توزیع مکانی و دینامیکی رطوبت سطحی خاک با استفاده از تصاویر ماهواره SMAP در حوزه آبخیز سیمینه-زرینه بوکان

خالد حاجی ملکی[۱]، علی‌رضا واعظی[۲]، فریدون سرمدیان[۳]، وید کراو[۴]، جعفر صوفیان[۵]
۱، ۲ و ۵- دانشجوی دکتری، دانشیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ۳- استاد گروه علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران و ۵- دانشمند تحقیقات فیزیکی آزمایشگاه هیدرولوژی و سنجش از دور، وزارت کشاورزی امریکا

چکیده

رطوبت سطحی خاک بر امنیت غذایی، سلامت انسان و عملکردهای اکوسیستم تأثیر مستقیم دارد. همچنین نقشی مهم را در توسعه و پایستگی رخدادهای مخرب آب و هوایی نظیر خشکسالی، سیل و امواج گرمایی ایفاء می‌کند. تاکنون مطالعاتی زیادی در زمینه بررسی رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور صورت گرفته است که در تمامی آنها از تصاویر ماهواره‌های LANDSAT8, MODIS و... استفاده شده است که در هریک از تصاویر حاصل از سنجنده‌های این ماهواره‌ها، یک باند خاصی توانایی برآورد رطوبت خاک را دارد اما از ماهواره هایی که به صورت اختصاصی صرفاً برای پایش رطوبت خاک در مقیاس جهانی به فضا پرتاپ شده است همانند ماهواره SMAP متعلق به سازمان فضایی آمریکا که در ژانویه سال ۲۰۱۵ ارسال گردید استفاده نشده است. در این پژوهش تلاش بر این است که داده‌های ماهواره SMAP برای پایش تغییرات مکانی رطوبت سطحی خاک در حوزه آبخیز سیمینه و زرینه منطقه نیمه‌خشک در شمال‌غربی ایران مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور درصد رطوبت حجمی با دقت ۰/۰۴ سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب از داده‌های ماهواره‌ای استخراج گردید. به ترتیب ۰/۱۲۳ و ۰/۴۱۵حداکثر و حداقل رطوبت حجمی خاک در منطقه می‌باشد. نقشه پراکنش رطوبت سطحی خاک در منطقه تهیه گردید و نتایج نشان داد که با گذشت زمان از اوخر فروردین ماه در حوزه آبخیز مورد مطالعه در نواحی شمالی و شمالغربی با توجه به نوع کاربری‌های غالب آن شدت کاهش رطوبت با سرعت بیشتری روبرو است.

واژه های کلیدی: پراکنش، رطوبت سطحی خاک، پوشش گیاهی

مقدمه

رطوبت سطحی خاک بر امنیت غذایی، سلامت انسان و عملکردهای اکوسیستم تأثیر مستقیم دارد. همچنین نقشی مهم را در توسعه و پایستگی رخدادهای مخرب آب و هوایی نظیر خشکسالی، سیل و امواج گرمایی ایفاء می‌کند. به هرحال مطالعات پراکنده و نامتوازن توزیع مکانی رطوبت سطحی خاک هنوز با چالش‌های زیادی روبرو است.

مأموریت‌های مختلفی از طریق پرتاب ماهواره‌ها به فضا برای مطالعه و پایش رطوبت خاک با استفاده از تکنیک سنجش از دور صورت گرفته است. در دو دهه گذشته مطالعات گوناگون نشان دادند که رطوبت سطحی خاک به وسیله ماموریت‌های ماهواره-ای با امواج غیرفعال قابل برداشت می‌باشد این اقدامات از قبیل مأموریت رطوبت خاک و شوری اقیانوس[۱]، مأموریت رطوبت خاک فعال / غیر فعال[۲]، مأموریت حسگر ویژه میکروویو/تصویربردار[۳] و مأموریت اسکن رادیومتر پیشرفته مایکروویو[۴] می‌باشند.

