پیش‌بینی کردند. میانگین تعداد روزهای کاری برای شخم و کاشت به‌ترتیب ۱۴ و ۳۴ روز بود (Simalenga and Have, 1992).

روتز و هاریگان برای تعیین احتمال روز کاری برای عملیات خاک ورزی از مدل‌های بیلان آب خاک استفاده کردند و اعلام کردند هدفشان توسعه مدلی است که بتواند روزهای کاری را برای عملیات های مزرعه در یک گستره وسیعی از خاک، محصول، ماشین و شرایط آب و هوایی پیش بینی کند (Rotz and Harrigan, 2005).

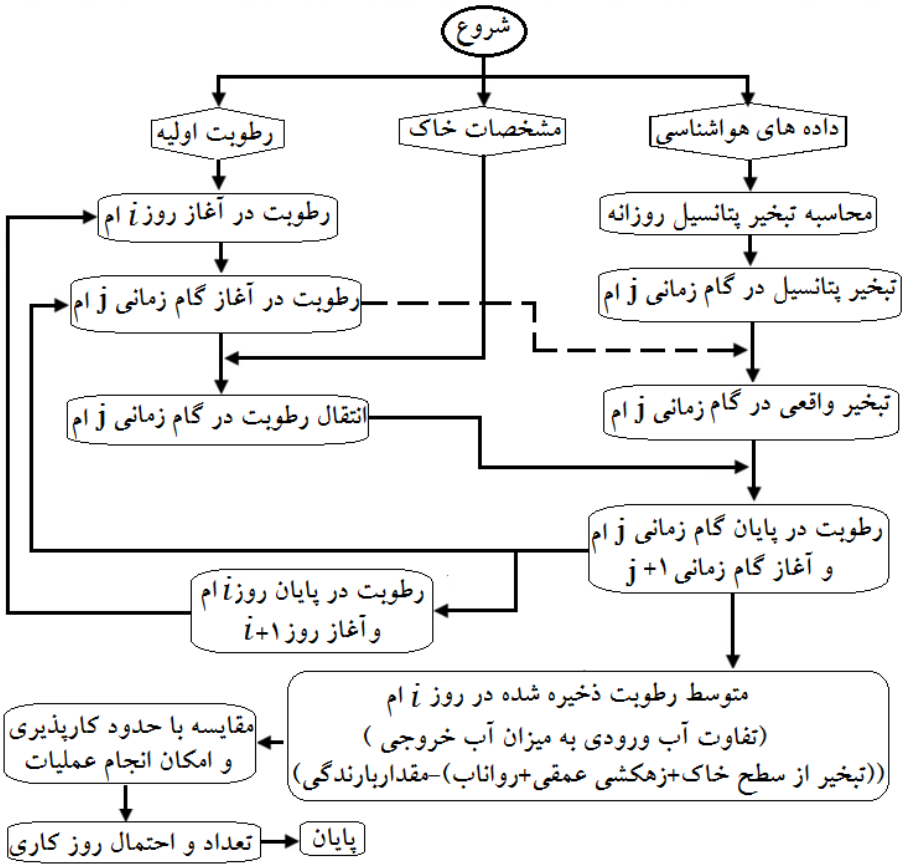
با توجه به اینکه دانستن روزهای کاری برای انجام عملیات کشاورزی برای محصولات مختلف دارای مزایای نسبتا زیادی می باشد و همچنین به نحوی می توان در مصرف انرژی، خاک، هزینه و ... در راستای توسعه پایدار مکانیزاسیون در کشاورزی مدیریت نمود. هدف اصلی از این تحقیق، طراحی مدل جهت تعیین احتمال روزهای کاری مناسب عملیات خاکورزی می باشد. با توجه به این هدف، نیاز است ابتدا عوامل محدودکننده جهت اجرای عملیات خاکورزی مشخص و سپس از دو شیوه آمارگیری و اندازه گیری عوامل، محدوده کاری هر عامل مشخص و سرانجام بر اساس اطلاعات مدل را طراحی نمود که در طول دوره خاکورزی روزهای مناسب کاری را با احتمال مشخص نماید .

