

دانشگاه فردوسی مشهد

دانشگاه فردوسی مشهد

مجله

علمی - پژوهشی

# علوم و صنایع کشاورزی

ویژه آب و خاک

سال ۱۳۸۷

جلد ۲۲، شماره ۱

ISSN : 1829-4791

این مجله توسط دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد چاپ و منتشر می‌شود.

قیمت هر شماره ۵۰۰۰ ریال ( دانشجویان ۲۵۰۰ ریال )

## بررسی رژیم دمای هوا و اعماق خاک و تعیین توابع نوسانات ادواری آنها در ایستگاههای استان کردستان

حسین ثنایی نژاد\* - محمدادیب عباسی - محمد موسوی بایگی - محمد طالب حیدری گندمان<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۴

### چکیده

بررسی دمای هوا و خاک و تغییرات آنها کلید درک بسیاری از پدیده‌هایی است که وابسته به جو و محیط خاک می‌باشد. از طرفی ایستگاه‌های اندازه‌گیری دمای خاک در اعماق مختلف در بسیاری از مناطق به خصوص مناطق دور افتاده وجود ندارد. یکی از اهداف این تحقیق بررسی امکان برآورد تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف بر اساس دمای هواست که داده‌های آن بیشتر و ساده‌تر در دسترس می‌باشد. در این مقاله رژیم دمای هوا (در ارتفاع ۲ متری) و اعماق خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتیمتری) در سیکلهای روزانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفته است. جهت انجام این امر از داده‌های ساعتی دمای هوا و خاک در یک دوره آماری ۱۲ ساله (۱۹۹۲-۲۰۰۳) استفاده شده است. این بررسیها در نهایت به رسم نمودارهای دمای هوا و اعماق خاک بصورت روزانه و سالانه، تعیین توابع سینوسی نوسانات ادواری دمای هوا و اعماق خاک با استفاده از سری فوری در ایستگاههای سینوپتیک بیجار، قروه، مریوان، سنقر، سنندج و زرینه انجامید. در این تحقیق مشخص شد که رژیم سالانه و روزانه هوا و اعماق خاک برای دوره آماری ۱۲ ساله با خطای کمتر از ۱ درجه سانتیگراد در دوره سالانه و کمتر از ۲ درجه سانتیگراد در دوره روزانه، به وسیله سری فوری با چهار هارمونی قابل تبیین است. و نیز اینکه بیشترین و کمترین دامنه تغییرات دمای در طول شبانه روز و سال به ترتیب در اعماق ۵ و ۱۰۰ سانتیمتری اتفاق می‌افتد. علاوه بر این در کلیه ایستگاهها در فصل‌های سرد با افزایش عمق دمای خاک افزایش یافته و در فصل‌های گرم کاهش مشاهده شد. بنابر این بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان با استفاده از تحلیل فوری تغییرات روزانه و سالانه دما را در مناطق با اقلیم مشابه منطقه مورد مطالعه بر اساس تغییرات دمای هوا در این مناطق تعیین کرد.

واژه‌های کلیدی: دمای هوا، دمای خاک، سری فوری

### مقدمه

سرد می‌باشند موجب کاهش رشد گیاهان می‌گردند (۲۲). جوانه زدن بذری که تازه کاشته شده، شدیداً متأثر از دمای خاک و رطوبت موجود در زمین می‌باشد. دمای اعماق خاک به تبع دمای سطح زمین که به نوبه خود تابعی از تابش خورشید و دمای هوای هر محل می‌باشد، تغییر می‌کند. نوسانات دمای اعماق مختلف خاک می‌تواند به تسریع یا کندی جوانه زدن منجر شود و در نهایت افزایش و کاهش عملکرد محصول را در پی داشته باشد (۱ و ۶). گونه‌های گیاهی مختلف جهت رشد و نمو خود به حرارت‌های متفاوتی نیاز دارند. بعلاوه واکنش‌های شیمیایی و میکروبی که عناصر غذایی موجود در خاک را به شکل قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند نیز تحت تأثیر دمای خاک قرار دارند. بدین ترتیب دمای خاک یکی از خصوصیات مهم خاک می‌باشد. خصوصیات گرمایی

فعالیت‌های کشاورزی مهمترین بخشی است که به تغییرات دمای هوا و اعماق خاک حساس می‌باشد. گیاهان با توجه به عمق کاشت و نیز عمق توسعه ریشه به تغییرات دمای هوا و اعماق خاک حساس می‌باشند (۱). دمای خاک یکی از عوامل مهم هواشناسی کشاورزی است که در بسیاری از موارد از نظر زیست محیطی برای گیاهان مهمتر از دمای هوا می‌باشد. این عامل هواشناسی، بخصوص کمینه و بیشینه آن در جوانه زدن گیاهان، فعالیت‌های ریشه، طول دوره رشد گیاه و تولید و گسترش امراض گیاهی نقش بسزایی دارد. دماهای زیاد خاک ممکن است دارای اثرات زیان‌آوری روی ریشه و ساقه گیاهان باشند، از طرف دیگر دماهای پایین خاک مانع جذب مواد معدنی در گیاه شده و خاکهایی که دائماً

۱- به ترتیب اول و سوم استادیاران هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، نفر دوم و چهارم کارشناس ارشد و کارشناس هواشناسی منطقه کردستان - سنندج

خاکها در بسیاری از زمینه های کشاورزی، مهندسی و علوم خاک اهمیت زیادی داشته و داده های مربوط به آنها برای مدل سازی انتقال حرارت در خاک لازم می باشد.