[1] . Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)
[2] . Soil Moisture Active/Passive (SMAP)
[3] . Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I)
[4] . Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E)

هم اکنون رطوبت سطحی خاک از تمامی مأموریت‌های با امواج غیرفعال قابل برداشت هستند. به هرحال به عنوان نتیجه الگوریتم‌های مختلف استفاده شده برای داده‌های متفاوت ماهواره‌ای، کیفیت و پیوستگی میکروویو غیرفعال رطوبت سطحی خاک در زمان و مکان قابل قبول می‌باشد.

داده‌های رطوبت خاک ماهواره SMAP دریافت شده از سنسورهای موجود بامشاهدات زمینی همزمان مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته اند (Das et al., 2016 and Leroux et al., 2016). یی و همکاران (۲۰۱۶) به پایش و ارزیابی رطوبت خاک برای اعتبار سنجی داده‌های ماهوارهSMAP با دقت مکانی ۳ کیلومتر برای اندازه‌گیری رادار، ۹کیلومتر برای اندازه‌گیری رادار-رادیومتر و ۳۶ کیلومتر برای اندازه‌گیری رادیومتر پرداختند. ژنگ و همکاران(۲۰۱۶) به ارزیابی داده‌های رطوبت خاک رادیومتر ماهواره SMAP در مقابل اندزه‌گیری‌های زمینی جمع آوری شده از شبکه‌های مختلفی که شامل پوشش گیاهی، اقلیم و شرایط سطح اراضی متفاوت بودند پرداختند نتایج نشان داد که داده‌های رطوبت خاک ماموریت SMAP تطابق خوبی با اندازه‌گیری های زمینی داشتند.

رطوبت خاک در مکان و زمان به شدت متغیر است به طوری‌که در مقیاس مکانی از چند سانتی‌متر تا چندین کیلومتر و در مقیاس زمانی از چند دقیقه تا چند سال تغییر پذیری دارد(Zhu et al., 2012). برخی مطالعات تغییرات مکانی رطوبت خاک را در مقیاس مزرعه‌ای (Bell et al., 1980; Nielsen et al., 1973)، در مقیاس حوزه آبخیز (Rosenbaum et al., 2012; Western et al., 2004)، در مقیاس محلی (Romshoo, 2004; Zhao et al., 2013) و در مقیاس قاره‌ای (Entin et al., 2000; Li and Rodell, 2013)، بررسی کرده‌اند. وسترن و همکاران(۲۰۰۲) گزارش کردند که تکنیک‌های مختلف برای برقراری ارتباط بین تغییرپذیری رطوبت خاک و مقیاس وهمچنین ایجاد تمایز بین تکنیک‌های پایه با تأکید بر ویژگی‌های توزیع‌های آماری و همبستگی مکانی در دسترس هستند.

نخستین ماموریت ماهواره‌ای‌که به طور اختصاصی به پایش رطوبت خاک در مقیاس جهانی می‌پردازد در نوامبر ۲۰۰۹ ماهواره SMOS (رطوبت خاک و شوری دریا) توسط سازمان فضایی اروپا (Kerr et al., 2001) و دیگری ماهواره SMAP (رطوبت خاک فعال و غیر فعال) توسط سازمان فضایی ناسا ایالات متحده امریکا (Entekhabi et al., 2008) در ژانویه سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شده است. علاوه بر این چند سنجنده ماهواره‌های غیر اختصاصی دیگری برای رطوبت خاک در دسترس می باشد (Brocca et al., 2010).

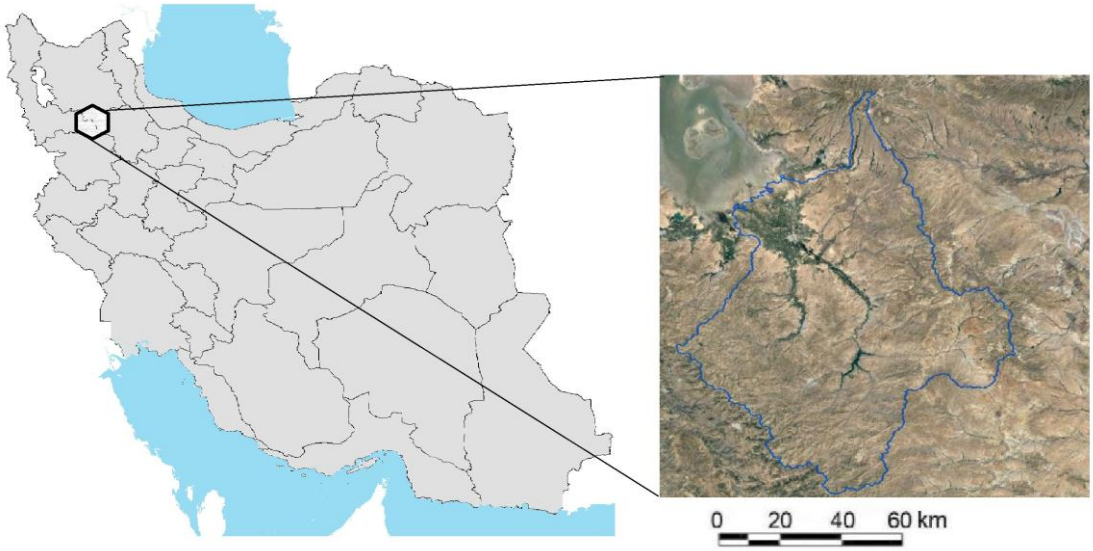
تاکنون مطالعاتی زیادی در زمینه بررسی رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور صورت گرفته است که در تمامی آنها از تصاویر ماهواره‌های LANDSAT8, MODIS و... استفاده شده است که در هریک از تصاویر حاصل از سنجنده‌های این ماهواره‌ها، یک باند خاصی توانایی برآورد رطوبت خاک را دارد اما از ماهواره هایی که به صورت اختصاصی صرفاً برای پایش رطوبت خاک در مقیاس جهانی به فضا پرتاپ شده است می‌توان به ماهواره SMAP متعلق به سازمان فضایی آمریکا که در ژانویه سال ۲۰۱۵ ارسال گردید است اشاره کرد. این ماهواره هم اکنون هر سه روز یک‌بار تغییرات رطوبت کل زمین را پایش می‌کند استفاده نشده است. در این پژوهش تلاش بر این است که داده‌های ماهواره SMAP برای پایش تغییرات مکانی رطوبت سطحی خاک در حوزه آبخیز سیمینه و زرینه منطقه نیمه‌خشک در شمال‌غربی ایران مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز سیمینه-زرینه واقع در شمال‌غربی کشور می باشد که مساحتی حدود ۲۵ هزار کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. این پهنه، محدوده‌ای جغرافیایی از ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ۲۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی را در بر می‌گیرد.

ارتفاع منطقه از ۱۲۵۰ تا ۲۱۷۰ متر از سطح دریا متغیّر می‌باشد آب و هوای منطقه مورد مطالعه استپی خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است. این منطقه در زمستان سرد و و روزهای زمستانی آن طولانی بوده که معمولاً تا اواخر اسفندماه ادامه دارد. مهمترین گیاهان زراعی در منطقه مطالعاتی می‌توان به گندم، جو، یونجه، ذرت، چغندر، کلزا، برخی از محصولات

صیفی و جالیزی، و پاره‌ای از محصولات باغی مانند درختان میوه نظیر سیب، هلو و بادام اشاره کرد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

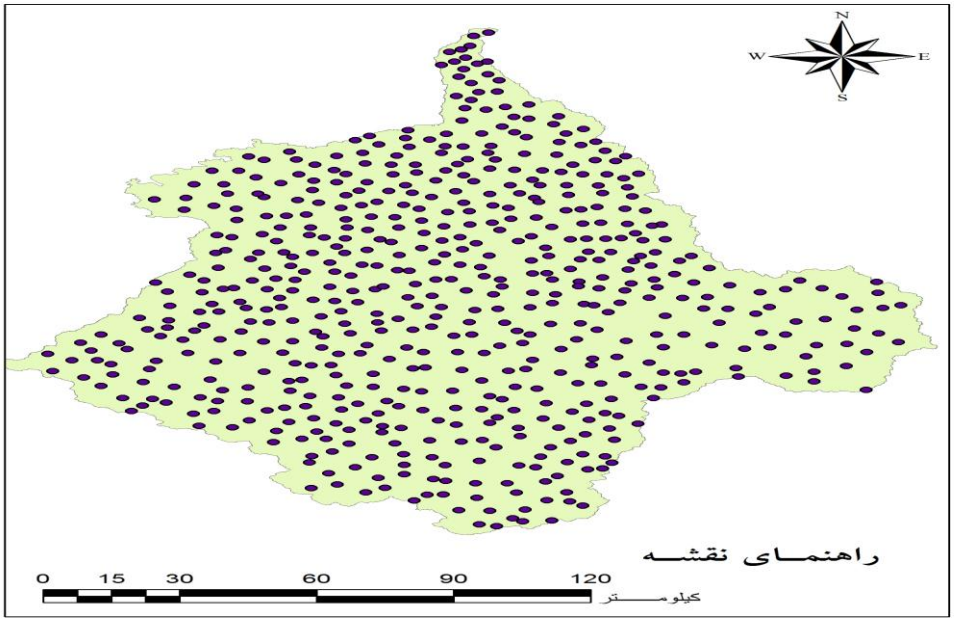


شکل۱- منطقه مورد مطالعه

برای پایش تغیرات مکانی و زمانی رطوبت خاک نیاز به داده‌های ماهواره SMAP از منطقه مورد مطالعه در بازه های زمانی سه روزه می‌باشد. این ماهواره که در سال ۲۰۱۵ با هدف اختصاصی پایش تغییرات رطوبت خاک کره زمین در بازه‌های زمانی سه روز یکبار نواحی شمالی و دو روز یکبار نواحی استوایی به فضا پرتاب شده است در یک مدار خورشید آهنگ و با ارتفاع ۶۸۰ کیلومتر از سطح زمین در حال چرخش به دور زمین است. این ماهواره هر روز راس ساعت شش صبح و شش بعد از ظهر از استوا عبور می کند و پهنای نوار آن حدود ۱۰۰۰ کیلومتر می‌باشد. همچنین قادر است که تغییرات رطوبت خاک را تا دو اینچ از سطح زمین، پایش کند. این ماهواره دارای قدرت تفکیک مکانی حدود ۶ مایل (۹کیلومتر) و زمانی سه روزه می‌باشد. به همین منظور در اواخر فروردین ۱۳۹۶ داده‌های این ماهواره دریافت و مورد پردازش قرار گرفتند. در کل منطقه حدود ۵۸۲ نقطه مطالعاتی تعیین گردیدند. میزان رطوبت این نقاط توسط داده‌های ماهواره ای مشخص گردید و شکل ۲ نقشه پراکنش نقاط پیش‌بینی رطوبت سطحی خاک در منطقه را نشان می‌دهد. جدول زیر تعداد نقاط و درصد کاربری‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۱- تعداد نقاط و درصد هر کاربری

کاربری	تعداد نقاط نمونه برداری	درصد هر کاربری
اراضی کشاورزی دیم	۲۷۳	۴۵
اراضی کشاورزی آبی	۸۷	۱۸
مرتع	۱۹۷	۳۲
جنگل	۲۵	۵



شکل۲- نقشه پراکنش نقاط پیش‌بینی رطوبت سطحی خاک

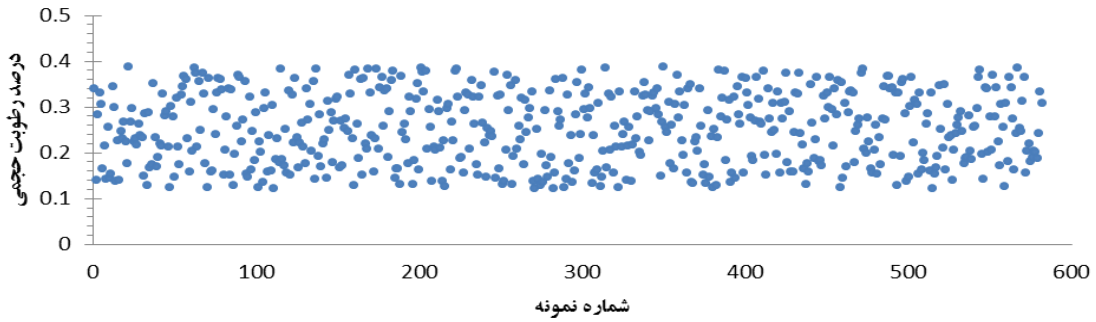
نتایج و بحث

درصد رطوبت حجمی با دقت ۰/۰۴ سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب از داده‌های ماهواره‌ای استخراج گردید. نتایج آماری داده‌ها در جدول شماره ۲ نشان داد شده است.

جدول شماره ۲- خصوصیات آماری داده‌ها

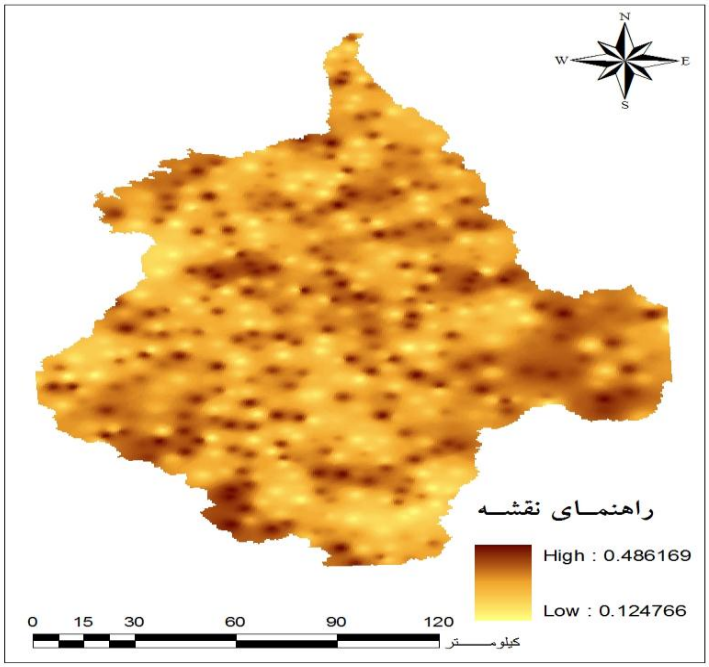
آماره	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانه	انحراف معیار
مقدار	۰/۲۶۱	۰/۱۲۳	۰/۴۱۵	۰/۲۵۴	۰/۰۷۸

دقت رطوبت خاک استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای تحت تاثیر میزان پوشش گیاهی می‌باشد لذا به این دلیل زمان مذکور به عنوان زمان مناسب برای استخراج داده‌ها در نظر گرفته شد زیرا میزان پوشش گیاهی کم بود. همچنین سعی گردید که گرفتن داده‌های رطوبت خاک منطبق بر آمارهای هواشناسی باشد به گونه‌ای که اگر در هفته ای که بارندگی رخ داده باشد اخذ داده صورت نگیرد تا رطوبت قابل واقعی موجود در خاک تعیین گردد. شکل ۳ دامنه تغییرات درصد رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- پراکنش مقدار رطوبت نمونه‌های استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای

رطوبت خاک متغیری است که در زمان و مکان تغییر پذیری دارد همین امر بر حساسیت پایش این تغییرات افزوده است. لـذا اطلاع از وضعیت و دامنه این تغییرات ضروری می‌باشد. شکل ۳ نشانگر دامنه وسیع تغییرات رطوبت خاک در اراضـی مختلـف منطقه می‌باشد. پوشش گیاهی و همچنین جهت شیب از عوامل اساسی موثر بر این تغییرات هستند. شـکل ۴ نقشـه پـراکنش رطوبت سطحی خاک در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل۴- نقشه پراکنش رطوبت سطحی خاک در منطقه مورد مطالعه

منابع

Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., Wagner, W., and Hasenauer, S., 2010. ASCAT soil wetness index validation through in-situ and modeled soil moisture data in central Italy. Remote Sens. Environ., 114(11), 2745–2755,.

Das, N.N.; Entekhabi, D.; Dunbar, R.S.; Njoku, E.G.; Yueh, S.H. Uncertainty estimates in the SMAP combined active-passive downscaled brightness temperature. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. **2016**, 54, 640–650.

Entekhabi, D. E., Njoku, P., O'Neill, T., Jackson, J., Thomas, J., Entin, J., and Eastwood, I., 2008. The Soil Moisture Active/Passive

Leroux, D.J.; Das, N.N.; Entekhabi, D.; Colliander, A.; Njoku, E.; Jackson, T.J.; Yueh, S. Active-passive soil moisture retrievals during the SMAP Validation Experiment 2012. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. **2016**, 13, 475–479.

Yee, M.S.;Walker, J.P.; Monerris, A.; Rudiger, C.; Jackson, T.J. On the identification of representative in situ soil moisture monitoring stations for the validation of SMAP soil moisture products in Australia. J. Hydrol. **2016**, 537, 367–381.

Zeng, J.Y.; Chen, K.S.; Bi, H.Y.; Chen, Q. A preliminary evaluation of the SMAP radiometer soil moisture product over united states and europe using ground-based measurements. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. **2016**, 54, 4929–4940.

Zhao, L., Yang, K., Qin, J., Chen, Y., Tang, W., Montzka, C., Wu, H., Lin, C., Han, M. and Vereecken, H., 2013. Spatiotemporal analysis of soil moisture observations within a Tibetan mesoscale area and its implication to regional soil moisture measurements. Journal of Hydrology, 482, 92-104.

Zhu, Q., Liao, K., Xu, Y., Yang, G., Wu, S. and Zhou, S., 2013. Monitoring and prediction of soil moisture spatial–temporal variations from a hydropedological perspective: a review. Soil Research, 50(8), 625 637.Ziadat, F.M., Taimeh, A.Y., 2013. Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. Land Degradradation Developement. 24 (6), 582–590. http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2239

Spatial and dynamic distribution of surface soil moisture using by SMAP Satellite images in simine-zarine watershed, Boukan

K. Haji Maleki[1], A. R. Vaezi[2], F. Sarmadian[3], W. Crow[4], J. Sufyan[5]
1,2,5- Ph.D student, Associated professor, and Graduated M. Sc Department of Soil Science, University of Zanjan, 3- Professor, Department of Soil Science, University of Tehran and 4- Research Physical Scientist, USDA-ARS Hydrology and Remote Sensing Laboratory, Maryland, United States

Abstract
Soil moisture has a direct impact on food security, human health and ecosystem functions. It also plays an important role in the development and sustainability of destructive weather events such as droughts, floods and heat waves. In this research, it is attempted to investigate the SMAP satellite data for monitoring the spatial variations of soil moisture in the Simine and Zarine watershed, semi-arid region in northwestern Iran. For this purpose, the percentage of volumetric moisture content was extracted from satellite data with accuracy of 0.04 cubic per cubic centimeter. The maximum and minimum volumetric soil moisture content in the region is respectively 0/123 and 0/415 respectively. Surface soil moisture distribution map was prepared in the region and the results showed that the rate of moisture decrease in early spring is faster in the northern and northwest regions with respect to the land use dominant.

Key words: Spatial distribution, Surface soil moisture, Vegetation