مواد و روش ها

طراحی مدل: برای تعیین احتمال روزهای کاری نیاز به مدلی است که بتواند رژیم رطوبتی خاک لخت را در سال های مختلف تخمین زده و با تعیین رطوبت خاک در لایه های مختلف و مقایسه آن با حدود رطوبتی، امکان کار را در روز معین نماید، سپس با

جمع زدن روزهای کارپذیر، تعداد و احتمال روزهای کاری را تعیین کرد. در نتیجه، برای تعیین احتمال تعداد روزهای کاری برای عملیات خاکورزی مدلی در محیط دلفی طراحی گردید که این اهداف را برآورده می سازد

طرز کار کلی مدل: این مدل پس از تقسیم کردن خاک به لایه های متعدد، رطوبت خاک را در گام های زمانی مختلف تخمین می زند. بدین صورت که با داشتن رطوبت اولیه خاک در کل پروفیل خاک و با استفاده از داده های هواشناسی و خصوصیات خاک، ورودی (باران، نفوذ عمقی) و خروجی (تبخیر ، رواناب) رطوبت هر لایه خاک ر ا محاسبه کرده و با جمع زدن با رطوبت اولیه، رطوبت جدیدی به هر لایه خاک نسبت می دهد. این چرخه مکرراً ادامه پیدا می کند و رطوبت خاک در هر گام زمانی و در هر روز مشخص می گردد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده، در این مدل با توجه به داده های هواشناسی و رطوبت سطح خاک، تبخیر از سطح خاک محاسبه شده و از رطوبت لایه های سطحی که تبخیر از آن صورت می گیرد کم می شود. انتقال رطوبت میان لایه های خاک با توجه به اختلاف مکش کل میان دو لایه و قابلیت هدایت آب در خاک برآورد می شود. در نتیجه ورودی و خروجی از هر لایه خاک در هر مرحله مشخص شده و با توجه به رطوبت اولیه آن لایه در ابتدای مرحله، رطوبت در انتهای مرحله تعیین شده و به عنوان رطوبت اولیه در مرحله دوم شبیه سازی به کار می رود. رطوبت هر لایه در هر روز از طریق میانگین گیری گام های زمانی در ساعات کاری آن روز تعیین می گردد و با مقایسه رطـوبت خاک با حدود کارپذیری، امکان کار در آن روز تعیین می شود و با جمع زدن روزهای قابل انجام کار، تعداد و احتمال روزکاری به دست می آید.



شکل ۱ : فلوچارت کلی مدل

محاسبه تبخیر

پارامترهای هواشناسی نظیر تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد، عوامل مدیریت زراعی و بقایای گیاهی را باید در برآورد تبخیر در نظر گرفت. فرآیند تبخیر از خاک (بدون پوشش گیاهی) در معرض هوا را می توان به دو مرحله تفکیک کرد (وزیری ودیگران، ۱۳۸۷):

مرحله اول تبخیر (مرحله تابع انرژی) : تبخیر پتانسیل

در این مرحله لایه سطحی خاک خیس و تبخیر از آن حداکثر است که شدت آن، تنها، به مقدار انرژی در دسترس سطح بستگی دارد. این مرحله تا هنگامی ادامه می یابد که تبخیر تجمعی موجب کاهش هدایت هیدرولیکی لایه خاک سطحی شده و سرعت حرکت آب به سمت این لایه کمتر از نیاز تبخیر باشد.

برای محاسبه این مرحله ، از رابطه پنمن- مانتیث (برای خاک لخت) در مدل استفاده شد (رابطه ۱)(Aydin et al., 2005):

$$E_p = \frac{\Delta(R_n - G_s) + 86.4\rho c_p \delta / r_a}{\lambda(\Delta + \gamma)} \qquad (۱)$$

که در آن :

E_P = تبخیر پتانسیل ($kg/m^2 day \approx mm/day$)

Δ = شیب منحنی فشار بخار(KPa/C°)

λ = گرمای نهان تبخیر (MJ/kg)

γ = ضریب رطوبتی یا ضریب سایکرومتری (KPa/C°)

δ = کمبود فشار بخار(KPa)

r_a = مقاومت آیرودینامیکی (sec/m)

R_n = تابش خالص در سطح زمین ($MJ/m^2.day$)

ρ = چگالی هوا (kg/m^3)

C_p = گرمای ویژه هوا ($KJ/kg\ ^\circ C = 1.013$)

G_s = شدت جریان گرمای خاک ($MJ/m^2.day$)

مرحله دوم تبخیر (مرحله تابع نزولی) : تبخیر واقعی

در این مرحله آب عامل محدود کننده بوده و روند تبخیر نزولی است. با کاهش آب در لایه خاک سطحی، ضریب کاهش تبخیر نیز کاهش یافته و با تخلیه کل آب قابل تبخیر از این لایه، ضریب کاهش تبخیر صفر می شود. این مرحله زمانی شروع می شود که مقدار تبخیر تجمعی بیش از عمق تجمعی آب با سهولت قابل تبخیر (تخلیه) در پایان مرحله اول تبخیر باشد. سطح خاک در ظاهر خشک است و تبخیر از خاک متناسب با مقدار آب باقی مانده در این لایه کاهش می یابد. در این مرحله خصوصیات خاک (هدایت هیدرولیکی) عامل کنترل کننده نرخ تبخیر خواهد بود. تبخیر واقعی کم‌تر از تبخیر پتانسیل می‌باشد.

برای محاسبه تبخیر واقعی در مدل طراحی گردیده از رابطه آیدین(رابطه ۲) استفاده شده است (Aydin et al., 2005):

$$E_a = \frac{1}{\log|\psi_{tp}| - \log|\psi_{ad}|}(\log|\psi| - \log|\psi_{ad}|)E_p \qquad (۲)$$

که در آن :

E_a = تبخیر واقعی (mm/day)

E_P = تبخیر پتانسیل (mm/day)

ψ = مقدار مطلق پتانسیل آب خاک که در شرایط بین ψ_{tp} و ψ_{ad} تعیین می شود ($cm\ H_2O$).

ψ_{tp} = مقدار مطلق پتانسیل آب خاک در جایی که تبخیر واقعی شروع به کم کردن پتانسیل می کند ($cm\ H_2O$).

ψ_{ad} = مقدار مطلق پتانسیل آب خاک در هوای خشک ($cm\ H_2O$).

محاسبه انتقال رطوبت

در شرایط خاک لخت و بدون حضور گیاه و زهکش، می‌توان حرکت رطوبت را به‌صورت عمودی فرض کرد و انتقال رطوبت را یک‌بعدی در نظر گرفت. برای محاسبه رطوبت در لایه های مختلف خاک بر اساس رابطه یک بعدی در حالت غیر اشباع از ترکیب رابطه دارسی و پیوستگی رابطه ریچاردز باید استفاده گردد. برای این منظور نیاز به یک سری مشخصات هیدرولوژیکی خاک (منحنی مشخصه رطوبتی خاک و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع)، منابع تغذیه و تخلیه (بارندگی و تبخیر) و شرایط مرزی می باشد. رابطه ریچاردز از طریق حل عددی و روش تفاضل های محدود جهت پیش بینی رطوبت خاک، شدت جریان و پتانسیل ماتریک حل می گردد. برای استفاده در گام‌های زمانی رابطه به صورت زیر نوشته می‌شود (رابطه ۳):

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial Z}\left[K(\theta)(\frac{\partial\psi}{\partial Z}+1)\right] \quad \Rightarrow \frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)(\frac{\partial h}{\partial z}+1)\right] \qquad (۳)$$

که در آن :

$\theta=$ رطوبت حجمی خاک (L^3/L^3)

$t=$ زمان (T)

$\psi=$ مکش ماتریک (L)

$Z=$ عمق خاک (L)

$K(\theta)=$ هدایت هیدرولیکی خاک (L/T)

مدل طراحی گردیده برای شبیه سازی حرکت آب در خاک، رابطه ریچاردز (۳-۳۱) را با استفاده از الگوی خطی المان های محدود حل می کند. از آنجایی که در حالت یک بعدی، الگوی خطی المان های محدود و اختلافات محدود مشابه است، لذا رابطه (۳) با استفاده از یک الگوی غیر صریح اختلافات محدود بصورت ذیل منفصل شده است:

$$\frac{\theta_i^{j+1,k+1}-\theta_i^{j}}{\Delta t}=\frac{1}{\Delta z}\left[K_{i+1/2}^{j+1,k}\frac{h_{i+1}^{j+1,k+1}}{\Delta z_i}-K_{i-1/2}^{j+1,k}\frac{h_i^{j+1,k}-h_{i+1}^{j+1,k+1}}{\Delta z_{i-1}}\right]+\frac{K_{i+1/2}^{j+1,k}-K_{i-1/2}^{j+1,k}}{\Delta z}$$

که در آن $i-1$، i و $i+1$ به موقعیت مکانی نقاط، k و $k+1$ به تکرار و j و $j+1$ به گام های زمانی اشاره دارند . در این مدل برای توصیف مشخصات هیدرولیکی خاک نظیر منحنی های مشخصه رطوبتی از رابطه ون گنوختن و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع از رابطه ون گنوختن– معلم استفاده شده است .

منحنی مشخصه رطوبتی خاک

منحنی مشخصه رطوبتی خاک از مشخصه های مهم فیزیکی خاک و بیانگر رابطه بین مکش ماتریک و رطوبت خاک می‌باشد. در مدل برای بیان کمی منحنی مشخصه رطوبتی خاک از رابطه ون‌گنوختن(رابطه ۴) استفاده گردیده است .

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^m} \qquad (۴)$$

که در آن :

$\theta(h)$ = درصد رطوبت در مکش یا پتانسیل ماتریک h (L) θ_s = درصد رطوبت در حالت اشباع

α = معکوس پتانسیل ورود هوا به خاک ($1/L$) θ_r = درصد رطوبت باقیمانده

m و n ضرایب تجربی بوده که شکل منحنی را تعیین می‌کنند. h = پتانسیل ماتریک (L)

مقدار m از رابطه معلم (رابطه ۵) به‌دست می‌آید :

$$m = 1 - \frac{1}{n} \qquad n \succ 1 \qquad (۵)$$

منحنی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع

هدایت هیدرولیکی، قدرت و توان خاک را در انتقال آب نشان می دهد. هدایت هیدرولیکی غیر اشباع به صورت تابعی از رطوبت یا مکش ماتریک خاک تعریف می شود. در مدل طراحی شده از معروف ترین رابطه هدایت هیدرولیکی غیر اشباع مدل معلم- ون گنوختن (رابطه ۶) استفاده گردیده است .

$$K(h) = K_s \times S_e^L[1-(1-S_e^{1/m})^m]^2 \qquad (۶)$$

$K(h)$ = هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک (L/T) S_e = درجه اشباع موثر یا نقصان رطوبت حجمی

L = ثابتی موسوم به ضریب اعوجاج است (معمولاً ۰/۵ است) K_s = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (L/T)

محاسبه رواناب

رواناب حاصل از بارندگی را می توان بر حسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش های مختلف برآورد نمود.

از روش های مناسب برای محاسبه رواناب، روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است. در این روش ارتفاع رواناب حاصله از یک بارندگی از رابطه ۷ محاسبه می شود (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \qquad P \succ 0.2S \qquad (۷)$$

$$R = 0 \qquad P \leq 0.2S$$

که در آن :

R = ارتفاع رواناب بر حسب سانتی متر P = ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته بر حسب سانتی متر

S = عامل مربوط به نگهداشت آب در سطح زمین است که مقدار آن از رابطه ۸ بدست می آید :

$$S = \frac{2540}{C.N} - 2.54 \Rightarrow C.N = \frac{2540}{2.54 + S} \qquad (۸)$$

$C.N$ = شماره منحنی رواناب مربوط به مقدار نفوذ آب

بررسی امکان‌پذیری خاکورزی

مقدار تبخیر پتانسیل، تبخیر واقعی، رواناب و بارندگی، رطوبت خاک در لایه‌های مختلف محاسبه گردیده، در لایه‌ی آخر در صورتی که رطوبت از ظرفیت مزرعه بیش‌تر باشد، باقی آب تا حد ظرفیت مزرعه به بخش‌های پایین‌تر نفوذ می کند. رطوبت هر لایه با حدود رطوبتی که توسط کاربر تعیین شده، مقایسه می‌گردد. برای این که یک روز به عنوان روزکاری معرفی گردد باید در تمام لایه‌ها رطوبت شبیه‌سازی شده در میان گستره رطوبتی آن لایه باشد، یعنی رطوبت از حد بالای قابلیت کاری بالاتر نرفته و از حد پایین قابلیت کاری پایین‌تر نیاید. اگر تمام این شروط برآورده شود آن روز به‌عنوان روز کاری شناخته می‌شود، پس از جمع زدن روزهای مناسب کار و تقسیم کردن بر کل روزهای دوره شبیه‌سازی (فصل کار) احتمال روز کاری در آن دوره به‌دست می‌آید.

در مدل طراحی شده چهار پنجره اصلی وجود دارد که عبارتند از (جدول ۱) :

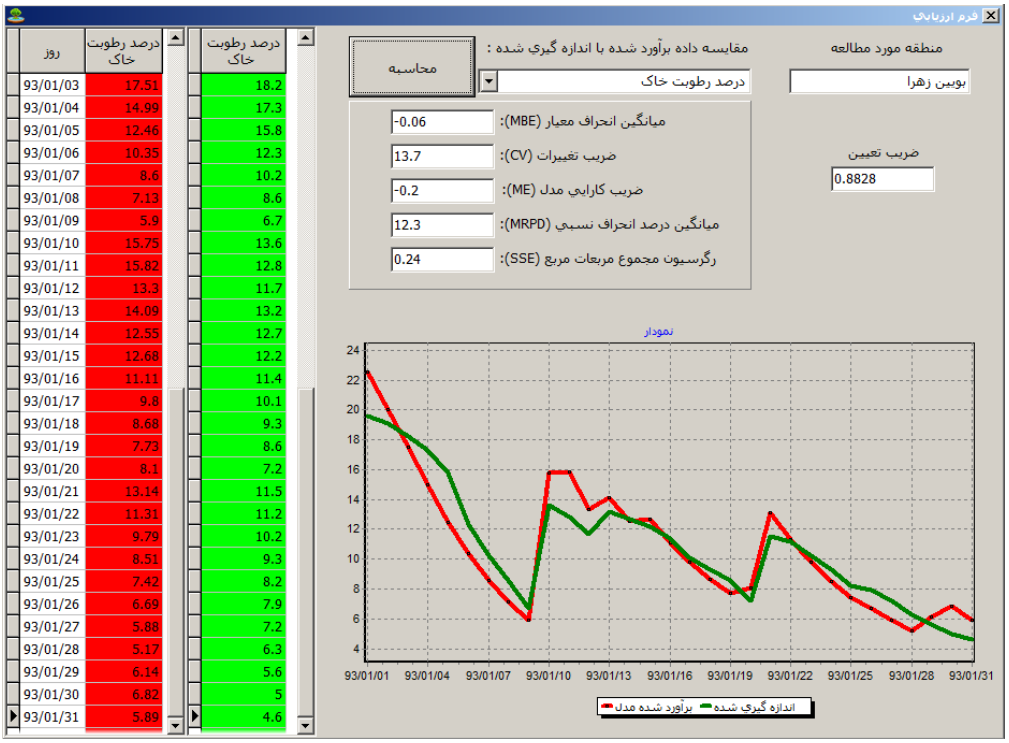
جدول ۱ : قسمت های مختلف مدل طراحی شده

نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل در برآورد رطوبت خاک

برای بررسی دقت مدل در برآوردهای انجام شده، لازم است که نتایج آن را با اندازه‌گیری‌های واقعی مقایسه کرد. بدین منظور همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده، میانگین انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب کارآیی مدل، میانگین درصد انحراف

نسبی، رگرسیون مجموع مربعات مربع و ضریب تعیین به‌عنوان شاخص‌های اصلی اعتبار سنجی مدل برای شهرستان بوئین زهرا به همراه نمودار مقایسه رطوبت برآورد شده توسط مدل و مقدار رطوبت اندازه گیری شده تعیین گردید.



روز	درصد رطوبت خاک	درصد رطوبت خاک
93/01/03	17.51	18.2
93/01/04	14.99	17.3
93/01/05	12.46	15.8
93/01/06	10.35	12.3
93/01/07	8.6	10.2
93/01/08	7.13	8.6
93/01/09	5.9	6.7
93/01/10	15.75	13.6
93/01/11	15.82	12.8
93/01/12	13.3	11.7
93/01/13	14.09	13.2
93/01/14	12.55	12.7
93/01/15	12.68	12.2
93/01/16	11.11	11.4
93/01/17	9.8	10.1
93/01/18	8.68	9.3
93/01/19	7.73	8.6
93/01/20	8.1	7.2
93/01/21	13.14	11.5
93/01/22	11.31	11.2
93/01/23	9.79	10.2
93/01/24	8.51	9.3
93/01/25	7.42	8.2
93/01/26	6.69	7.9
93/01/27	5.88	7.2
93/01/28	5.17	6.3
93/01/29	6.14	5.6
93/01/30	6.82	5
93/01/31	5.89	4.6

شکل۲ : نمودار خطی به همراه مقایسه رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده در عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر (بویین زهرا)

جدول ۲: مقایسه رطوبت برآورد شده و اندازه‌گیری شده

شهرستان	ضریب تعیین (R^2)	رگرسیون مجموع مربعات مربع (SSE)	میانگین درصد انحراف نسبی (MRPD)	ضریب کارائی مدل (ME)	ضریب تغییرات (CV)	میانگین انحراف معیار (MBE)
بوئین زهرا	۰/۸۸	۰/۲۴	۱۲/۳	-۰/۲	۱۳/۷	-۰/۰۶

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده، رطوبت اندازه گیری شده و برآورد شده در اکثر نقاط بسیار به هم نزدیک می باشند. مقدار میانگین انحراف معیار(MBE) در شهرستان بوئین زهرا از مقادیر مشاهده شده بسیار کم است. با توجه به اینکه این مقدار نزدیک به صفر است، نشان دهنده برآورد خوب مدل بوده و انحراف بسیار کمی در آن مشاهده می شود. پایین بودن درصد ضریب تغییرات (CV) در شهرستان مورد مطالعه نشان از دقت بالای مدل در برآورد رطوبت خاک می باشد. نزدیک بودن مقدار کارائی مدل (ME) به عدد یک، نشان دهنده کیفیت و چگونگی برازش داده های مشاهده ای و برآورد شده می باشد، که حاکی از دقت بالای مدل در برآورد رطوبت خاک می باشد. نتیجه بدست آمده از محاسبه میانگین درصد انحراف نسبی(MRPD) نشان از برازش قابل قبول داده

های بدست آمده از مدل بوده و می توان از مدل برای اندازه گیری مقدار رطوبت خاک استفاده نمود. مقدار رگرسیون مجموع مربعات مربع (SSE) در فرآیند برازش باید تا حد امکان پایین باشد، زیرا نشان دهنده میزان خطاهای تصادفی است و هرچه کمیت آن کمتر باشد، دقت مدل افزایش خواهد یافت، نتایج بدست آمده برای SSE نشان از دقت بالای مدل می باشد. ضریب تعیین(R^2) مدل در شهرستان از ۰/۸۸ می باشد، که بیانگر میزان احتمال هم‌بستگی میان دو دسته داده در آینده می‌باشد. حدود ۸۸ درصد پراکندگی بین مقدار برآورد شده و مقدار اندازه گیری شده مشترک است .

اعتبارسنجی مدل در شبیه سازی منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع

در فرآیند برازش منحنی رطوبتی تعداد متغیرهایی که بایستی برآورد شوند پنج عامل n ، θ_r ، θ_s ، α و m می باشند. برای تعیین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع علاوه بر عوامل فوق دو متغیر K_S و L نیز در مدل محاسبه می گردند. برای مطمئن شدن از نتایج حاصل از مدل، تمامی متغیرها را با مقادیر ارائه گردیده در نرم افزار روزتا، بانک اطلاعاتی رالز و همکاران و کارسل و پریش که بعنوان مقدار اندازه گیری شده در نظر گرفته می شود، مقایسه نموده .

برای اطمینان بیشتر به برآورد مدل، نسبت مقدار محاسبه شده بر مقدار مشاهداتی(R')را بررسی نموده که در جداول۴-۵ ، ۴-۶ و ۴-۷ نشان داده شده است. از نتایج بدست آمده (R')، مشخص می گردد که θ_r ، θ_s ، α ، n ، K_S و L محاسبه شده در مقایسه با مقدار بانک های اطلاعاتی نزدیک بوده که این نشان دهنده دقت مدل در پیش بینی پارامترها می باشد .

جدول ۳: ارزیابی مشخصه های منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع برآورد شده و ارائه شده در بوئین زهرا

ارزیابی منحنی رطوبت و هدایت هیدرولیکی غیر اشباع

منطقه مورد مطالعه	بافت خاک	درصد رطوبت باقی مانده	درصد رطوبت در حالت اشباع	معکوس پتانسیل ورود هوا به خاک	ضریب تجربی تعیین کننده شکل منحنی	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	ضریب تجربی L
بوئین زهرا	Loam	0.0718	0.4637	0.029	1.1988	9.93072	-0.4484

نام بانک اطلاعاتی	بافت خاک	درصد رطوبت باقی مانده	درصد رطوبت در حالت اشباع	معکوس پتانسیل ورود هوا به خاک	ضریب تجربی تعیین کننده شکل منحنی	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	ضریب تجربی L
Rosetta (Schaap and al.)	Loam	0.061	0.399	0.011	1.4723	12.05	-0.371
Rawls and al.	Loam	0.027	0.434	0.09	1.22	16.32	0.5
Carsel and al.	Loam	0.078	0.43	0.036	1.56	24.96	0.5

نسبت مقدار برآورد شده مدل به مقدار اندازه گیری شده

Rosetta (Schaap and al.)	1.177	1.162	2.635	0.814	0.824	1.209
Rawls and al.	2.658	1.069	0.322	0.983	0.609	-0.897
Carsel and al.	0.92	1.078	0.805	0.768	0.398	-0.897

محاسبه

احتمال روزهای کاری

نتایج احتمال روز کاری با توجه به شش حالت اعمال حدود قابلیت کاری زیر به‌دست آمد:

حالت اول: حدود قابلیت کاری با روش اول(سازمان حفاظت خاک آمریکا)- در نظر گرفتن حد بالا و حد پایین قابلیت کاری

حالت دوم: حدود قابلیت کاری با روش اول(سازمان حفاظت خاک آمریکا)– در نظر گرفتن فقط حد بالای قابلیت کاری

حالت سوم: حدود قابلیت کاری با روش دوم (مولر– شیندلر)– در نظر گرفتن حد بالا و حد پایین قابلیت کاری

حالت چهارم: حدود قابلیت کاری با روش دوم (مولر – شیندلر) – در نظر گرفتن فقط حد بالای قابلیت کاری

حالت پنجم : حدود قابلیت کاری با روش سوم (دکستر– بیرد)– در نظر گرفتن حد بالا و حد پایین قابلیت کاری

حالت ششم : حدود قابلیت کاری با روش سوم (دکستر– بیرد) – در نظر گرفتن فقط حد بالای قابلیت کاری

با توجه نتایج بدست آمده در جدول ۴، در صورتی که حد پایین قابلیت کاری در نظر گرفته نشود کلیه روزها، روزکاری محسوب می شود. بیش‌ترین احتمال روزکاری در حالت اول اعمال حدود به‌دست آمد، زیرا حد پایین قابلیت کاری پایین بود. کم‌ترین احتمال روز کاری در حالت پنجم اعمال حدود به‌دست آمد. در این حالت رطوبت بهینه با روش پیشنهادی دکستر و بیرد (۲۰۰۱) تعیین شد و با توجه به وابسته بودن حد قابلیت کاری پایین به رطوبت بهینه خاکورزی، این حد بسیار بالا بود و اغلب اوقات رطوبت خاک کم‌تر از این حد بوده و به‌عنوان روز مناسب برای کار شناخته نمی‌شد و این عاملی برای کاهش احتمال روز کاری بود.

جدول ٤: نتایج احتمال روز کاری (٪)با توجه به شش حالت اعمال حدود قابلیت کاری در شهرستان بوئین زهرا

فرمول مورد استفاده	محدوده زمانی		حد قابلیت کاری			بافت	حالت	تعداد	احتمال
	شروع	خاتمه	پایین	مطلوب	بالا	خاک	بررسی	روز کاری	روزکاری
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۱۳۹۳/۰۱/۰۱	۱۳۹۳/۰۱/۳۱	۱۴/۵۵	۱۵/۶۴	۳۶/۸۲	Loam	۱	۸	٪۲۵/۸
							۲	۳۱	٪۱۰۰
مولر – شیندلر			۲۰/۱۳	۲۷/۲۱	۳۲/۷	Loam	۳	۲	٪۶/۴
							۴	۳۱	٪۱۰۰
دکستر– بیرد			۲۴/۶۷	۲۸/۴۴	۲۹/۱۵	Loam	۵	۰	۰
							۶	۳۱	٪۱۰۰

نتیجه گیری:

۱– در مناطق با اقلیم خشک در صورت اعمال حد پایین قابلیت کاری ، تعداد روزهای کاری کمی در اختیار خواهد بود و برای انجام عملیات در زمان مقرر، به ظرفیت ماشینی بالایی نیاز خواهد بود.

۲– چنانچه حد بالای قابلیت کاری جهت تعیین احتمال روزهای کاری خاک‌ورزی در نظر گرفته شود ، احتمال

روز کاری نسبتاً بزرگی به‌دست می‌آید. به نظر می‌رسد دلیل این مسئله آب و هوای گرم و خشک باشد که به‌خاطر بارندگی کم و قدرت تبخیری بالای جو در طول فصل خاک‌ورزی، رطوبت خاک به‌ندرت بالای حد بالای قابلیت کاری می‌رود. حتی با کاهش جزئی در مقدار این حد،باز هم روزهای کاری زیادی در اختیار خواهد بود.

۳- در بعضی خاک‌ها به‌علت بالا بودن حدود قابلیت کاری، سیکل قابلیت کاری پس از هیرم کردن زود شروع شده و خیلی زود تمام می‌شود. در این موارد بایستی با در نظر گرفتن هزینه‌های آبیاری و دیگر مسائل مربوط به آن، مقدار آب مصرفی در ابتدای فصل شخم (هیرم کردن)، طوری تنظیم شود که حداکثر تعداد روزهای کاری به‌دست آید .

فهرست منابع

آلن، ر.، و [دیگران]. ۱۳۸۷. تبخیر- تعرق گیاهان. ترجمه ژاله وزیری و [دیگران]. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

الماسی، مرتضی. شهرام کیانی. و نعیم لویمی. ۱۳۸۷. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. انتشارات جنگل.

خانی، م.، و [دیگران]. ۱۳۸۷. تعیین احتمال روز کاری برای عملیات خاکورزی در کرج. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون .

حیدری، م.، برقعی، ع. م.، ۱۳۹۲. تعیین تعداد روزهای کاری کاشت مکانیزه و برداشت نیمه مکانیزه چغندرقند (مطالعه موردی شهرستان نهاوند). مجله چغندر قند . دوره ۵۷. شماره ۱.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۹.اصول هیدرولوژی کاربردی . چاپ بیست و هشتم، انتشارات دانشگاه امام رضا.

یوسفی، ر.، ۱۳۹۱. مکانیزاسیون کشاورزی. تهران: انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی.

Anonymous. ASAE Standards. 1995. American Society of Agricultural Engineers, D997.2 NO4 .

Aydin,Mehmet,And[al.].,2005.Test of a simple model for estimating evaporation from bare soils in different environments. Ecological Modelling.182: 91–105 .

Cooper, G., M. B. McGechan, and , A. J. A. Vinten. 1997. The influence of a changed climate on soil workability and available workdays in Scotland. J. agric. Engng Res. 68: 253-269.

Dexter, A. R. , N. R. A. Bird. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. Soil and Tillage Research. 57: 203–212.

Dexter, A. R.,And[al.].,2005.SIDASS project Part 3. The optimum and the range of water content for tillage – further developments. Soil & Tillage Research, 82: 29–37.

Edwards, William. Michael Boehlje. 1980. Machinery selection considering timliness losses . transection of the ASAE – 1980 .

Rotz, C. Alan., and Timothy M. Harrigan. 2005. Predicting suitable days for field machinery operations in a whole Farm simulation, Applied Engineering in Agriculture, 21(4): 563-571.

Rounsevell, M. D. A. & R. J. A. Jones. 1993. A soil and agroclimatic model for estimating machinery workdays: the basic model and climatic sensitivity. Soil and Tillage Research. 26:179-191.

Simalenga, T. E. and H. Have. 1992. Estimation of soil tillage workdays in a semi-arid area. Journal of Agricultural Engineering Research. 51: 81-89.

Witney, Brian. 1988. Choosing and using farm machines. Land Technology Ltd. Edinburgh, Scotland, UK.