انتقال حرارت در خاک و دمای خاک در اعماق مختلف که ناشی از این انتقال حرارت می باشد به نوع خاک، میزان رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد. در نتیجه میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می کند. بطور کلی دمای خاک شامل یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه می باشد. دمای خاک در طی فصول گرم از سطح به عمق کاهش می یابد و در طی فصول سرد از سطح به سمت عمق افزایش پیدا می کند. با این حال، عمقی از خاک را که در آن تغییرات دمایی وجود نداشته و یا دامنه ی این تغییرات بسیار ناچیز باشد عمق میرش می نامند (۲).

نوسان شبانه روزی دمای خاک مشابه نوسان شبانه روزی دمای هوا بوده اما این نوسانات با تأخیر زمانی همراه است. بنابراین اطلاع از میزان دمای هوا و اعماق خاک و نیز نحوه تغییرات آنها در طول روز و سال برای کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت بسیار مفید است.

در این مقاله میزان دمای هوا و اعماق مختلف خاک و نحوه تغییرات آنها در رژیم های روزانه و سالانه در ایستگاههای سینوپتیک بیجار، قروه، مریوان، سقز، سنندج و زرینه مورد بررسی قرار گرفتند. هدف از این تحقیق بررسی رژیم دمایی هوا و اعماق خاک و تعیین توابع نوسانات دوره ای آنها با استفاده از سری فوریه و فراهم نمودن شناخت کافی از دمای هوا و اعماق مختلف خاک و نحوه تغییرات آنها در ایستگاههای استان کردستان می باشد تا کارشناسان ذیربط به خصوص در بخش کشاورزی با استفاده از این اطلاعات بتوانند برنامه ریزیهای دقیق تری را برای مراحل کاشت، داشت و برداشت محصولات خود به انجام رسانند.

### مواد و روشها

در این تحقیق از آمار دمای هوا در ارتفاع حدود ۲ متری (اسکرین) و دمای اعماق مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتیمتری) در ۶ ایستگاه سینوپتیک در سطح استان کردستان (سنندج، قروه، مریوان، بیجار، سقز، زرینه) در یک دوره آماری ۱۲ ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۲) استفاده شده است. اندازه

گیری ها به وسیله دمانگار نوع دو فلزی، دماسنج خشک، دماسنج های کمینه و بیشینه و دماسنج های اعماق خاک انجام شده اند. دیده بانی دمای هوا در ارتفاع حدود ۲ متری بطور روزانه و در ساعات ۰۰۰۰، ۰۳۰۰، ۰۶۰۰، ۰۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۱۰۰ به وقت گرینویچ توسط دماسنج خشک در جعبه محافظ و نیز به وسیله دمانگار دو فلزی به صورت پیوسته انجام شد. با توجه به اینکه دقت دماسنجهای بیشتر از دمانگارها است، بعد از برازش رگرسیون خطی بین اعداد دماسنج و دمانگار با استفاده از رابطه بدست آمده تصحیحات لازم اعمال شد تا داده های دستگاه های دمانگارها تصحیح شوند.

معمولاً دماسنج کمینه و بیشینه هر شبانه روز در دو نوبت قرائت می شود (GMT ۰۳۰۰ و ۱۵۰۰). بر همین اساس اندازه گیری دمای اعماق خاک نیز در عمقهای استاندارد ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری توسط دماسنجهای خاک و در شبانه روز سه نوبت در ساعات GMT ۰۳۰۰، ۰۹۰۰ و ۱۵۰۰ انجام گرفت (۷ و ۸ و ۱۰).

داده های ساعتی دمای هوا و خاک تبدیل به میانگین روزانه شدند، به طوری که برای هر روز از سال یک عدد بعنوان میانگین دمای آن روز تعیین گردید. پس از این مرحله میانگین دوازده ساله در هر روز از سال محاسبه شد و در نهایت داده ها به یک سری ۳۶۵ روزه تبدیل گردید. در این تحقیق جهت ذخیره، پردازش داده ها، رسم نمودارها و برازش روابط رگرسیون مربوط به پارامتر دما و آنالیز فوریه از نرم افزاری JMP و EXCEL استفاده شده است.

نرم افزار JMP برای آنالیز داده ها و ایجاد روابط رگرسیون و همچنین آنالیز فوریه و غیره مورد استفاده قرار گرفت و سایر موارد نظیر ذخیره سازی داده های خام اولیه و میانگین گیری روزانه، ماهانه و سالانه و همچنین رسم نمودارها و روندهای شبانه روزی و سالانه ی دما در محیط EXCEL انجام شد.

