نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال هشتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹ Vol.8, No.4, Winter 2021 ۱۰۱–۱۰۱

مقاله پژوهشی DOR: <u>20.1001.1.20089635.1399.8.4.5.1</u>

بررسی تأثیر تغییرات رطوبت خاک بر فاز تداخلسنجی راداری

صادق رنجبر'، مهدی آخوندزاده هنزائی^{۳*}

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشهبرداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکدههای فنی، دانشگاه تهران ۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشهبرداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکدههای فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸

چکیدہ

تداخلسنجی راداری تفاضلی (DInSAR) به عنوان یک ابزار بالقوه سنجش از دور برای شناسایی جابجاییهای سطح زمین با دقت زیر سانتی متر شناخته شده است. تغییرات رطوبت سطحی خاک ($_{0}M_{\nu}$) در زمان میان دو تصویر به عنوان یک پارامتر تأثیرگذار بر فاز تداخلسنجی (ϕ)، باعث ایجاد خطا در برآورد جابجایی میشود. در این پژوهش، میزان و نحوه تأثیرگذاری $_{0}M_{\lambda}$ بر ϕ در زمینهایی با پوشش گیاهی گندم، کلزا، علف هرز، نخود و زمین بایر با استفاده از یک مدل رگرسیونی بطور تجربی بررسی شده است. برای این بررسی از دادههای هوایی سنجنده استفاده شده است. بایر با استفاده از یک مدل رگرسیونی بطور تجربی بررسی شده است. برای این بررسی از دادههای هوایی سنجنده استفاده شده است. با توجه به نمودارهای پراگندگی بین ϕ و $_{0}M_{\lambda}$ و مشاهده رابطه مستقیم و تقریبا خطی بین این دو پارامتر، تعدادی فرضیه استفاده شده است. با توجه به نمودارهای پراگندگی بین ϕ و $_{0}M_{\lambda}$ و مشاهده رابطه مستقیم و تقریبا خطی بین این دو پارامتر، تعدادی فرضیه برای استفاده از یک مدلسازی رگرسیونی در نظر گرفته شد. با مقایسه فاز تخمین زده شده با استفاده از مدل رگرسیونی کالیره شده و فاز محاسبه شده از تکنیک تداخلسنجی، بهترین نتایج مدل در زمین بایر با خطای جذر میانگین مربعات (2*R*)، ۳٫۰ رادیان تا خریب تعیین (*R*)، *P*?/ تا ۷۲٪ در قطبیدگیهای *VV* و *HH* بدست آمده است. بطور کلی، نتایج مدل رگرسیونی نشان می دهد بدون تأثیر ضریب تعیین (*R*)، *P*?/ تا ۷۲٪ در قطبیدگیهای *VV* و *HH* بدست آمده است. بطور کلی، نتایج مدل رگرسیونی نشان می دهد بدون تأثیر مدریب تعیین (*R*)، *P*?/ تا ۲۷٪ در قطبیدگیهای *VV* و *HH* بدست آمده است. بطور کلی، نتایج مدل رگرسیونی نشان می دهد بدون تأثیر مدریب تعیین (*R*)، *P*?/ تا ۲۷٪ در قطبیدگیهای *V* و *HH* بدست آمده است. بطور کلی، نتایج مدل رگرسیونی نشان می دهد بدون تأثیر مدریب تعیین (*R*)، *P*?/ تا ۲۷٪ در قطبیدگیهای ارائه می دهد (*RMS*)، *۲*، رادیان و *S*، *۲*). تا ۵۵٪ با توجه بقه عوامل تأثیرگذار بر *φ*، این پارامتر می توان تابعی رگرسیونی از تغییرات سطح رطوبت خاک در زمینهای بایر باشد. هری و کار مدلسازی نتایج قابل قبولی برای زمینهای دارای پوشش گیاهی ارائه می دهد (*RMR*، *۲*) در واین مایم و راین و ۲۰۸۰ و کار به نوع پوشش گیاهی و قطبیدگیهای مدانه ی معنون تابعی مرگرسیونی از ملکه م

كليد واژهها : تداخلسنجي راداري، فاز، رطوبت سطحي خاك، تغييرات پوشش گياهي.



. تنویسنده مکاتبه کننده: تهران-خیابان کارگر شمالی-بالاتر از تقاطع جلال آل احمد-دانشکده فنی دانشگاه تهران-دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی. تلفن: ۲۱۶۱۱۱۴۵۲۲

سال هشتم ● شماره چهارم ● زمستان ۱۳۹۹

۱– مقدمه

تداخلسنجی راداری تفاضلی '(DInSAR) یک روش سنجش از دوری است که می تواند جابه جایی های سطح زمین را با دقت زیر سانتیمتر برآورد کند. یک پارامتر قابل مشاهده كليدى اين روش، فاز تداخلسنجى راداری (φ) میباشد که از ترکیب دو تصویر با اختلاف φ زمانی یا مکانی مشخص بدست میآید. با استفاده از جابجاییهای سطح زمین با دقت زیر سانتیمتر قابل برآورد میباشد. پارامترهای بسیاری در فاصلهی زمانی φ بین دو تصویر تغییر می کنند که می توانند بر سیگنال تأثیر گذار باشند و نهایتا باعث خطا در برآورد جابجایی با استفاده از این روش گردند [۱]. تغییر رطوبت سطح خاک در زمان میان دو تصویر، بر فاز تداخلسنجی راداری تأثیر میگذارد که نتیجه آن ایجاد خطا در برآورد جابهجایی می شود که این خطا تا ده درصد طول موج رادار می تواند باشد [۲ و ۳]. با توجه به محدوده طيف الكترومغناطيس مورد استفاده در سنجندههای راداری که از طول موج ۳ تا ۳۰ سانتیمتر میباشد این خطا از ۳ میلیمتر تا ۳ سانتیمتر می تواند باشد که با توجه به این مقدار، بزرگی این خطا می تواند از دقت تخمین جابهجایی یا حتی خود جابهجایی بیشتر باشد [۴ و ۵].

محققان جابجایی برآورد شده توسط روش تداخل-سنجی که بدلیل آبیاری را هنگام کار با دادههای SEASAT بوده است را در سال ۱۹۸۹ گزارش کردند، که نشان میدهد رابطه ای بین تغییرات رطوبت سطحی خاک (ΔM_v) و φ ، حداقل از سال ۱۹۸۹ شناسایی شده است [۶]. با این وجود، مطالعات کمی در مورد تأثیر تغییر رطوبت بر φ صورت گرفته است، درحالی که مطالعات گسترده ای بر خطاهای مداری و تأخیر تروپسفری وجود دارد [۷ و ۸]. از انجایی که

رطوبت خاک میتواند در مقیاس مکانی-زمانی بسیار کوچک تغییر قابل توجه ای کند نمیتوان از روشهای فیلترینگ مکانی برای کم کردن تأثیرات تغییرات رطوبت بر فاز تداخلسنجی استفاده کرد [۸، ۹ و ۱۰]. گابریل و همکاران (۱۹۸۹) در ابتدا فرض کردند که تغییرات رطوبت سطح خاک بر روی سیگنال تداخل-سنجی اثرگذار میباشد. سپس با توجه به تغییرشکل-های تخمین زده شده با استفاده از φ ، که در زمینهای مای تخمین زده شده با استفاده از φ ، که در زمینهای فرضیه خود را اثبات کردند [۶]. بطور کلی، محققان به فرضیه خود را اثبات کردند [۶]. بطور کلی، محققان به دو دلیل علاقهمند به مطالعه تأثیر تغییر رطوبت سطح خاک بر φ هستند:

۱- تصحیح خطای مربوطه در فرآیند تخمین جابجایی ۲- استفاده از پتانسیل روش تداخلسنجی برای نظارت بر ۵*M*_v.

سه قابلیت مشاهداتی در روش تداخل سنجی راداری φ ، همدوسی، و فاز سهگانه میباشد که برای بررسی رابطه بین ΔM_v و arphi مورد استفاده قرار میگیرند [۲ و ۱۱]. ΔM_v همه مشاهدات روش تداخل سنجی راداری به حساس هستند، در حالی که تنها arphi تحت تأثیر تغییر شکلها (جابجاییهای هندسی سطح) قرار میگیرد [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. فاز سه گانه، به عنوان یکی از مشاهدات تداخلسنجی راداری، میتواند برای سه یا چند رادار بدست آید [۱۴ و ۱۵]. از مشاهدات تداخل-سنجی راداری که نسبت به جابجایی حساس نیستند، میتوان برای اصلاح φ و از این رو اصلاح تخمین جابجایی استفاده کرد [۱۱]. اسکات هنسلی و همکاران (۲۰۱۱) دادههای تداخلسنجی قطبیده با عبور تکراری تولید شده از پروازهای UAVSAR را با اندازه گیریهای φ و ΔM_v و میان ΔM_v و ΔM_v مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشاندهندهی رابطه مستقیم بین ΔM_v و arphi بوده است [۱۶]. بارت و

[\] Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar

^r Repeat-pass polarimetric-interferometric

همکاران (۲۰۱۳) از تداخلسنجی راداری برای تخمین در مناطق کشاورزی استفاده کرد. نتایج ضرایب ΔM_v همبستگی ۵۱ $R = \cdot_i$ و $R = \cdot_i$ با توجه به انواع محصولات را نشان داد که دلیل کم شدن دقت، فاصله زمانی-مکانی زیاد بین جفت تصویرها بوده است. در واقع، ورود اجزاى مزاحم همچون تغييرات پوشش خاک و تاثیرات مدل رقومی زمین بر فاز تداخلسنجی باعث کاهش دقت شده است [۱۲]. در سالهای اخیر تحقیقات ارزشمندی در این زمینه انجام شده است. دی زن و همکاران (۲۰۱۴) مدلی را بر اساس امواج صفحه ارائه داد که عدد موج پیچیده عمودی موجود در خاک را به عنوان تابعی از ویژگیهای هندسی و دی الکتریک و کوهرنس پیچیده تداخل مدلسازی میکند. در این مقاله نتایج با دادههای هوایی SAR اخذ شده از باند L ارزیابی شدهاند [۵]. سایمون زویبک و دیگران (۲۰۱۵) از دو مجموعه داده هوایی در باند L برای بررسی ارتباط بین ΔM_v و φ ، همدوسی و همچنین فاز سهگانه با استفاده از روشهای رگرسیون استفاده کرد. نتایج نشان داد که وابستگی ϕ برای بیش از ۷۰ درصد از مزارع در قطبش HH، ۵۳ درصد از مزارع در قطبش VH و بیش از ۶۴ درصد از مزارع در قطبش ۷۷ معنی دار بود [۷]. سیمون زویبک و همکاران (۲۰۱۷) تحلیل میکنند که آیا میتوان رطوبت خاک را از سه مشاهدات تداخل-سنجی راداری، با هدف جداسازی اثرات ΔM_v و ΔM_v جابجایی بر روی φ ، تخمین زد. آنها سعی کردند را از سه مشاهده تداخلسنجی راداری تخمین بزنند بدون اینکه هیچ فرضی در مورد پویایی زمانی – مکانی پیچیده آن داشته باشند. نتایج نشان میدهد که سری زمانی ΔM_v تا یک جبران کلی را میتوان توسط فاز مرجع تداخلسنجی راداری تخمین زد، همبستگی تقریبی ۰٫۷۵ – ۰٫۷۰ با اندازهگیریهای زمینی نتیجه داده شده است. از آنجا که تنها φ میتواند وسیله مناسبی برای ΔM_v باشد، آنها نتیجه گرفتند که تنها با استفاده از مشاهدات تداخلسنجی راداری، جدایی جابجاییها و ΔM_v در عمل دشوار است [11]. دی زن

و همکاران (۲۰۱۸) برای اولین بار از فاز سه گانه با استفاده از مجموعه ای از تصاویر -PALSAR / PALSAR ی باند L برای بازیابی ΔM_v استفاده کرد. در این 2تحقیق، آنها نشان میدهند که ابهاماتی برای تخمین فقط با استفاده از فاز سه گانه وجود دارد. آنها از ΔM_v همدوسی برای حل اثر ابهامات استفاده کردند. نتایج با زمینی ارزیابی شد و نشان داد که درجه بالایی از ΔM_v همبستگی وجود دارد [۸]. مولان و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر خواص آماری ΔM_v را بر همدوسی و فاز سهگانه مطالعه کردند تا بررسی کند آیا با استفاده از همدوسی و فاز سهگانه می توان ΔM_v را تخمین زد. نتایج نشان میدهد که کاهش همبستگی فاز سه گانه و با افزایش در ΔM_v رخ میدهد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که نتایج متنوع برای φ ، همدوسی و فاز سه گانه با نوع پوشش زمین ارتباط دارد. به طور کلی، نتایج نشان دادند که همدوسی و فاز سه گانه ابزار نامناسبی برای تخمين ΔM_v هستند [۱۷].

با توجه به اینکه تأثیر ΔM_v بر φ را در زمینهایی با پوشش گیاهی مختلف در هیچ تحقیقی به صورت اختصاصی بررسی نشده است، در این تحقیق تأثیر ΔM_v بر φ در قطبیدگیهای مختلف و در پوششهای گیاهی مختلف در باند L مورد بررسی و بحث قرار گرفته است. در این تحقیق پس از در نظر گرفتن فرضیاتی راجع به اجزای سیگنال فاز تداخلسنجی راداری، با استفاده از یک مدل رگرسیونی رابطه میان فرنگی، علفهای هرز، گندم، و زمین بایر بررسی شده فرنگی، علفهای هرز، گندم، و زمین بایر بررسی شده است. نتایج مدل رگرسیونی با استفاده از دادههای است. نتایج مدل رگرسیونی با استفاده از دادههای اندازه گیری شدهی زمینی در کمپین زمینی کانادا برای رطوبت خاک در سال ۲۰۱۰ (*CanEx-SM10*) ارزیابی شده است.

Closure or triple phase

^x Canadian Experiment for Soil Moisture in 2010

سال هشتم ● شماره چهارم ● زمستان ۱۳۹۹

در این مطالعه، در بخش اول مقدمه ارائه شده است. سپس در بخش دوم خلاصه ای از تئوری تکنیک تداخلسنجی ارائه شده است. در ادامه منطقه مورد مطالعه و دادههای مورد استفاده ارائه شده است. بخش چهارم روش مورد استفاده در این پژوهش بیان شده است و سپس در بخش پنجم نتایج بدست آمده ارائه و بحث شده است. در نهایت در بخش ششم نتیجه گیری کلی پژوهش آورده شده است.

۲- تداخل سنجی راداری

φ با استفاده از ترکیب دو تصویر مختلط راداری (SLC)
با اختلاف زمانی یا مکانی معین محاسبه می گردد. در
یک سیستم راداری تمام پلاریزه، هر پیکسل مختلط
SLC، یک ماتریس مختلط S میباشد که در رابطه (۱)
تعریف می گردد [۱۸]:

رابطه (۱) (۱) $S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix}$ (۱) همچنین هر پیکسل مختلط SLC میتواند به صورت یک بردار پراکنش T [S_{HH} S_{HV} S_{VV}] T تعریف شود [A1]. در یک سیستم پلاریمتری، اگر mp و np د q دو بردار پراکنش از دو تصویر مختلط SLC باشند، انگاه سیگنال تداخلسنجی راداری را میتوان با استفاده از ماتریس کوریانس $\langle n, q \rangle = (q_n q_n^T)$ (جاییکه + اپراتور ماتریس میباشد) و (۲) بدست آورد [1]:

رابطه (۲)

$$\begin{split} \gamma_{n,m}(\omega) = \frac{\omega^{\dagger}c_{n,m}\omega}{\sqrt{(\omega^{\dagger}c_{n,n}\omega)(\omega^{\dagger}c_{m,m}\omega)}} = |\gamma_{n,m}(\omega)|e^{j\varphi_{n,m}(\omega)} \\ \end{array}$$

غیره)، تغییرات اتمسفر و نویز و خطای مداری است [۱، ۲۰، ۲۱ و ۲۲]. بنابراین در این تحقیق همانند تحقیقات قبلی سیگنالهای تشکیلدهندهی φ را بدین گونه تعریف میکنیم [۷، ۸، ۲۳ و ۲۴]: ۱- اثرات تغییرات هندسی سطح زمین (که عمدتا بدلیل جابجایی)، ۲- اثرات تغییرات الکتریکی سطح زمین که موجب تغییرات پراکنشی در سیگنال رادار میشود (عمدتا بدلیل vMو تغییرات پوشش گیاهی)، ۳-وجود خطا در مدل ارتفاعی مورد استفاده در حذف اثر توپوگرافی از اینترفروگرام، ۴- اثرات اتمسفر، ۵- اثرات مدار، و اثرات نویز.

 $\varphi_{DInSAR} = (\Upsilon)$ $\varphi_{def} + \varphi_{Diel_soil} + \varphi_{veg} + \varphi_{topo_res} + \varphi_{atm_d} + \varphi_{orb_d} + \varphi_{noise}$

در رابطه(۳)، φ_{def} جمله فازی مرتبط با تغییر شکل هندسی سطح را مدل می کند [۲۵ و ۲۶]. φ_{Diel_soil} جمله فاز مربوط به تغییرات دی الکتریکی سطح خاک را برای φ مدل می کند، و φ_{veg} تغییرات فاز را به دلیل اثرات تغییرات پوشش گیاهی مدل می کند [۷ و ۲۴]. اثرات تغییرات پوشش گیاهی مدل می کند [۷ و ۲۴]. φ_{topo_res} مؤلفه باقیمانده در اثر خطای توپوگرافی (RTE) است [۲۰]. b_ord و b_ma به ترتیب جمله-های فازی متأثر از تفاوت خطای مداری و فاز جوی در دو زمان را مدل می کند [۲۰ و ۲۲].

۳- مواد

در این مطالعه، از دادههای تمام قطبیدگی اخذ شده در باند L توسط سنجنده UAVSAR همراه با دادههای زمینی اندازه گیری شده در کمپین CanEx-استفاده شده است [۲۷]. دادهها در کمپین -CanEx SM10 در منطقه کناستون¹ در استان ساسکاچوان

^{&#}x27;Kenaston

(SK¹) در کشور کانادا اخذ شده است. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه در این کمپین را نمایش میدهد. در این کمپین اندازه گیری زمینی مشخصات پوشش گیاهی و سطح خاک از تاریخ ۲ ژوئن تا ۱۴ ژوئن ۲۰۱۰ برای پشتيباني از فرايندهاي توسعه الگوريتم، اعتبار سنجي و کالیبراسیون برای ماموریتهای ماهواره ای SMOS و SMAP جمع آوری شد [۲۷]. این منطقه توسط چمنزارها ، مراتع و مزارع کشاورزی دیم پوشانده شده است. در منطقه به دلیل اینکه عمدتا جنس خاک لومی می باشد تورم و جمع شدن گسترده ای در رفتار خاک در رطوبتهای مختلف انتظار نمی رود [۱۱ و ۲۷]. محيط زيست كانادا با استفاده از از حسگر استيون پروب ۲۲ در اعماق ۵، ۲۵ و ۵۰ سانتیمتر برای اندازه-گیری دادههای زمینی رطوبت سطحی خاک در ایستگا-های مختلف استفاده شده است. دقت اخذ داده این حسگرها (m^{+3}/m^{-3}) می اشد (m^{+3}/m^{-3}) [۲۷]. اندازه گیریهای زمینی از ویژگیهای پوشش گیاهی و خاک از جمله ارتفاع پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ (LAI)، زیست توده (b) و دمای خاک (T)، و رطوبت سطح خاک در ارتفاعهای مختلف، تراکم خاک، زبری سطح خاک (S) اندازه گیری شده اند. زمان اندازه-گیری دادههای زمینی بسیار به زمان اخذ دادههای هوایی نزدیک میباشد (اختلاف زمانی اخذ داده زمینی و هوایی برای تمامی نمونهها کمتر از ۱۵ دقیقه می-باشد) [۲۷]. در این مطالعه از اندازه گیریهای حسگر عمودی ۰ تا ۵ سانتی متری استفاده شده است. در این کمپین از سه مزرعه گندم ، سه مزرعه کلزا ، یک مزرعه علفهای هرز ، یک مزرعه نخود و سه مزرعه بایر استفاده شده است که تمامی این مزارع یا بدون پوشش بودند یا تا حدی با مواد باقی مانده محصول پوشیده شده بودند [۲۷]. از آنجا که اختلاف زمانی در این

کمپین کمتر از ۱۱ روز (در بیشترین حالت ۱۱ روز) است ، تغییرات پوشش زمین قابل اغماض است. شرایط هواشناسی و دامنه ΔM_v در زمان اخذ تصویر در جدول(۱) ارائه شده است.

baseline المن الخذ شده با UAVSAR (باند L) اخذ شده با شش تصویر AVSAB (باند L) اخذ شده با ۲۰۱۴ ژوئن مکانی فضایی تقریبا صفر از تاریخ ۲ ژوئن تا ۱۴ ژوئن برای این مطالعه موردی استفاده شده است. جدول (۱) خصوصیات بیشتری از تصاویر را ارائه میدهد. دادههای UAVSAR استفاده شده در این کمپین دارای قطبیدگی کامل میباشند (۷۷، ۲۷، ۲۷ ملا) و دارای توان تفکیک مکانی ۸/۰ متر در آزیموت و ۲۷) و دارای توان تفکیک مکانی ۸/۰ متر در آزیموت و یا ۲۸ متر در دامنه هستند. اندازه گیریهای زمینی ویژگیهای سطح خاک (به عنوان مثال رطوبت سطح ویژگیهای سطح خاک (به عنوان مثال رطوبت سطح پوشش گیاهی (به عنوان مثال ارتفاع پوشش گیاهی، ناخص سطح برگ (LAI) و زیست توده (d)) و نوع محصول برای بیشتر مزارع در حین اخذ دادهها در دسترس است [۲۷].

با توجه به هدف مقاله، الگوی زمانی ΔM_v و الگوی زمانی φ_{DInSAR} در شکل (۲) به منظور بررسی نحوه تغییرات دو این پارامتر در زمان نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده میشود الگوی زمانی ΔM_v با تنوع φ_{DInSAR} سازگار است. در این شکل پیشرفت زمانی رطوبت سطحی خاک و φ_{DInSAR} را در سه نمونه نشان داده شده است. در این شکل، همه اختلافها با توجه به ناده شده است. در این شکل، همه اختلافها با توجه به ناده شده است. در این شکل، همه اختلافها با توجه به ناد. در این مطالعه از اندازه گیریهای رطوبت سطحی خاک در ۲۰ تا ۵ سانتی متر خاک استفاده شده است که روش تحلیلها در بخش روش توضیح داده شده است.

بررسی تأثیر تغییرات رطوبت خاک بر فاز تـداخلسـنجی... صادق رنجبر و مهدی آخوندزاده هنزائی

^{&#}x27; Saskatchewan

^x Steven's Water Hydra Probe 2

سال هشتم • شماره چهارم • زمستان ۱۳۹۹



شکل۱: اینترفروگرام بین روزهای ۱۵۶ و ۱۵۹ سال در منطقهی مورد مطالعه در سایت CanEx-SM10 و موقعیت ایستگاههای اندازهگیری دادههای زمینی در این منطقه

جدول۱: مشخصات تصاویر هوایی و شرایط هواشناسی در زمان اخذ دادهها (IA_{CS}: بازهی زاویه برخورد در منطقه مورد مطالعه، *M_v:* میانگین رطوبت حجمی سطح خاک، *days P:* میانگین بارش در سه روز).

تاريخ	IACS (degree)	3-days P (mm)	Μ _v (vol. %)	دما (<i>C</i> °)	
۰۵ ژوئن ۲۰۱۰	[37] [39] [30] [30] [30] [30] [30] [30] [30] [30	•	۲۸٬۰	١٣,٧	
۰۶ ژوئن ۲۰۱۰	[36] [36] [36] [36] [36] [36] [36] [36]	•	TV,TD	14,4	
۰۹ ژوئن ۲۰۱۰	[79,47 - 47,19]	۱٩,۴	٣٣٫۵	۱۲٫۸	
۱۳ ژوئن ۲۰۱۰	[31/14 - 41/15]	۱۷,۶	41/9	۱۱,۹	
۱۴ ژوئن ۲۰۱۰	[31/44 - 41/25]	۶٫٣	$\mathbf{T}\mathbf{q}_{\mathbf{r}}\mathbf{T}\mathbf{v}$	۱ ۱٫۲	
۱۵ ژوئن ۲۰۱۰	[41/44 - 41/26]	•	۳۰ , λ	۱۱/۳	



شکل۲ : تغییرات زمانی *φ* در قطبیدگی HH و رطوبت سطحی خاک را برای سه نمونه در کمپین ۱۰CanEx-SM نمایش میدهد. تمامی محاسبات با توجه به تصویر پایه در ۱۶۵ امین روز سال انجام شده است. میلههای آبی میزان بارندگی اندازهگیری شده در زمین بایر شماره یک در این منطقه را نشان میدهند.

۴- روش

برای دستیابی به هدف اصلی مقاله در این تحقیق داده-های زمینی رطوبت سطح خاک و φ محاسبه شده با یکدیگر مقایسه شده و به صورت اماری بررسی میشوند. در تحلیل اماری دادهها پس از محاسبهی اینترفروگرام-ها ابتدا φ و رطوبت زمینی اندازهگیری شده به صورت متقابل استخراج میشوند. سپس در نمودارهای نقطه ای انها نمایش داده و بررسی خواهد شد. پس از ان با در نظر گرفتن فرضیاتی، که در بخش بعد توضیح داده شده اند، رابطه بین رطوبت سطحی خاک و φ راداری با مدلی رگرسیونی بررسی شده است.

۴-۱- فرضیات در نظر گرفته شده

به منظور کاهش پیچیدگی رابطه (۳)، و برای سهولت و امکان اجرای محاسبات در این مطالعه، برخی مفروضات مربوط به اجزای فاز در رابطه (۳) در نظر گرفته شده است. چنین فرضیاتی در مطالعات قبلی مربوط به این مبحث در نظر گرفته شده است [۵، ۷، ۸، ۱۱ و ۱۳]. خطای حذف این مؤلفهها با روشهای موجود، که به دلیل بازهای کوچک مکانی-زمانی بسیار ناچیز و قابل اغماض هستند، باعث کاهش ارتباط بین رطوبت سطح حاک و φ و زیاد شدن سهم اجزای مزاحم میشود. بنابراین ، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است تا مقدار این اجزای مزاحم را به حداقل برساند و از کاهش ارتباط بین رطوبت سطح خاک و φ جلوگیری کند [۷ و ارتباط بین رطوبت سطح خاک و φ جلوگیری کند [۷ و

۴-۲- اجزای مزاحم

با توجه به خطوط بازهای مکانی-زمانی بسیار کوتاه، اجزای فاز φ_{orb_d} , φ_{atm_d} , φ_{topo_res} , φ_{def} اجزای فاز φ_{orb_e} (۳) در محاسبه در نظر گرفته نشده اند. اندازه این اجزا در مقایسه با سهم ΔM_v و تغییرات پوشش گیاهی در باز کوتاه مکانی-زمانی برای تشکیل φ بسیار ناچیز میباشد [۱۱ و ۲۴]. پس از استفاده از برخی روشهای موجود برای حذف φ_{atm_d} و کانی)، یا کاهش φ_{noise} (به عنوان مثال ، فیلترهای مکانی)،

ارتباط بین رطوبت سطح خاک و φ به شدت کاهش یافت. بنابراین ، به دلیل وارد کردن خطاهای اضافی که ارتباط بین ΔM_v و φ را بشدت تحت تأثیر قرار می-دهند، بمنظور وارد نشدن اجزا مزاحم، حذف این اجزا در این تحقیق در نظر گرفته نشده است. به هر حال، روشی مبتنی بر توزیع نرمال دو متغیره بر اساس توزیع نرمال ΔM_v و φ در نظر گرفته شده است تا با حذف دادههای غیرعادی مانند نویز ، سهم اجزای مزاحم به حداقل رسانده شوند. این روش در یک بخش جداگانه در ادامه توضیح داده شده است. از آنجا که فاصله زمانی برای همه جفتهای کمپین CanEx-SM10 کمتر از ۱۱ روز میباشد، φ_{def} قابل اغماض تلقی شده است. همچنین جملههای $arphi_{topo}$ و $arphi_{topo_res}$ نیز بدلیل پایه مكانى صفر بين جفت تصاوير تداخلسنجى رادارى ناچیز در نظر گرفته شده است، بطور کلی مقدار این مؤلفهها در مقایسه با سهم ΔM_v بسیار ناچیز است [77].

+-7- جزء مربوط به تغییرات رطوبت سطح خاک با توجه به تأثیرات قابل توجه مؤلفه تغییرات رطوبت سطح بر φ ، به خصوص با پایه زمانی بسیار کوتاه و پایه مکانی صفر، فقط این مؤلفه در مدل رگرسیونی در این مطالعه در نظر گرفته شده است. نفوذ بالای باند *L* در پوشش گیاهی باعث میشود که تغییرات جزئی این مؤلفه برای رادار با این طول موج، نامرئی به نظر برسد که باعث میشود ΔM_v در این باند تأثیرات بیشتری بر تغییرات سیگنال رادار در زمینهای پوشش گیاهی بسیار کم داشته باشد [۱۱، ۲۸ و ۲۹].

چهار فرضیه در مورد روند فیزیکی اساسی سیگنال رطوبت خاک وجود دارد. این فرایندها بر اساس اثرات تغییرات رطوبت خاک بر موج ارسالی رادار گرفته شده است. این فرایندهای فیزیکی لزوماً از یکدیگر جدا نیستند. تمرکزی بر پیاده سازی این فرایندها و مدل-سازی آنها نخواهد بود و برای واضح تر شدن تاثیرات این فرایندها نشان داده شده اند. در این مطالعه

سال هشتم ● شماره چهارم ● زمستان ۱۳۹۹

مدلسازی بین ΔM_v و φ با یک مدل رگرسیونی انجام شده است. زیرا ، مدل رگرسیون خطی نتایج مناسبی را در ارائه داده است (۷، ۱۱و ۲۴].

(Null) فرضیه صفر (Null)

فرضیه صفر (به صورت شماتیک در شکل (۳- الف) نشان داده شده است) بیان می کند که هیچ رابطه ای بین ΔM_{ϱ} و φ وجود ندارد. بیشتر مطالعات تداخل-سنجی با هدف برآورد جابجایی این فرضیه را فرض کرده اند ، جایی که تاثیرات ΔM_{ν} ناچیز فرض می شود [13].

۴-۳-۲ - تأثیر چرخه خیس شدن / خشک شدن بر رفتار تورم

تأثير ΔM_v بر فاز تداخی که الگوهای آن با واحدهای هیدرولوژیکی مطابقت دارد به عنوان جابجایی شناخته شده است [۶ و ۳۰]. انواع مختلف خاک پس از خیس شدن بیشتر (به عنوان مثال رس مونتموریلونیت) متورم می شوند [۳۱، ۳۲ و ۳۳]. چنین تغییر شکل هایی، با استفاده از دادههای زمینی و با استفاده از DInSAR مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند [۳۴]. شکل (۳-ب) افزایش حجم خاک را به دلیل رطوبت نشان می-دهد. اثرات ΔM_v بر روی کوهرنس، به مکانیزم دقیق بستگی دارد: جابجایی یکنواخت منجر به کم شدن همبستگی در کوهرنس نمیشود، در حالی که تغییر غیر یکنواخت به راحتی می تواند کم شدن همبستگی را نشان دهد. بر این اساس، این تغییر شکلها به انواع مختلف خاک بستگی دارد [۳۳]. علاوه بر این، حساسیت φ به این اثرات به شدت به طول موج رادار بستگی دارد [۱۶].

Pene^۱) عمق نفوذ (Pene^۱)

عمق نفوذ سیگنال به نوع خاک و شرایط آن بستگی دارد و نفوذ سیگنال به خاک جذب کننده کم می شود [۳۰]. هنگامی که خاک یکنواخت است، می توان نفوذ

سیگنال را به عنوان تابعی از طول موج و ثابت دی الكتريك مدل كرد. وابستگى نفوذ سيگنال به رطوبت سطح خاک توسط بسیاری از محققان مدل سازی شده است [۳۵]. فرضیه عمق نفوذ اظهار دارد که با تغییرات رطوبت سطح خاک، عمق نفوذ موج تغییر میکند که باعث تغییر در پراکنش موج و در نتیجهی آن تغییر در فاز موج می گردد (شکل (۳- ج) را ببینید). ابهام نحوه ارتباط عمق نفوذ با φ قابل مشاهده است و غیرقابل پیش بینی بودن کوهرنس مشکل ذاتی در این روش $M_v = \omega$ است. به عنوان مثال در شرایط خاک مدل $M_v = 0.4 \ m^{+3} \ m^{-3}$ و $0.1 \ m^{+3} \ m^{-3}$ هالیکاینن^۲ عمق نفوذ ۴ سانتی متر و ۲ سانتی متر در باند ، به ترتيب پيش بيني مي کند، و مدل پېلينسکې Lپیش بینی میکند که برای دو شرایط به ترتیب ۱۳ سانتی متر و ۵ سانتی متر باشد [۲۸ و ۲۹]. البته تمام مطالعات انجام شده تاکید میکنند که طول موج راداری رفتار متفاوتی در نفوذ در خاکهای مختلف نشان میدهند [۲۸ و ۳۶].

(Diet) مکانیسم دی الکتریک (Diet)

بردار موج پیچیده تحت تأثیر ویژگی دی الکتریک یک محیط قرار می گیرد: تأثیرات جو اتمسفر بر روی φ اندازه گیری شده از طریق DInSAR یک مثال میباشد. رودانت و همکاران این ایده را که خواص دی الکتریک به طور قابل توجهی به رطوبت سطح خاک بستگی دارد، گسترش داد [۳۷]. دی زن و همکاران (۲۰۱۴) در مدلسازی پراکندگی مرتبه اول کوهرنس را در خاک ناهمگن انجام داد: این مدلسازی با استفاده از تعداد زیادی پراکندگی در خاک انجام شد [۵]. فرضیه مکانیسم دی الکتریک (به صورت شماتیک در شکل(۳-د) نشان داده شده است) بیان میکند که تغییرات ثابت دی الکتریک بر موج ارسالی توسط رادار به شدت تاثیر میگذارد. پیش بینی شده است که تغییر در خصوصیات

[\] Penetration

^۲ Hallikainen

بررسی تأثیر تغییرات رطوبت خاک بر فاز تداخل سنجی... مادق رنجبر و مهدی آخوندزاده هنزائی مادق رنجبر و مهدی آخوندزاده هنزائی دی الکتریک منجر به تغییرات φ میشود، حتی اگر هیچ ناهمگنی در خاک وجود نداشته باشد [۵]. (2012) میچ ناهمگنی در خاک وجود نداشته باشد [۵]. (2014) محیون *SAR* (2014) محیون *SAR* (2014) برای همه جفتهای احتمالی در (2014) محیون می الاعات بیشتر را از خصوصیات مجموع ماد برای محمد می دهد. (2014) محیون *SAR* (2014) برای محمد می دهد. (2014) محیون *SAR* (2014) محیون *SAR* (2014) محیون *SAR* (2014) ماد برای محمد جفتهای احتمالی در (2014) محیون *CanEx-SM10* (2014) *CanEx-SM10 (2014) <i>CanEx-SM10 (2014) <i>CanEx-SM10 (2014) <i>CanE*

شکل۳: نمایش تأثیرات چهار فرضیه بر arphi ، قهوه ای روشن: خاک خشک ، قهوه ای تیره: خاک مرطوب.

(ب) رفتار تورم

(الف) صفر

(ج) عمق نفوذ

∆T: فاصله	صوير پيرو،	:: تاريخ ت	پایه، SID	تصوير	№: تاريخ	نماها (ID	تداخل	دهنده	تشكيل	جفتهای	شخصات	جدول۲: م
			.(بمەدەر	مکانہ ء	اەت بايە	PBD: تف	زماني، ا				

شماره	MID	SID	ΔT (day)	PBD						
١	۰۵ ژوئن ۲۰۱۰	۰۶ ژوئن ۲۰۱۰	١	•						
٢	۰۵ ژوئن ۲۰۱۰	۰۹ ژوئن ۲۰۱۰	۴	•						
٣	۰۵ ژوئن ۲۰۱۰	۱۳ ژوئن ۲۰۱۰	٨	•						
۴	۰۵ ژوئن ۲۰۱۰	۱۴ ژوئن ۲۰۱۰	٩	•						
۵	۰۵ ژوئن ۲۰۱۰	۱۵ ژوئن ۲۰۱۰	۱.	•						
۶	۰۶ ژوئن ۲۰۱۰	۰۹ ژوئن ۲۰۱۰	٣	•						
٧	۰۶ ژوئن ۲۰۱۰	۱۳ ژوئن ۲۰۱۰	٧	•						
٨	۰۶ ژوئن ۲۰۱۰	۱۴ ژوئن ۲۰۱۰	٨	•						
٩	۰۶ ژوئن ۲۰۱۰	۱۵ ژوئن ۲۰۱۰	٩	•						
١.	۰۹ ژوئن ۲۰۱۰	۱۳ ژوئن ۲۰۱۰	۴	•						
11	۰۹ ژوئن ۲۰۱۰	۱۴ ژوئن ۲۰۱۰	۵	•						
١٢	۰۹ ژوئن ۲۰۱۰	۱۵ ژوئن ۲۰۱۰	۶	•						
١٣	۱۳ ژوئن ۲۰۱۰	۱۴ ژوئن ۲۰۱۰	١	•						
14	۱۳ ژوئن ۲۰۱۰	۱۵ ژوئن ۲۰۱۰	٢	•						
۱۵	۱۴ ژوئن ۲۰۱۰	۱۵ ژوئن ۲۰۱۰	١	•						

(د) مکانیزم دی الکتریک

سال هشتم ● شماره چهارم ● زمستان ۱۳۹۹

۴–۵–فیلتر آماری جهت حذف سهم اجزای مزاحم در این تحقیق یک فیلتر آماری مبتنی بر توزیع نرمال دو متغیره در نظر گرفته شده است تا با حذف دادههای نویزی، سهم اجزای مزاحم را حذف کند. در تئوری و آمار احتمال، بعد بالاتر از توزیعهای نرمال یک بعدی، توزيع نرمال چند متغيره است. از توزيع نرمال چند متغیره می توان برای توصیف مجموعه ای از متغیرهای مقدار واقعى استفاده كرد كه احتمالاً مىتوانند با هم همبستگی داشته باشند [۳۸ و ۳۹]. توزیع نرمال دو متغیره نوعی توزیع طبیعی دو متغیره است که در این مطالعه برای شناسایی دادههای نویزی استفاده شده است [۳۹]. شکل (۴) چگالی دو متغیره رسم شده بین و arphi بیضی را نشان میدهد. هرچند این نمودار ΔM_v مربوط به توزيع دو متغيره φ و تغييرات رطوبت در یک زمین بدون پوشش گیاهی با فاصله زمانی بسیار كوتاه مى باشد (بهترين حالت ممكن مى باشد). از اين فیلتر تنها در جهت حذف سهم اجزای مزاحم استفاده شده است و مدلسازی به استفاده از یک تابع رگرسیونی که در ادامه توضیح داده خواهد شد استفاده شده است. توزيع نرمال دو متغيره بين ΔM_v و φ ، تابع چگالی احتمال این پارامترها را نشان میدهد که دادههای نویزی را می توان با در نظر گرفتن مقدار درست برای (۴) پارامتر تصمیم گیری α ، به راحتی حذف کرد. شکل توزيع رطوبت سطح خاک و φ و توزيع نرمال دو متغيره این دادهها را نشان میدهد، که نشان میدهد نقاط پراکنده سبز در منطقه توزیع نرمال دو متغیره می-باشند و به عنوان دادههای نرمال در تجزیه و تحلیل استفاده شدهاند و نقاط پراکنده قرمز به عنوان دادههای نویزی شناخته شده و برای تجزیه و تحلیل در نظر گرفته نشده است. پارامتر تصمیم گیری α مربوط به نرمال بودن در α=۰٬۰۵ و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای حذف سهم اجزای مزاحم در همه تحلیلها از جمله تحلیلهای پراکندگی، برآورد مدل و روند ارزیابی در نظر گرفته شده است.



شکل۴: توزیع دادههای ΦM_v و Ø بر توزیع نرمال دومتغیره آنها، در تجزیه و تحلیلها از پراکندههای سبز استفاده می-شود و موارد قرمز به عنوان اجزای مزاحم شناخته میشوند و آنها از تجزیه و تحلیلها حذف میشوند.

$\varphi = 4 - 8 - 8 - 8 - 8 - 8 - 8$ و φ

نمودارهای نمودار پراکندگی برای پارامترهای ${}^{}M\Delta \ e \ \varphi$ در پلاریزههای مختلف و در انواع مختلف پوشش گیاهی برای تحلیل تجسمی رابطه احتمالی نمایش داده می-شوند. نمودارهای پراکندگی در بخش نتایج ارائه شده و مورد بحث قرار گرفته اند. علاوه بر این، یک تجزیه و تحلیل کمی از کوهرنس بمنظور تعیین تأثیرات انواع محصولات، ${}^{}M\Delta \ e \ فاصله زمانی بر روی کوهرنس انجام$ شد که نمودارهای پراکندگی در بخش نتایج ارائه شدهو مورد بحث قرار گرفته اند. تجزیه و تحلیل کمیانجام شده است که میتوان عوامل تاثیرگذار بر رابطهانجام شده است که میتوان عوامل تاثیرگذار بر رابطه $نمود. در این ارزیابی، با مقایسه بین تغییرات <math>\varphi$ و کوهرنس مرتبط با نوسانات ${}^{}M$ ، منبع خطاها را می-توان تخمین زد.

به عنوان مثال ، عدم ارتباط بین ΔM_v با هر دو پارامتر φ و کوهرنس نشان دهنده یآن است که خطای وارد شده بر اساس تغییر شکل نیست زیرا کوهرنس تحت تأثیر تغییر شکل قرار نمیگیرد [۵ و ۱۱]. اما، اگر همبستگی بین کوهرنس و ΔM_v زیاد و بین ωM_λ و φ

 φ کم باشد، میتوان منبع کاهش ارتباط بین ΔM_v و ϕ ناشی از تغییر شکل دانست [۵ و ۲].

۴-۷- مدل رگرسیونی ارائه شده در این تحقیق و کالیبراسیون آن

رابطه بین ${}^{M}{}$ و φ با یک مدل رگرسیون خطی ایجاد میشود. بنابراین فرض میشود که φ را میتوان با یک مدل رگرسیون ساده به عنوان تابعی از ${}^{M}{}$ ، و یک توصیف کننده پوشش گیاهی در فاصله زمانی کوتاه مدل نمود [۷]. این رابطه سطح معناداری بالاتری برای برای تغییرات قابل توجه رطوبت سطح خاک را از خود نشان میدهد. هرچند در این تحقیق، بیشتر مزارع یا نشان میدهد. هرچند در این تحقیق، بیشتر مزارع یا کاملا بدون پوشش بوده اند یا تا حد بسیار کمی با بقایای پوشش گیاهی پوشیده شدهاند [۲۷]. در نتیجه مهانند تحقیق در کمپین *CanExSM10* پارامتر بقایای پوشش گیاهی از مدل حذف شده است [۷ و تغییرات پوشش ناچیز زمین، همچنین فاصله زمانی بسیار کوتاه که باعث میشوند تغییرات پوشش گیاهی بسیار ناچیز باشد، و در نتیجه این تغییرات اصطلاحا برای باند *L* نامرئی باشند [۲۴ و ۴۰].

۴-۷-۱- مدل رگرسیونی

رابطه ارائه شده در تحقیق به منظور مدلسازی خطی رابطه ΔM_v و φ در این تحقیق در نظر گرفته شده است [۷] (رابطه(۴)):

 $\varphi_{ij} = \beta_{\Delta M_v} \Delta M_v + \beta_{\Delta V} \Delta V + \epsilon_{ij}$ (۴) رابطه (۴) جاییکه ضریب $\beta_{\Delta M_v}$ نشان دهنده تاثیرات ΔM_v بر φ می باشد. ضریب $\beta_{\Delta V}$ نشان دهنده تاثیرات λM_v بر φ می باشد. ϵ_{ij} پارامتر خطای اینترفرو گرام تشکیل شده بین تصاویر *i* و *j* را مدل می کند.

۴-۷-۲ بر آورد پارامترهای مدل رگرسیونی

 $\beta_{\Delta W}$ برای کالیبره نمودن مدل ۳-۳، شیبهای $\beta_{\Delta M_v}$ و $\beta_{\Delta M_v}$ باید تخمین زده شوند تا مدل رگرسیون تنظیم شود. فرایند برآورد، نیاز به دادههای اندازه گیری شده زمینی ΔM_v و تغییرات پوشش گیاهی به همراه داده محاسبه شده φ دارد [۷ و ۱۳]. هرچند در این مطالعه همانطور که در بخشهای قبل توضیح داده شد جمله پوشش

گیاهی از مدل رگرسیونی حذف گردیده است. برای برآورد پارامترهای مدل، از روش حداقل مربعات تعمیم یافته (GLS) در مدل رگرسیون خطی استفاده شده است [۴۱]. در این فرایند، بمنظور مدلسازی خطاهای رگرسیونسازی به یک ماتریس کوواریانس نیاز است (۲]، که همانند مطالعات قبلی مدلسازی شده است [۶۲]. در فرآیند کالیبراسیون، از فیلتر اماری معرفی شده در این تحقیق، جهت حذف سهم اجزای مزاحم استفاده شده است.

۴-۷-۳ ارزیابی مدل رگرسیونی

بمنظور ارزیابی مدل رگرسیونی همانند مطالعات قبلی، شاخصهای آماری ضریب تعیین^۲ (R2)، ریشه مربع میانگین خطا^۳ (RMSE)، خطای انحراف (bias) و انحراف معیار استاندارد^۴ (StDv) با مقایسه φ مشاهده شده و φ برآورد شده از طریق مدل رگرسیون تنظیم شده محاسبه شده است [۹]. در فرایند محاسبهی شاخصهای آماری، فاز اندازه گیری زمینی با فاز تخمین زده شده با استفاده از مدل رگرسیونی مقایسه شده است.

۵- نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج به همراه تحلیل آنها اورده شده است، سپس عوامل مزاحم در بررسی رابطه بین ΔM_v و φ بحث شده است.

φ و ΔM_v میان ΔM_v و σ بصورت بصری

شکل (۵) نمودارهای پراکندگی بین پارامترهای Δ*M*_v و *φ* را برای قطبیدگیهای مختلف بر زمینهایی با پوششهای گیاهی مختلف نمایش میدهند. این نمودارهای پراکندگی بمنظور تحلیل بصری رابطه بین

Generalized least square

^v Coefficient of determination

[&]quot; Root mean square error

^{*} Standard deviation

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم • شماره چهارم • زمستان ۱۳۹۹

 ΔM_v و φ رسم شده اند که بخوبی این رابطه را نشان میدهند. بمنظور بررسی جزئیتر، پلاتها برای قطبیدگیهای مختلف نشان داده شدهاند که رفتارهای متفاوتی را در قطبیدگیهای مختلف نشان میدهند. همچنین بمنظور بررسی تاثیر پوششهای گیاهی مختلف بر رابطه، نمودارها برای پوششهای گیاهی

متفاوت جدا رسم شده اند. فیلتر توضیح داده شده در بخش روش بمنظور شناسایی و حذف اثرات اجزای مزاحم اعمال شده است. با توجه به شکل(۵)، یک رابطه مثبت و تقریباً خطی را میتوان بین ΔM_{v} و φ به مشاهده کرد. محققان در مطالعات قبلی نتایج مشابهی را نشان داده اند [۷، ۱۱ و ۱۲].



شکل۵: توزیع دادههای مکلو φ را در کمپین *CanEx-SM10* نشان میدهد، پایههای زمانی مختلف(ΔT) با رنگهای متفاوت به تصویر کشیده شده اند.

با مقایسه فاصله زمانی مختلف بر رابطه بین ΔM_{v} و φ ، میتوان مشاهده کرد که افزایش فاصله زمانی باعث پراکندگی بیشتر نقاط نمودارهای پراکندگی میشود. هرچند، به دلیل فاصله زمانی بسیار کوتاه در کمپین مرچند، به دلیل فاصله زمانی بسیار کوتاه در کمپین است)، تأثیرات این پارامتر در برخی نمودارهای پراکندگی مشخص است و در برخی دیگر روند خاصی را نشان نمیدهد.

در شکل(Δ) نیز تأثیر پوششهای گیاهی مختلف بر رابطه بین ${}_{v}\Delta M_{e}$ و φ نشان داده شده است. میتوان مشاهده کرد که پراکندگی دادهها برای محصولات بترتیب کلزا > نخود فرنگی> علفهای هرز > گندم می-باشد. نتایج نشان میدهند که رابطه بین ${}_{v}\Delta M_{e} \ \varphi$ برای پراکندگیهای مرتبط با زمینهای کشاورزی بدون پوشش در یک رابطه الگوی خطی با همبستگی زیاد است. در مقایسه بین پلاریزایسونهای مختلف در

شکل(۵)، مشاهده شده است که پراکندگیها در قطبیدگی *VH* ارتباط کمتری بین *v*Δφ و *φ* نشان می-دهد اما، این ارتباط در قطبیدگی *VV* و *HH* منسجمتر و همبستگی بسیار بالاتری دارد. این نشان میدهد که قطبیدگیهای هم قطبش اطلاعات و تاثیرپذیری بیشتری از *v*Δφ دارند.

Δ–۲– تجزیه و تحلیل رابطه میان تغییرات رطوبت سطح خاک همدوسی بصورت بصری شکل(۶) تأثیر Δ*M*_v بر همدوسی به صورت بصری در انواع پوششهای گیاهی مختلف و در قطبیدگیهای

مختلف نمایش داده شده است. در این نمودارها، فاصله-های زمانی مختلف با رنگهای مختلف مشخص شده است. محققان در مطالعات قبلی نشان داده اند که کوهرنس با ΔM_v رابطه معکوس و تقریباً خطی دارد، همانطور که در شکل(۶) مشاهده میشود [۷، ۴۲ و آجا]. در این تجزیه و تحلیل همچنین، همانند شیوه تجزیه و تحلیل پراکندگیهای ΔM_v و فازتداخلی، سهم اجزای مزاحم با استفاده از فیلتر معرفی شده در بخش-های قبلی شناسایی و حذف میشوند.





با توجه به این نمودارها، با افزایش فاصله زمانی، شاهد کاهش همبستگی بین روابط ΔM_v و همدوسی نیز میباشیم. عوامل مرتبط با کاهش همبستگی و خطاها را در ادامه بطور مفصل بحث شده است. با توجه به جدول(۳) و شکل(۶) و با مقایسه همدوسی در پوشش-

های گیاهی مختلف مشاهده می شود که مقادیر همدوسی گندم < علف هرز < کلزا < نخود < زمین بایر می باشد. مطابق شکل(۶)، این می تواند مشاهده شود که مزارع نخود فرنگی ، علف های هرز و گندم در کمپین CanEx-SM10، به تر تیب همبستگی کمتری در رابطه

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم ● شماره چهارم ● زمستان ۱۳۹۹

بین ${}^{}M_{0}$ و همدوسی را نشان دادهاند که بدلیل وجود پوشش ناچیز زمینها میباشد که باعث میشود همدوسی کاهش پیدا کند. در این تحلیل میتوان نشان داد که پراکندگیهای مرتبط با زمین بایر دارای همدوسی بالاتر و همچنین همبستگی بیشتری هستند که بدلیل تغییرات بسیار کم پوشش سطح میباشد. همدوسی و φ در قطبیدگیهای مختلف به طور مشابه رفتار میکنند و این مشاهده میشود که همدوسی رفتار میکنند و این مشاهده میشود که همدوسی را نسبت به قطبیدگیهای VV و HH همبستگی بیشتری را نسبت به قطبیدگی ای نشان میدهد. بنابراین ، با توجه به نتایج پراکندگی φ و همدوسی، میتوان نتیجه گرفت که مشاهدات در قطبیدگیهای همقطبش شامل اطلاعات بیشتری برای از ${}^{}M_{0}$ میباشند. طبق جدول(۳)، تفاوت بین کمترین و بالاترین مقادیر

همدوسی در زمینهای کشاورزی با پوشش گیاهی بسیار زیاد است که این نشان میدهد که اثرات مختلف پوشش گیاهی در زمان تصویربرداری بر روی همدوسی قابل توجه است. بنابراین، توزیع پراکندهها برای همدوسی در مزارع زراعی بسیار بیشتر از مزارع بایر است. φ و همدوسی در قطبیدگیهای مختلف رفتار یکسانی دارند، به عنوان مثال، نمودارهای نمودار پراکندگی مرتبط با *HV* پراکندگی بیشتری نشان می-دهند. محققان در مطالعات قبلی نشان داده اند که طول موجهای بلندتر (یا فرکانسهای پایینتر) کمتر تحت تأثیر تغییرات بسیار کم رشد گیاه قرار می گیرند [۸۲، ۳۲ و ۴۴]. نتایج این مطالعه کاملاً مطابق با مطالعات قبلی است.

جدول(۳): بیشترین و کمترین مقادیر همدوسی در زمینهای مختلف و با پایههای زمانی مختلف (ΔT)

		پايەھاى زمانى	گندم پایههای زد		لزا	كلزا		علف هرز		نخ	باير	
		(روز)	بيشتر	كمتر	بيشتر	كمتر	بيشتر	كمتر	بيشتر	كمتر	بيشتر	كمتر
CanEx-SM10		$\Delta T < \mathfrak{k}$.۶۱	.,۲۶	.٫٧٩	./۴٧	۰,۷۵	./۴۱	./٧٣	۳۱.	۰, ۸۰	<i>۱۹</i> ۷.
	YVV	$< \Delta T < \lambda$. ۲۱	.,٣٧	.,Y٩	.,٣۶	۰,۵۶	۰٬۴۷	.,84	./۳۳	۰٫٨۴	.,۵۹
		$\Lambda < \Delta T < 1$)	۰,۸۴	.,۴۷	./٧۶	٨۴,	.,∧٣	۴۳.	.,∧٩	./۴۳	.,۸۳	., Y •
		$\Delta T < \mathfrak{P}$. _/ ۶ •	۰۲۰.	۰,۶۵	۳۳٬	./۵۵	.,۲۶	۰٫۷۴	۵۴،	., ۶ ۷	۳۶,
	γ_{VH}	$< \Delta T < \lambda$.,8۳	.,۱۵	.,Y۵	.,۲۶	۴۷.	۲۱.	۰,۵۶	۲۴,	۶٩.	۸۳٫
		$\Lambda < \Delta T < 1$)	./۴۳	., ۱۸	۴۳.	./۳۷	./47	., ۱۷	./۲۱	• ۳۰	./۶۱	.,49
	-	$\Delta T < \mathfrak{P}$.,99	.,78	۰,۶۵	۴۳.	.,۵ ∙	۵۳٫	۰٫۷۴	۳۳٫	.,۸۲	.،۵۳
	Υ _{HH}	$< \Delta T < \lambda$. ۶۱	۳۲,	.,84	۳۸,	.,۶٠	۳۳٫	.٫۵٣	۳۹,	. _/ A •	<i>۱</i> ۶۱.
		$\Lambda < \Delta T < 1$)	.,۷۵	./۵۲	.,۷۵	.,Δ۲	./۲۲	.,۵۵	.,∧٩	۰,۴۵	۰,۸۴	.,84

۵-۳- مدل رگرسیونی

در این بخش ابتدا نتایج کالیبراسیون مدل رگرسیونی اورده شده و راجع به نتایج بحث شده است. سپس در بخش بعدی این مدل را با استفاده از پارامترهای اماری ارزیابی کردهایم.

۵–۳–۱– کالیبراسیون مدل رگرسیونی

همانطور که بحث شد تنها ضرایب رگرسیون رطوبت خاک $\beta_{\Delta M_v}$ تخمین زده شده است زیرا جمله پوشش گیاهی را در رابطه (۴) را ناچیز در نظر گرفتیم. ضرایب برآورد شده $\beta_{\Delta M_v}$ برای انواع مختلف پوششهای گیاهی برای قطبیدگیهای مختلف در کمپین *CanEx-SM10* در شکل(۷) نمایش داده شده است. همانطور که

مشاهده می شود تمام ضرایب مثبت هستند، بجز یکی از آنها که در قطبیدگی VH می باشد، که در حالت کلی نشان دهندهی یک رابطه مثبت بین ΔM_v اندازه گیری شدهی زمینی و φ است. برای مثال با ضریب = $\beta_{\Delta M_v}$

رطوبت $5 \ rad \ m^{-3} \ m^{+3}$ ، با افزایش حدود vol.% $10 \ vol.\%$ رطوبت سطحی خاک، تغییرات حدود $7\lambda/8$ درجه را برای φ نتیجه می دهد.



شکل ۷: ضرایب کالیبراسیون مربوط به جمله رطوبت خاک در کمپین CanEx-SM10

۵–۳–۲–ارزیابی مدل رگرسیونی با پارامترهای آماری شکل(Λ) مقایسه بین φ برآورد شده با φ حاصل از تداخلنما را برای کمپین CanEx-SM10 با استفاده از رگرسیون خطی نشان میدهد. جدول(۴) دقت رگرسیون مدل را در کمپین CanEx-SM10 برای انواع پوششهای گیاهی مختلف به طور جداگانه نشان می-دهد. مشاهده می شود که مدل رگرسیون نتایج بهتری را برای زمینهای بایر ارائه داده است (RMSE از ۳۸ از ۲۸ رادیان تا ۰٬۶۱ رادیان، R2 از ۵۵٪ تا ۷۲٪ با توجه به قطبیدگیهای مختلف، bias از ۰٬۰۲ رادیان تا ۰٬۰۶ رادیان و StDv از ۰٬۳۸ رادیان تا ۰٬۶۲ رادیان). در مقایسه قطبیدگیهای مختلف، نتایج مرتبط با قطبیدگیهای VV و HH نیز دقت بهتری را نشان داده اند (RMSE از ۰٬۳۸ رادیان تا ۰٬۹۹ رادیان، R2 از ۴۹٪ تا ٪۷۲ با توجه به قطبیدگیهای مختلف، bias از ۲۰٫۰ رادیان تا ۰٬۴۴ رادیان و StDv از ۰٬۴۴ رادیان تا ۰٬۹ رادیان). دقت پایین تر در قطبش VH نتیجه همبستگی کمتر در نتایج بررسیهای قبلی میباشد. از انجایی که

از باند L در کمپین CanEx-SM10 استفاده شد است، نتایج دقت مناسبی را برای زمینهای پوشش گیاهی نشان میدهد، که به دلیل نفوذ پذیری بالای باند L همچنین فاصلههای زمانی بسیار کوتاه میباشد.

۵-۴- تفاوتهای میان قطبیدگیهای مختلف

اثر $_{V}M_{0}$ و $V\Delta$ بر روی همه قطبیدگیها یکسان است، اما رفتار موج در قطبیدگیهای مختلف در این تغییرات متفاوت میباشد، که به دلیل فیزیک پراکنش موج در قطبیدگیهای مختلف است. به عنوان مثال، در بخش-های تحلیل بصری پراکندگیهای φ و همدوسی مشاهده شد که در قطبیدگی V، نوسانات φ ارتباط مشاهده شد که در قطبیدگی VV، نوسانات φ ارتباط *کمتری* با $_{V}M_{0}$ نسبت به φ در قطبیدگیهای VV و *Au* نشان میدهد. این نتایج با نتایج مطالعات قبلی مطابقت دارد [۷ و ۱۱]. مشاهده میگردد که قطبیدگیهای مختلف از انواع مختلف محصولات تأثیرپذیر میباشد، برای مثال، قطبیدگی HH در زمین بایر با RMSE ا $_{V}$ -رادیان، ضریب تعیین VV.

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم • شماره چهارم • زمستان ۱۳۹۹

بهترین عمل کرد را داشته است در حالی که بدتری عملکرد مربوط به قطبیدگی *HV* در زمین با پوشش ناچیز گندم با ۱/۰۴ *RMSE* در زمین با یوشش ۲۸/۱ کارادیان، و انحراف معیار ۹۹/۰رادیان میباشد. در فرآیند کالیبراسیون در کمپین -*CanEx* میباشد. در فرآیند کالیبراسیون در کمپین در *SM10* باند *L* ضرایب تخمینی مدل رگرسیونی در قطبیدگیهای ۷۷ و *HH* بیشتر از ۷۷ است. در این اما مقادیر ضرایب در *HH* بیشتر از ۷۷ است. در این

کمپین، ضرایب مرتبط با قطبش VH تغییرات بیشتری دارند، که بی ثباتی را در رابطه بین φ در قطبیدگی VHو نشان میدهد. در بخش ارزیابی ضرایب کالیبراسیون تخمین زده شده، نتایج و دقتهای قابل اطمینانتر در قطبیدگیهای همقطبش VV و HH مرتبط هستند. قطبش VH نتایج ناپایداری را ارائه میدهد، که نتیجهی پراکندگی بیشتر در بررسی بصری در نمودارهای پراکندگی همدوسی و φ میباشد.

			H	H		VH				VV			
	#N	R2 (%)	RMSE (rad)	bias (rad)	StDv (rad)	R2 (%)	RMSE (rad)	Bias (rad)	StDv (rad)	R2 (%)	RMSE (rad)	Bias (rad)	StDv (rad)
گندم	٣٢	۵۳/۵	٠,٩۴	۳۳, ۰	۰٫۸۹	۳۸,۱	۴.	۶۳, ۰	٠٫٩٩	54/4	۰,۷۶	٠٫٣١	• / Y •
كلزا	٣٣	$\Delta\Delta_{/}A$	۲۶,۱	$- \cdot \lambda$	٠,٩٩	۴١,٠	۴, ۱	۸ ۳, • –	٠,٩٩	۵۵,۱	٠٫٩٩	-•,۴۴	۰٫٩٠
علف هرز	١٣	۵۶٬۹	۰, ۲ ۹	۳۳, • -	۰٫۷۵	۴.,.	١,٢٩	-•, ۴ ٩	•,74	۵۲٫۷	۰,۶۹	۰٬۳۸	• ,
نخود	۱۴	۴٩٫۶	۰٫۹۱	۱۴٬	٠٫٨۴	۴١,٠	٥.	-•,47	٠٫٩٩	۵٣,١	٠٫٩٢	٠٣١	۰,٩٠
باير	٣٢	۷۲٬۹	۱۹٬۰	-•,•Y	•,87	۵۵٫۶	۰,۵۷	٠٫١٣	۶۵٫	۶٩ _/ ۰	۰,۳۸	•,•۶	۰٬۳۸

جدول ۴: دقت بر آورد ضرایب کالیبراسیون در کمپین CanEx-SM10



شکل۸: نمودار رگرسیون میان فاز محاسبه شده توسط تصاویر رادار و فاز تخمین زده شده توسط مدل کالیبره شده رگرسیونی در کمپین CanEx-SM10

۵–۵– منابع خطا در مدلسازی

 φ نه تنها تحت تأثیر ${}_{v}\Delta M$ است بلکه تحت تأثیر تمام تغییراتی است که در طول فاصله زمانی بر سطح زمین رخ داده نیز میباشد، که میتواند ارتباط بین φ و ${}_{v}\Delta M_{v}$ را کاهش دهد، و در نتیجه، خطاهای بیشتری در تخمین φ با استفاده از مدل رگرسیون نتیجه دهد. در این بخش، ابتدا خطاهایی که مربوط به اجزای مؤفه فازی، مورد بحث قرار میگیرند. سپس، خطاهای مرتبط با نحوه مدلسازی انجام گرفته در این تحقیق (مدلسازی φ به عنوان یک تابع رگرسیون ساده از ${}_{v}\Delta \Phi$ و پوشش گیاهی) بحث شده است.

در این مطالعه، اجزای φ_{atm_d} ، φ_{topo_res} ، φ_{atm_d} ، φ_{topo_res} ، φ_{atm_d} ، این مطالعه، اجزای φ (رابطه (۳)) ناچیز در نظر گرفته شدند، و آنها برای کاهش پیچیدگی از رابطه ρ DInSAR حذف شده و مدل رگرسیون (رابطه(۴)) در این تحقیق معرفی شده است. اگرچه

سهم اجزای مزاحم با استفاده از فیلتر اماری معرفی شده شناسایی و حذف شدهاند، و بدین ترتیب تأثیر نمونههای نویزی در محاسبات و تحقیق کاهش یافته DEM و وضوح DEM است. خطای φ_{topo_res} به دقت DEM و وضوح φ بستگی دارد و این خطا میتواند بصورت قابل توجهی تغییر دهد [۲۰]. خطای ناشی از تأخیر اتمسفر به شرایط و بخار آب موجود در جو بستگی ($\varphi_{atm\ d}$) دارد، که این خطا میتواند بر روی سیگنال φ تأثیر بگذارد [۲۲ و ۴۵]. این خطا همچنین به فرکانس حسگر بستگی دارد، چنانکه برای فرکانسهای پایینتر، بسیار شدیدتر است [۱ و ۲۲]. با توجه به هدف این مطالعه، در طی فاصله زمانی دورههایی از بارش وجود داشته است، که باعث تغییر در شرایط جوی میشود و منجر به کاهش ارتباط بین ΔM_v و φ میشود. عدم مدلسازی پارامترهایی همچون تغییر در سرعت و جهت باد، به ویژه در مناطقی که پوشش گیاهی دارند،

نشریه علمی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم • شماره چهارم • زمستان ۱۳۹۹

میتوانند یک عامل کاهش دهندهی دقت باشد. در نتیجه، اگرچه این مدل نتایج مطلوبی را برای زمینهای با پوشش گیاهی اندک فراهم میکند، مدل رگرسیون خطی قادر به تخمین دقیق φ در زمینهای با پوشش گیاهی مخصوصا با فاصله زمانی طولانی نبوده است. این نتایج کاملاً با مطالعات قبلی سازگار است [۸ و ۴۴]. **۶- نتیجه گیری**

نقشههای جابهجایی و نرخ جابهجایی به منظور ارزیابی میزان خطرات و کمک به تصمیمگیری در مدیریت بحران استفاده میشود. در نتیجه بررسی و تحقیق راجع به استفاده از تداخلسنجی راداری به منظور تهیه نقشه جابجایی بسیار امری حیاتی میباشد. در این میان بسیاری از پژوهشگران به بررسی عوامل تأثیر گذار بر دقت استفاده از روش تداخلسنجی راداری (به منظور برآورد جابجایی) پرداختهاند. تداخلسنجی راداری یک جابهجاییهای سطح زمین را با دقت زیر سانتیمتر با ستفاده از ترکیب دو تصویر با اختلاف زمانی یا مکانی منطقه، اتمسفر، نویز، تغییر پارامترهای پویای سطح زمین (رشد پوشش گیاهی، ΔM_v) و غیره بر دقت برآورد جابجایی تأثیرگذار هستند.

در این تحقیق تأثیر تغییرات رطوبت بر φ در باند L در قطبیدگیهای مختلف مورد بررسی و بحث قرار گرفته است. در این راستا یک مدلسازی رگرسیونی بین φ و ΔM_v با در نظر گرفتن چندین فرضیه انجام شده است. φ از طریق $_v\Delta M$ در باند L با استفاده از مدل رگرسیونی تخمین زده شده است. دادههای منتسب به سنجندهی UAVSAR در باند L اخذ شده بر روی سایت تحقیقاتی کمپین CanEx-SM10 برای مقایسه نتایج استفاده شد. نتایج نشان داد که این مدل توانایی برآورد قایل اعتماد

مراجع

[2] D. Massonnet et al., "The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry," Nature, vol. 364, no. 6433, pp. 138–142, 1993.

در زمینهای بایر مخصوصا برای فاصله زمانی کوتاهتر arphi(که تغییر شکل و سایر تغییرات وابسته به فاصله زمانی ناچیز است) را داراست. همچنین کمپین -CanEx دارای باند L می باشد که به دلیل طول موج بلند SM10 و فاصله زمانی کوتاه نتایج مناسبی را در تخمین φ در مزارع با پوشش گیاهی بسیار ناچیز ارائه داده است. بهترین نتیجه مدل رگرسیونی در قطبیدگیهای VV و HH در زمین بایر با ۲۸ RMSE و ۰٫۶۱ رادیان و با ضریب همبستگی ۶۹٪ و ۷۲٬۹٪ میباشند، و بدترین نتایج مربوط به قطبیدگی VH و در زمین با پوشش ناچیز گندم با ۱٬۰۴ RMSE رادیان و ضریب همبستگی ۳۸٪ بدست امد. که این نتایج می تواند به دلیل عدم تأثیر گذاری تغییرات بسیار کم پوشش گیاهی بر طول موجهای طولانی تر مانند باند L برای فاصلههای زمانی كوتاه باشد. عوامل خطا در اين تحقيق، كه باعث كاهش دقت تخمین فاز و مدل رگرسیونی شده است، در دو گروه فهرست شده اند، (۱) فرضیات اولیه، (۲) عدم مدلسازی بسیاری از پارامترهای موثر مانند زبری ، رفتار تورم و تغییر در شرایط باد.

 $_{\nu}M\Delta$ دارای تأثیرات غیر قابل انکار بر φ است که می-تواند بشدت تخمین جابجایی را تحت تأثیر قرار دهد، چراکه این خطا می تواند از خطاهای اتمسفر، باقیمانـده-ی توپوگرافی، و همچنین نویز بیشتر باشد و یا می تواند در برخی موارد از انـدازهی جابجـایی یـا نـرخ آن نیـز بزرگتر باشد. بطور کلی، در این تحقیق نشـان داده شـد که φ تابعی مستقیم و رگرسیونی از $_{\nu}\Delta M$ می باشـد، در نتیجه، در مواردی که بررسی جابجایی و نرخ جابجـایی مقـادیر کـوچکی مـی باشـند، تغییـرات شـدید رطوبـت سطحی خاک می تواند خطـای قابـل تـوجهی حتـی بـه بزرگی جابجایی یا نرخ آن به محاسبات وارد نماید.

[1] R. F. Hanssen, Radar interferometry: data interpretation and error analysis, vol. 2. Springer Science & Business Media, 2001. صادق رنجبر و مهدی آخوندر اده هنز ائی

- [3] R. F. Hanssen, T. M. Weckwerth, H. A. Zebker, and R. Klees, "High-resolution water vapor mapping from interferometric radar measurements," Science (80-.)., vol. 283, no. 5406, pp. 1297–1299, 1999.
- [4] R. Bürgmann, P. A. Rosen, and E. J. Fielding, "Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation," Annu. Rev. Earth Planet. Sci., vol. 28, no. 1, pp. 169–209, 2000.
- [5] F. De Zan, A. Parizzi, P. Prats-Iraola, and P. López-Dekker, "A SAR interferometric model for soil moisture," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 52, no. 1, pp. 418–425, 2013.
- [6] A. K. Gabriel, R. M. Goldstein, and H. A. Zebker, "Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry," J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 94, no. B7, pp. 9183–9191, 1989.
- [7] S. Zwieback, S. Hensley, and I. Hajnsek, "Assessment of soil moisture effects on Lband radar interferometry," Remote Sens. Environ., vol. 164, pp. 77–89, 2015.
- [8] F. De Zan and G. Gomba, "Vegetation and soil moisture inversion from SAR closure phases: First experiments and results," Remote Sens. Environ., vol. 217, pp. 562– 572, 2018.
- [9] S. Ranjbar, A. Zarei, M. Hasanlou, M. Akhoondzadeh, J. Amini, and M. Amani, "Machine learning inversion approach for soil parameters estimation over vegetated agricultural areas using a combination of water cloud model and calibrated integral equation model," J. Appl. Remote Sens., vol. 15, no. 1, pp. 1–17, 2021, doi: 10.1117/1.JRS.15.018503.
- [10] S. Ranjbar and M. Akhoondzadeh, "Volumetric soil moisture estimation using Sentinel 1 and 2 satellite images," kntujgit, vol. 7, no. 4, pp. 215–232, Mar. 2020, doi: 10.29252/jgit.7.4.215.
- [11] S. Zwieback, S. Hensley, and I. Hajnsek,

"Soil moisture estimation using differential radar interferometry: Toward separating soil moisture and displacements," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 55, no. 9, pp. 5069–5083, 2017.

- [12] B. Barrett, P. Whelan, and E. Dwyer, "Detecting changes in surface soil moisture content using differential SAR interferometry," Int. J. Remote Sens., vol. 34, no. 20, pp. 7091–7112, 2013.
- [13] S. Zwieback, S. Hensley, and I. Hajnsek, "A polarimetric first-order model of soil moisture effects on the DInSAR coherence," Remote Sens., vol. 7, no. 6, pp. 7571–7596, 2015.
- [14] F. De Zan, M. Zonno, and P. Lopez-Dekker, "Phase inconsistencies and multiple scattering in SAR interferometry," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 53, no. 12, pp. 6608–6616, 2015.
- [15] A. Ferretti, A. Fumagalli, F. Novali, C. Prati, F. Rocca, and A. Rucci, "A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 49, no. 9, pp. 3460–3470, 2011.
- [16] S. Hensley et al., "Effect of soil moisture on polarimetric-interferometric repeat pass observations by UAVSAR during 2010 Canadian soil moisture campaign," in 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2011, pp. 1063–1066.
- [17] Y. Eshqi Molan and Z. Lu, "Can InSAR Coherence and Closure Phase Be Used to Estimate Soil Moisture Changes?," Remote Sens., vol. 12, no. 9, p. 1511, 2020.
- [18] S. Cloude, Polarisation: applications in remote sensing. OUP Oxford, 2009.
- [19] S. R. Cloude and K. P. Papathanassiou, "Polarimetric SAR interferometry," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 36, no. 5, pp. 1551–1565, 1998.
- [20] H. A. Zebker and J. Villasenor, "Decorrelation in interferometric radar echoes," IEEE Trans. Geosci. Remote

سال هشتم • شماره چهارم • زمستان ