تولید الگوی رطوبتی خاک در مقیاس حوضه با توابع متعامد تجربی

محمد حسین نوری قیداری
عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

مقدمه:

الگوی مکانی رطوبت خاک تنها به وسیله اندازه‌گیری‌های محدود قابل تعیین نیست و باید از روش‌های درون‌یابی کمک گرفت. از آنجا که رطوبت خاک تابع عوامل متعدد هیدرولوژیکی ، هواشناسی و هیدروژئولوژی می‌باشد، درون‌یابی رطوبت خاک مسئله پیچیده‌ای است[۱ و ۲]. در این مقاله روش جدید درون‌یابی رطوبت خاک که بر پایه توابع متعامد تجربی می‌باشد ارائه می‌گردد. در روش بکار گرفته شده داده‌های ثبت شده رطوبت خاک به دو سری مکانی و زمانی تقسیم می‌شود که از حاصل ضرب آنها سری اصلی داده‌ها تولید می‌شود . سری زمانی برای تمامی ایستگاههای حوضه ثابت می‌باشد ولی سری مکانی رطوبت خاک با مکان تغییر می‌کند. جهت برآورد رطوبت خاک در مکان فاقد آمار، سری مکانی رطوبت خاک در محل مورد نظر به کمک سری مکانی ایستگاههای مجاور برآورد گردیده و در سری زمانی حوضه ضرب می‌شود[۴].

مواد و روش‌ها

فرآیندهایی مثل تبخیر، نفوذ، پوشش گیاهی و رواناب سطحی رابطه غیر خطی با رطوبت خاک دارند که دقت برآورد آنها در گرو برآورد مناسب رطوبت خاک می‌باشد. برآورد دقیق رطوبت خاک با روشهای متداول امکانپذیر نیست که آن هم به پیچیدگی عوامل موثر بر رطوبت خاک برمی‌گردد. توابع متعامد تجربی یکی از روش‌های مناسب تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط سری زمانی می‌باشد که روشی مناسب برای برآورد داده‌های گم شده و یا تولید داده در ایستگاه فاقد آمار می‌باشد.

توابع متعامد تجربی (Empirical Orthogonal Function)

با آنالیزی که روش EOF انجام می دهد داده های ثبت شده را به دو جزء داده های مکانی و زمانی تقسیم می‌کند یعنی مقدار متغیر مورد نظر در ایستگاه x و در زمان t به صورت زیر تعریف می کند[۳و۴] :

(۱)

$$f_{x,t} = \sum_{i=1}^{M} T_i(t)\ S_i(x)$$

در رابطه فوق $S_i(x)$:متغیر مکانی یا ناحیه ای(Spatial EOFs)، $T_i(t)$: متغیر زمانی (Temporal EOFs) و M: تعداد ایستگاه‌ها می باشد.

اگر فرض شود در M ایستگاه در N دوره, رطوبت خاک اندازه گیری شده باشند, می توان نرمال داده ها را بصورت زیر تعریف کرد:

$$f_{x,t} = \frac{y_{x,t} - \bar{y}_x}{S_x} \qquad x = 1,2,3,...,M \qquad t = 1,2,3,...,N \qquad (۲)$$

در رابطه فوق $\bar{y}_x$ و S_x میانگین و انحراف معیار داده ها در ایستگاه x بوده و $y_{x,t}$ رطوبت ثبت شده خاک در ایستگاه x در زمان t می باشد.

اگر داده های استاندارد شده را در یک ماتریس $m \times n$ نشان دهیم, ماتریس زیرحاصل می شود:

$$F = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & . & . & f_{1,N} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & . & . & f_{2,N} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ f_{M,1} & f_{M,2} & . & . & f_{M,N} \end{bmatrix} = [f_1, f_2, ..., f_N] \qquad (۳)$$

هر ستون ماتریس F شامل M مقدار اندازه‌گیری شده در زمان N می باشد. ماتریس همبستگی ایستگاهها بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = F F^T \qquad (۴)$$

R ماتریسی است $M \times M$ که دارای M مقدار ویژهٔ حقیقی مثبت بوده و بردارهای ویژه آن دو به دو بر هم عمود هستند. با عملیات ماتریسی ثابت می شود که بین ماتریس بردار های ویژه و مقادیر ویژه رابطه زیر وجود دارد.

$$R E = D E \qquad (۵)$$

در رابطه فوق E (Spatial EOF matrix): معرف تغییرات مکانی بوده که همان $S_i(x)$ می باشد که در ستون های آن بردار های ویژه بترتیب بزرگی مقدار ویژه قرار داده شده اند یعنی در ستون اول بردار ویژه ای قرار دارد که بزرگترین مقدار ویژهٔ را دارا می باشد و همینطور در ستون دوم بردار ویژه مربوط به دومین بزرگترین مقدار ویژه قرار داده شده است و الاآخر. D: ماتریس قطری $M \times M$ بوده که عناصر قطری آن مقادیر ویژه متناظر بردار های ویژه میباشد. لازم بذکر است که هر بردار ویژه یا سری مکانی دارای M مولفه است که هر مولفه آن مربوط به یک ایستگاه می باشد. ماتریس تغییرات زمانی از رابطه زیر حاصل می شود:

$$C = F^T E \qquad (۶)$$

ماتریس C همان Temporal EOF matrix است که در معادله (۱) با $T_i(t)$ نشان داده شده بود.حال اگر ماتریس متقارن C را در E ضرب کنیم خواهیم داشت .

$$F = E C^T \qquad n = 1,2,..., N \qquad (۷)$$

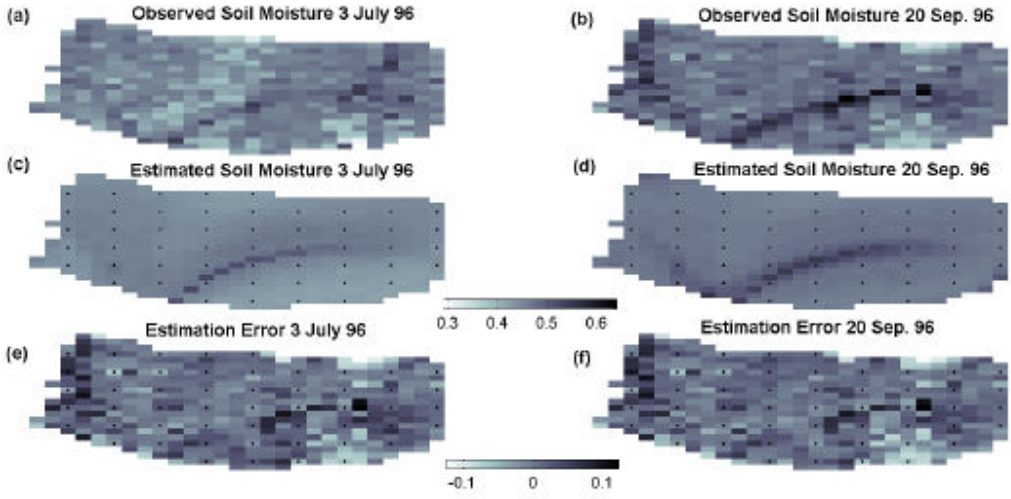
معادله (۷) منطبق بر رابطهٔ (۱) می باشد.

بنابراین می‌توان با رابطه (۵) سری‌های مکانی و با رابطه (۶) سری زمانی رطوبت خاک را بدست آورد. برای بدست آوردن رطوبت خاک در یک نقطه مورد نظر در داخل حوضه به ترتیب زیر عمل می‌شود: ۱- تجزیه داده‌های ثبت شده به روش توابع متعامد تجربی و استخراج سری زمانی و مکانی ایستگاهها ۲- برآورد سری‌های مکانی برای محل مورد نظر به کمک زمین‌آمار ۳- برآورد مقدار متوسط و انحراف معیار رطوبت خاک در نقطه مورد نظر به کمک روش‌های همبستگی ۴- محاسبه مقدار استاندارد رطوبت خاک در محل مورد نظر به کمک رابطه(۱) و در نهایت ۵- برآورد مقدار رطوبت در محل مورد نظر با استفاده از رابطه(۲)

نتایج و بحث

منطقه مورد مطالعه دشت قیدار واقع در استان زنجان می‌باشد. متوسط ارتفاع منطقه ۱۹۹۵ متر از سطح دریا و متوسط بارش سالانه آن ۳۴۰ میلی‌متر می‌باشد. این منطقه با وسعت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع دارای ۴ ایستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک با طول آماری بین ۲۰ تا ۳۰ سال می‌باشد. به روش توابع متعامد تجربی داده‌های ثبت شده مورد تجزیه قرار گرفتداند و سری‌های مکانی و زمانی این چهار ایستگاه استخراج شد. سپس به کمک نرم‌افزار ARC-GIS به روش زمین آمار(Kriging) سری مکانی برای تمامی نقاط حوضه برآورد و با ضرب کردن آن به سری زمانی، مقدار رطوبت برای بقیه نقاط برآورد گردید. در شکل ۱ نمونه از نتایج بدست آمده ارائه گردید. در شکل‌های a و b مقدار رطوبت خاک در سطح دشت به ترتیب برای روزهای 3 July 1996 و 20 Sep. 1996 نمایش داده شده است. در این دو

شکل الگوی رطوبتی خاک به کمک اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در ۶۰ نقطه حوضه (که موقعیت آنها روی شکل مشخص است) بدست آمده است که کاری بسیار وقت‌گیر و مشکل است. حال می‌توان همین الگوی رطوبتی خاک منطقه را به کمک روش توابع متعامد تجربی با داده‌های همان ۴ ایستگاه موجود برآورد کرد. نتایج این برآورد در شکل۱ (c و d) نمایش داده شده است. با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآورد شده خطای برآورد مشخص می‌شود. در شکل ۱(e و f) خطای برآورد در روش بکارگرفته شده ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد خطای برآورد حداکثر ۱۶ درصد می‌باشد.



شکل ۱: a: الگوی رطوبت مشاهده در 3 July 1996، b: الوی رطوبتی خاک در 20 Sep. 1996 ،
c: الگوی رطوبتی برآورد شده برای 3 July 1996، d: الگوی رطوبتی برآورد شده برای 20 Sep. 1996،
e: خطای برآورد رطوبت خاک در 3 July 1996، f: خطای برآورد رطوبت خاک در 20 Sep. 1996

منابع

[1] Grayson, R. B., Western, A. W., Chiew, F. H. S., and Bl¨oschl, G.: Preferred states in spatial soil moisture patterns: Local and nonnonlocal controls, Water Resour. Res., 33(12), 2897–2908, 1997a.

[2] Hu, Z., Yizong, C., and Islam, S.: Multiscaling properties of soil moisture images and decomposition of large- and small-scale features using wavelet transforms, Int. J. Remote Sens., 19(13),2451-2467, 1998.

[3] Manfreda, S. and Rodriguez-Iturbe, I.: On the spatial and temporal sampling of soil moisture fields, Water Resour. Res., 42(5), W06D05, doi:10.1029/2005WR004497, 2006.

[4] Perry, M. A. and Niemann, J. D.: Analysis and estimation of soil moisture at the catchment scale using EOFs, J. Hydrol., 334(3– 4), 388–404, 2007.