مطالعه و برآورد رژیم دمایی هوا و اعماق مختلف خاک براساس سری فوریه صورت می پذیرند. معمولاً روشهای موازنه ی انرژی، شبکه های عصبی و مدل های ریاضی برای پیش بینی دما در هوا و خاک مورد استفاده قرار می گیرند. در این تحقیق برای تعیین روند دمایی از آنالیز فوریه استفاده شد تا امکان پایش تغییرات دوره ای آن فراهم شده و روابط مناسبی برای این تغییرات

و به صفر نزدیک می شوند و در نتیجه در رابطه کلی تأثیر بسزایی نداشته و افزایش دقت ناچیزی را باعث می شوند. به علت نوسانی بودن و دوره ای بودن تغییرات دما در طی شبانه روز و سال، در اینجا نیز از این روش برای بیان ریاضی تغییرات دمای استفاده شد. در این تحقیق از آنالیز فوریه با چهار هارمونیک برای تعیین رژیم دمای هوا و اعماق خاک استفاده شده است.

### نتایج و بحث

نتایج از تحلیل داده ها در دو دوره رژیم سالانه و روزانه به تفکیک در ادامه مطلب ارائه می شوند.

#### رژیم سالانه دمای هوا و اعماق مختلف خاک

تغییرات سالانه دما در ارتفاع حدود ۲ متری و اعماق خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتیمتری) برای ایستگاههای بیجار، قروه، مریوان، سنقر، سنندج، زرینه مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل (۱) نمودارهای مربوط به مریوان و سنقر به عنوان نمونه نشان داده شده اند. این نمودارها نشان می دهند که:

- بیشترین و کمترین دامنه تغییرات دمای در طول سال به ترتیب در اعماق ۵ و ۱۰۰ سانتیمتری اتفاق افتاده است. در کلیه ایستگاهها، دما در فصل های سرد با افزایش عمق خاک افزایش یافته و در فصل های گرم کاهش دما با عمق رخ می دهد. منحنی رژیم متوسط دمای اعماق پایین خاک در فصل های گرم پایین تر از منحنی رژیم دمای خاک اعماق بالاتر قرار می گیرد و برعکس در فصل های سرد، منحنی رژیم متوسط دمای اعماق پایین خاک بالاتر از منحنی رژیم دمای اعماق بالاتر خاک قرار می گیرد. با توجه به فراوانی وقوع کمینه و بیشینه دمای سالانه در اعماق مختلف خاک، ماههای ژانویه و فوریه سردترین ماههای سال و ماههای جولای و آگوست گرمترین ماههای سال بدست آمدند.

کمترین اختلاف بین دمای اعماق خاک در اواخر ماه مارس (زمان تنفس زمین) و اوایل ماه سپتامبر (زمان خواب زمین) می باشد. بیشترین اختلاف بین دمای اعماق خاک در ماههای ژوئن و ژولای می باشد.

این نتایج به وسیله محققین دیگر که مطالعات مشابهی را انجام داده اند نیز تأیید شده است. (۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷،

به دست آید.

چنانچه مقدار یک تابع در زمان های مکرر در یک نقطه و یا در زمانی معین و در یک فاصله مکانی مشخص تکرار شود، می توان آن را بوسیله یک سری نامحدود از توابع سینوسی و کسینوسی توصیف کرد که به آن سری فوریه گویند. در واقع سری فوریه یک سری زمانی دنباله ای مرتب شده از مشاهدات است. اگرچه این توابع معمولاً بر حسب زمان، بویژه در فواصل زمانی مناسب و مساوی، مرتب می شوند ولی ممکن است گاهی نیز با توجه به ابعاد دیگری نظیر فاصله مرتب شوند. بنابراین سری فوریه یک روش برای پردازش ریاضی پدیده های متناوب است که در اینجا برای تشریح تغییرات دمای از آن استفاده شده است (۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۶ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۱ و ۲۴ و ۲۵ و ۲۶).  
طرح کلی سری فوریه به شکل زیر می باشد:

$$T = \bar{T} + a_1 \sin(\omega t) + b_1 \cos(\omega t) \quad (1)$$

که در آن  $\bar{T}$  میانگین کل داده ها (دما)،  $a_1$  و  $b_1$  ضرایب موج پایه  $t$ ، زمان و  $\omega$  سرعت زاویه ای تغییرات می باشند.  $\omega$  (سرعت زاویه ای) و با فرمول  $\frac{2\pi}{p}$  که  $p$  بیان کننده زمان چرخه است تعریف می شود. در رژیم شبانه روزی  $p=24$  و واحد زمان ساعت و در رژیم سالانه  $p=365$  و واحد زمان روز است.  $a$  و  $b$  از فرمولهای زیر بدست می آیند:

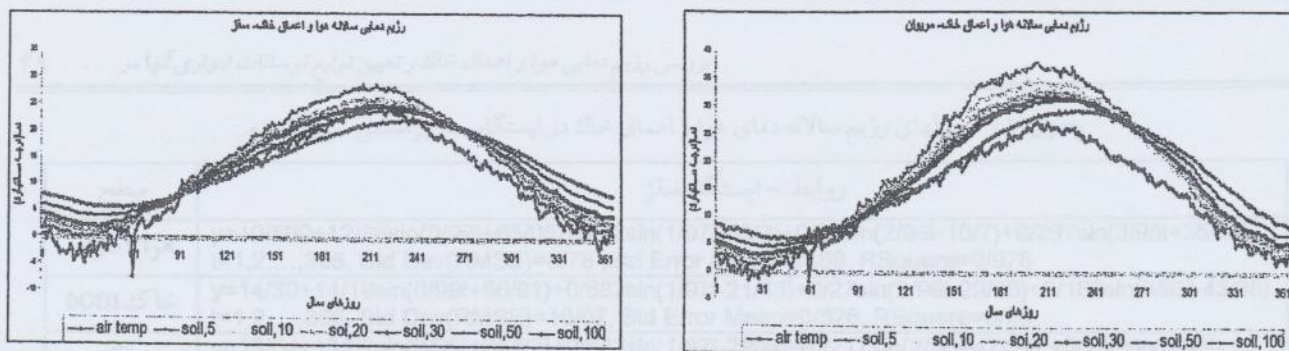
$$a_m = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \sin \frac{(2\pi)m}{T} i \quad (2)$$

$$b_m = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cos \frac{(2\pi)m}{T} i \quad (3)$$

که در آنها:  $n$  تعداد داده ها،  $m$  شماره هارمونیک،  $\bar{y}$  اندازه داده در واحد زمان  $i$ ،  $\bar{y}$  میانگین داده ها و  $T$  نیز دوره تناوب است. (۳)

در بعضی موارد استفاده از یک هارمونیک به اندازه کافی تغییرات را توجیه می کند و دیگر نیازی به هارمونیکهای دوم و سوم و بعدی نمی باشد. بطور کلی در روش استفاده از آنالیز فوریه، حداکثر از سه هارمونیک استفاده می کنند. زیرا ضرایب  $a_4$  و  $b_4$  در مواردی که تابع ادواری باشد، به سرعت کوچک شده

۱- موج پایه عبارت است از اولین هارمونیک که عموماً به شکل یک سری سینوسی و کسینوسی نوشته می شود (۳).



شکل (۱) رژیم سالانه دمای هوا و اعماق مختلف خاک در ایستگاههای مریوان و سفز

جدول (۱) فرمولهای رژیم سالانه دمای هوا و اعماق خاک در ایستگاه مریوان بر اساس سری فوریه

سطح	روابط - ایستگاه مریوان
هوا ۲ متری	$y=12/796+12/18\sin(0/99t+65/65)+0/55\sin(1/97t-53/72)+0/68\sin(2/96t+7/14)+0/23\sin(3/95t+8/7) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=8/67 , Std Error Mean=0/453 , RSquare=0/986
خاک ۵cm	$y=17/955+17/5\sin(0/99t+67/82)+1/42\sin(1/97t+18/3)+0/385\sin(2/96t-65/74)+0/232\sin(3/95t-48/18) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=12/44 , Std Error Mean=0/65 , RSquare=0/987
خاک ۱۰cm	$y=17/292+16\sin(0/99t+65/98)+1/164\sin(1/97t+11/58)+0/361\sin(2/96t-46/67)+0/191\sin(3/95t-67/03) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=11/37 , Std Error Mean=0/594 , RSquare=0/988
خاک ۲۰cm	$y=16/932+14/78\sin(0/99t+62/81)+0/845\sin(1/97t+3/69)+0/34\sin(2/96t-40/15)+0/162\sin(3/95t-73/1) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=10/48 , Std Error Mean=0/548 , RSquare=0/99
خاک ۳۰cm	$y=16/673+14/18\sin(0/99t+59/49)+0/716\sin(1/97t-1/53)+0/29\sin(2/96t-38/38)+0/165\sin(3/95t-59/04) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=10/06 , Std Error Mean=0/526 , RSquare=0/99
خاک ۵۰cm	$y=17/2+13/3\sin(0/99t+54/99)+0/642\sin(1/97t-23/58)+0/243\sin(2/96t-42/13)+0/116\sin(3/95t+47/58) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=9/43 , Std Error Mean=0/493 , RSquare=0/99
خاک ۱۰۰cm	$y=17/05+11/55\sin(0/99t+45/58)+0/59\sin(1/97t-44/94)+0/23\sin(2/96t-81/09)+0/14\sin(3/95t+4/952) t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=8/19 , Std Error Mean=0/428 , RSquare=0/99

اصلی تغییرات دما در طول سال بوده و دوره تناوب آن ۳۶۵ روز می باشد. سه هارمونیک دیگر، میزان افزایش یا کاهش دما را نسبت به هارمونیک اصلی نمایش می دهند. ضریب تبیین یا  $R^2$  در کلیه روابط فوق بین (۰/۹۷-۰/۹۹۵) است که مبین همبستگی زیاد داده ها و همخوانی خوب بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده می باشد. این روابط در سطح ۵٪ معنی دار بوده و خطای معیار آنها نیز در حد دهم و ناچیز است که در بازه ی سالانه قابل قبول می باشد.

خطای معیار میانگین در کلیه روابط فوق با افزایش عمق،

۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸).

جدول های ۱ و ۲ معادلات رژیم سالانه دمای هوا و اعماق مختلف خاک را بر حسب سری فوریه بیان می کنند. در این جدول ها  $y$  میانگین دمای روزانه،  $T$  میانگین دما در طول دوره مطالعه (میانگین سالانه دما)،  $P$  دوره تناوب (۳۶۵ روز)،  $t$  روزهای سال، RMSE (انحراف معیار متغیر)، Std Error Mean (انحراف معیار میانگین)، RSquare (ضریب تبیین) می باشند. ضرایب معادلات تا هنگامیکه مقادیر آنها به سمت صفر میل کند، محاسبه شده اند. در تمام این توابع، هارمونیک اول مشخصه

نموده هر شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل ها محور

جدول (۲) فرمولهای رژیم سالانه دمای هوا و اعماق خاک در ایستگاه سقز براساس سری فوریه

سطح	روابط - ایستگاه سقز
هوا ۲ متری	$y=10/589+12/28\sin(0/99t+65/05)+0/72\sin(1/97t-62/3)+0/98\sin(2/96t-10/7)+0/297\sin(3/95t+35/52)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=8/78 , Std Error Mean=0/459, RSquare=0/978
خاک ۵cm	$y=14/39+14/19\sin(0/99t+66/91)+0/882\sin(1/97t-21/45)+0/27\sin(2/96t-29/58)+0/182\sin(3/95t-43/38)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=10/07, Std Error Mean=0/526, RSquare=0/99
خاک ۱۰ cm	$y=13/64+13/62\sin(0/99t+66/62)+0/683\sin(1/97t-29/86)+0/217\sin(2/96t-47/57) +0/198\sin(3/95t-48/43)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=9/66 , Std Error Mean=0/505, RSquare=0/99
خاک ۲۰ cm	$y=13/43+12/1\sin(0/99t+62/86)+0/433\sin(1/97t-49/94)+0/121\sin(2/96t-79/75)+0/183\sin(3/95t+27/62)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=8/57, Std Error Mean=0/448, RSquare=0/995
خاک ۳۰ cm	$y=13/5+11/14\sin(0/99t+58/96)+0/363\sin(1/97t+89/93)+0/125\sin(2/96t+72/2)+0/174\sin(3/95t+23/14)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=7/89, Std Error Mean=0/413, RSquare=0/997
خاک ۵۰ cm	$y=13/71+9/79\sin(0/99t+51/57)+0/325\sin(1/97t-80/82)+0/063\sin(2/96t+62/45)+0/147\sin(3/95t+0/76)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=6/93, Std Error Mean=0/36, RSquare=0/996
خاک ۱۰۰ cm	$y=13/595+8/09\sin(0/99t+41/81)+0/29\sin(1/97t-88/4)+0/058\sin(2/96t+49/12) +0/12\sin(3/95t-19/03)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=5/73, Std Error Mean=0/3, RSquare=0/995

کاهش می یابد که دلیل آن کاهش دامنه نوسان دمایی و پراکندگی کمتر داده های دمایی در اعماق پائین تر است.

#### رژیم روزانه دمای هوا و اعماق مختلف خاک

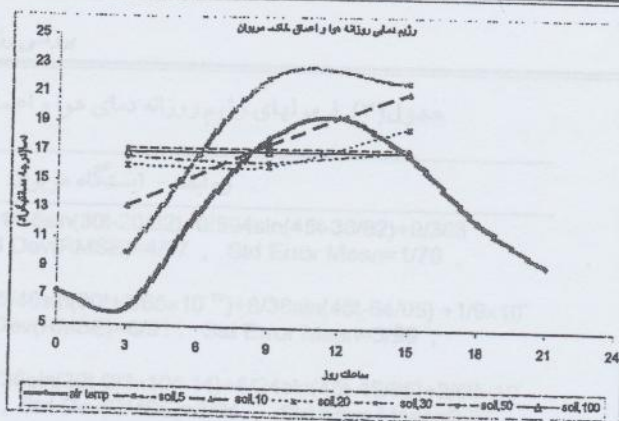
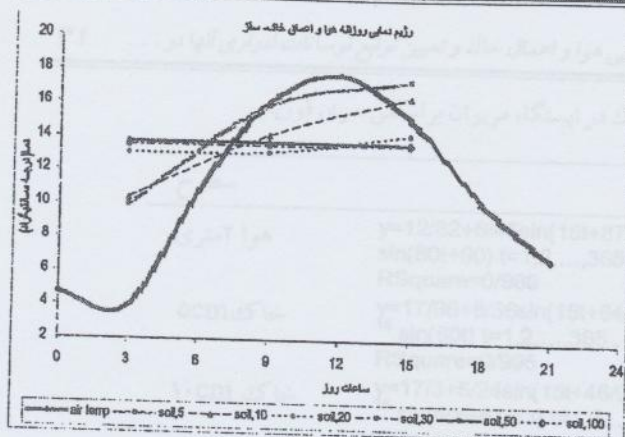
در این قسمت نیز داده های یک دوره ۱۲ ساله که بصورت ساعتی موجود بود در طول سال و ماه میانگین گیری شدند. بدین معنی که داده های ساعتی هر روز از ماهها میانگین گیری شد و به یک سری داده با طول یک ماه و با فاصله ی زمانی سه ساعت در مورد دمای هوا و با فاصله ی زمانی شش ساعت در مورد دمای خاک تبدیل گردید. در مرحله ی بعد میانگین ۳۱ روز برای هر ساعت محاسبه شده و یکسری ۲۴ ساعته با ۸ رکورد دمایی در مورد هوا و ۳ رکورد دمایی در مورد خاک برای طول سال حاصل گردید.

تغییرات روزانه ی دما در ارتفاع ۲ متری و اعماق خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتیمتری) برای ایستگاههای بیجار، قروه، میوان، سقز، سنندج، زرینه انجام شد. نتایج ایستگاه های نمونه در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل ها محور X ساعات روز و محور Y دمای میانگین ماهانه در ساعات مذکور

می باشد.

با توجه به نمودارهای حاصل این نتایج به دست آمد: در کلیه ایستگاهها کمینه و بیشینه دما در ارتفاع ۲ متری به ترتیب در ساعات ۰۳۰۰ و ۱۳۰۰ (به وقت گرینویچ) یعنی تقریباً همزمان با طلوع خورشید و کمی پس از حداکثر تابش خورشیدی می باشد. روند تغییرات دمایی در عمق ۵ سانتیمتری تقریباً با ارتفاع ۲ متری مطابقت نموده و فقط نسبت به آن دارای تأخیر زمانی می باشد. با افزایش عمق بر میزان این تأخیر افزوده شده و از میزان تطابق دمای اعماق پایین تر از ۱۰ سانتیمتری نسبت به هوا کاسته می شود. بطوریکه تقریباً از عمق ۵۰ سانتیمتری به پایین روند تغییرات دمایی عکس روند دمایی هوا می باشد. به بیان دیگر در کلیه ایستگاهها در اعماق ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری تأخیر در پاسخ به تغییرات دمای هوا کاملاً مشهود است. تغییر پذیری دمای هوا در زمین فیلتر شده و کاهش می یابد و تأخیر در وقوع دماهای کمینه و بیشینه بین سطح و اعماق پایین تر دیده می شود و این تأخیر با افزایش عمق، افزایش می یابد.

نوسانات و تغییرات دما در سطح خاک بسیار بیشتر از اعماق خاک است و به تدریج با افزایش عمق نفوذ حرارت کمتر صورت



شکل (۲) رژیم سالانه دمای هوا و اعماق مختلف خاک در ایستگاههای مریوان و سقز

مشخصه اصلی تغییرات دما در طول روز بوده و دوره ی تناوب آن ۲۴ ساعت می باشد. سه هارمونیک دیگر میزان افزایش یا کاهش دما را نسبت به پریدود (هارمونیک) اصلی نمایش می دهند. ضریب تبیین  $R^2$  در کلیه روابط فوق بین (۰/۹۸ - ۱) نشان از همبستگی زیاد داده ها و همخوانی خوب مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده دارد. این روابط در سطح ۵٪ معنی دار بوده و خطای معیار آنها نیز ناچیز است که در دوره ی روزانه قابل قبول می باشد. در این مورد نیز خطای معیار میانگین با افزایش عمق کاهش می یابد، که می تواند به همان دلیل رژیم سالانه باشد.

نتایج این تحقیق توسط سایر محققین از جمله (۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

### نتیجه گیری

تحقیق حاضر نشان می دهد که با استفاده از دمای هوا در سری فوریه می توان تغییرات دمای خاک را در اعماق مختلف بر اساس داده های دمای هوا بر آورد کرده و چگونگی این تغییرات را نیز مورد پایش قرار داد. این تخنیق معادلات و ضرائب مناسب را برای استفاده از این روش در اختیار قرار می دهد که می توانند برای مناطقی از این مناطق که فاقد اندازه گیری های دمای خاک بوده و نیز برای بازسازی داده های ناقص مورد استفاده قرار گیرند.

در بررسی رژیم های دمایی هوا و اعماق خاک فقط از دمای هوا در ارتفاع ۲ متری و دمای اعماق مختلف خاک در یک دوره آماری ۱۲ ساله استفاده شده است و سایر پارامترهای جوی و فیزیکی مؤثر از جمله بارندگی، رطوبت هوا و خاک، تابش

گرفته و تغییرات دمایی کمتری را بوجود می آورد. بطوریکه در کلیه ایستگاهها از عمق ۳۰ سانتیمتری به پایین دامنه نوسانات دمایی به مقدار خیلی زیادی کاسته شده و از عمق ۵۰ سانتیمتری به پایین تقریباً نوسانات دمایی صفر و به اصطلاح موج دمایی میرا شده است. با توجه به نمودارهای رژیم روزانه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک مشاهده می شود که در کلیه ایستگاهها بیشترین کمترین دامنه تغییرات دمایی به ترتیب در اعماق ۵ و ۱۰۰ سانتیمتری اتفاق افتاده است.

منحنی رژیم متوسط دمای ساعتی اعماق پایین خاک در ساعات گرم روز پایین تر از منحنی رژیم دمای ساعتی خاک اعماق بالاتر قرار می گیرد و برعکس در ساعات سرد روز منحنی رژیم متوسط دمای ساعتی اعماق پایین خاک بالاتر از منحنی رژیم دمای ساعتی اعماق بالاتر خاک قرار می گیرد.

با توجه به فراوانی وقوع کمینه و بیشینه روزانه دما در اعماق مختلف خاک، ساعات ۱ تا ۴ (به وقت گرینویچ) سردترین ساعات روز و ساعات ۱۱-۱۴ (به وقت گرینویچ) گرمترین ساعات روز بدست آمدند.

جدول های ۳ و ۴ رژیم روزانه دمای هوا و اعماق مختلف خاک را بر اساس سری فوریه در ایستگاههای نمونه بیان می کنند. در این جدول ها  $Y$  میانگین دمای ساعتی،  $\bar{T}$  میانگین دما در طی دوره مطالعاتی،  $P$  دوره تناوب (۲۴ ساعت)،  $t$  ساعات روز،  $RMSE$  انحراف معیار متغیر،  $Std Error Mean$  انحراف معیار میانگین،  $RSquare$  ضریب تبیین می باشند.

لذا رژیم گرمایی روزانه ایستگاه ها را نیز می توان از سری فوریه با چهار هارمونیک فرموله کرد. در کلیه توابع فوق، هارمونیک اول

جدول (۳) فرمولهای رژیم روزانه دمای هوا و اعماق خاک در ایستگاه مریوان براساس سری فوریه

سطوح	روابط - ایستگاه مریوان
هوا ۲متری	$y=12/82+6/45\sin(15t+87/32)+1/15\sin(30t-20/32)+0/594\sin(45t-36/82)+0/363\sin(60t+90)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=4/97, Std Error Mean=1/76, RSquare=0/989
خاک ۵cm	$y=17/96+8/36\sin(15t+64/05)+5/46\sin(30t+3/65\times 10^{-10})+8/36\sin(45t-64/05)+1/9\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=6/91, Std Error Mean=3/99, RSquare=0/995
خاک ۱۰ cm	$y=17/3+5/24\sin(15t+46/95)+0/36\sin(30t-9/3\times 10^{-14})+5/24\sin(45t-46/95)+2/69\times 10^{-17}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=3/94, Std Error Mean=2/27, RSquare=0/999
خاک ۲۰ cm	$y=16/93+1/84\sin(15t+27/17)+1/13\sin(30t-2/15\times 10^{-14})+1/84\sin(45t-27/17)+2/4\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=1/51, Std Error Mean=0/87, RSquare=0/996
خاک ۳۰ cm	$y=16/7+0/41\sin(15t+6/48)+0/51\sin(30t-1/5\times 10^{-14})+0/41\sin(45t-6/5)+7/9\times 10^{-17}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/41, Std Error Mean=0/24, RSquare=0/988
خاک ۵۰ cm	$y=17/2+0/009\sin(15t+74/56)+0/009\sin(30t+4/3\times 10^{-15})+0/009\sin(45t-74/56)+2/4\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/008, Std Error Mean=0/005, RSquare=0/991
خاک ۱۰۰ cm	$y=17/05+0/03\sin(15t+56/74)+0/01\sin(30t-6/4\times 10^{-15})+0/03\sin(45t-56/74)+2/4\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/02, Std Error Mean=0/01, RSquare=0/998

جدول (۴) فرمولهای رژیم روزانه دمای هوا و اعماق خاک در ایستگاه سفز براساس سری فوریه

سطوح	روابط - ایستگاه سفز
هوا ۲متری	$y=10/7+6/87\sin(15t+87/75)+1/06\sin(30t-19/24)+0/597\sin(45t-35/47)+0/365\sin(60t+90)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=5/28, Std Error Mean=1/87, RSquare=0/99
خاک ۵cm	$y=14/4+5/11\sin(15t+56/13)+1/97\sin(30t-7/32\times 10^{-15})+5/11\sin(45t-56/13)+1/23\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=3/98, Std Error Mean=2/3, RSquare=0/998
خاک ۱۰ cm	$y=13/64+4/06\sin(15t+49/57)+0/65\sin(30t-3/34\times 10^{-14})+4/06\sin(45t-49/57)+9/9\times 10^{-16}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=3/06, Std Error Mean=1/77, RSquare=0/999
خاک ۲۰ cm	$y=13/43+0/815\sin(15t+27/98)+0/48\sin(30t-2/2\times 10^{-14})+0/815\sin(45t-27/98)+2/4\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/66, Std Error Mean=0/38, RSquare=0/996
خاک ۳۰ cm	$y=13/5+0/06\sin(15t+38/51)+0/01\sin(30t-4/14)+0/064\sin(45t-38/51)+2/4\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/05, Std Error Mean=0/03, RSquare=0/999
خاک ۵۰ cm	$y=13/71+0/022\sin(15t+82/3)+0/03\sin(30t-5/92)+0/022\sin(45t-82/3)+3/6\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/02, Std Error Mean=0/01, RSquare=0/989
خاک ۱۰۰ cm	$y=13/6+0/027\sin(15t+64/3)+0/02\sin(30t-5/03\times 10^{-16})+0/027\sin(45t-64/3)+1/2\times 10^{-15}\sin(60t)$ $t=1,2,\dots,365$ , Std Dev(RMSE)=0/02, Std Error Mean=0/01, RSquare=0/995

این مناطق باشند و تحقیق بیشتری در این زمینه ضروریست. با وجود اینکه نتایج ارائه شده توسط این تحقیق ممکن است با خطا همراه باشند، ولی یک برآورد کلی از نحوه و میزان تغییرات دما در هوا و خاک ایستگاههای استان کردستان ارائه می دهند.

خورشید، ابرناکی، تعداد ساعت آفتابی، پوشش برف، بافت و ساختمان خاک، خصوصیات گرمایی خاک و غیره در نظر گرفته نشده اند. بنابراین روابط به دست آمده احتمالاً نتوانند بطور قطعی ارائه دهنده شرایط واقعی افزایش و یا کاهش دمای هوا و خاک در



منابع

- ۱- بای بوردی، م. ۱۳۶۶. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.
  - ۲- جعفر پور، ا. ۱۳۷۷ (۱۳۷۱). اقلیم شناسی. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.
  - ۳- حجام، س. ۱۳۷۹. جزوه درسی آمار در هواشناسی.
  - ۴- خلیلی، ع. ۱۳۷۹. جزوه درسی خرد اقلیم شناسی.
  - ۵- سپاسخواه، ع. ۱۳۸۱. واکنشگاه خاکی (مدلسازی فرآیندهای خاک). انتشارات دانشگاه شیراز.
  - ۶- علیزاده، ا. کوچکی، ع. ۱۳۷۴. کشاورزی و آب و هوا. چاپ اول. نشر مشهد.
  - ۷- عسکری شیرازی، ح. ۱۳۵۳ (۱۳۵۷). ابزار اندازه گیری در هواشناسی. چاپ اول. انتشارات دانشکده هواشناسی و علوم جو.
  - ۸- فرجی، ا. ۱۳۷۸. هوا و اقلیم شناسی. چاپ دوم. انتشارات کارنو.
  - ۹- محمودی، ش. حکیمیان، م. ۱۳۷۷. مبانی خاکشناسی. انتشارات دانشگاه تهران.
  - ۱۰- محسنی، ذ. ۱۳۶۷. ادوات هواشناسی سطح زمین. انتشارات سازمان هواشناسی کشور (O.M.W).
  - ۱۱- نیرومند، ح. ۱۳۷۶. تحلیل سریهای زمانی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
12. Andrade, J. A and Abreu, F. G. 2000. "Modeling daily and annual cycles of temperature in two types of soil". 17 th WCSS.
  13. Cautenet, G and Legrand, M. 1986. "Computing of ground surface condition heat flux by Fourier Analysis of Surface Temperature". Journal of Climate and Applied Meteorology. Vol 25. pp: 277-283
  14. Cenis, L. G., 1998. "Temperature evaluation in solarized soils by fourier analysis". Journal of phytopathology. 506-510
  15. Decker, W.L. 1955. "Determination of soil temperatures from meteorological data". Unpublished doctoral dissertation, Iowa State College.
  16. Evett, S. R. 1994. "TDR-temperature arrays for analysis of field soil thermal properties". Proceedings of the symposium on time domain reflectometry in environmental, infrastructure and mining applications.
  17. Geiger, R. 1986. "The climate near the ground".
  18. Ghuman, B. S and Lal, R. 1981. "Predicting diurnal temperature regimes of the central Appalachians". Soil Science. Vol 132. no 3. pp: 247-252
  19. Ghuman, B. S and Lal, R. 1982. "temperature regime of a tropical soil in relation to surface condition and air temperature and its fourier analysis". Soil Science. Vol 134. no 2. pp: 133-140
  20. Hillel, D. 1982. "Introduction to soil physics". Academic Press, San Diego, CA.
  21. Horton, R and Wierenga, P. J. 1982. "estimating the soil heat flux from observations of soil temperature near the surface". Soil . Sci. Soc. Am. J. Vol 47. pp: 14-20
  22. Kihlman, A. O. 1890. "Pflanzenbiologische studien aus russisch Lapland". Acta societa pro Fanna et Flora fennica, 6:1-263.

23. Marshall, T. J. and J. W. Holmes. 1988. "Soil physics". 2nd ed. Cambridge Univ. Press, New York.
24. Nassar, I. N and Horton, R. 1990. "determination of soil apparent thermal diffusivity from multiharmonic temperature analysis for nonuniform soil". Soil Science. Vol 14. no 3. 125-130
25. Renaud, F and Scott, H. B and Brewer, D. W. 2001. "Soil temperature dynamics and heat transfer in a soil cropped". Soil Science. 166. pp: 910-920
26. Salcedo, A.C and Recio, J.M.B., 1984. "Fourier Analysis of Meteorological Data to Obtain a Typical Annual Time Function". Solar Energy. Vol 32. no 4. pp: 479-488
27. Wright, L and Crew, J. T. 2000. "Temperature and soil moisture regimes in and adjacent to the fernow experimental forest". USDA. Research paper no, 713. pp: 1-4
28. Wu, J. And D. L. Nofziger. 1999. "Incorporating temperature effects on pestiside degradation into a management model". J. Environ. Qual. 28: 92-100.

علمی - پژوهشی

علوم و صنایع

کشاورزی

وبژه آب و خاک

شماره ۱۲۸

شماره ۱۲۸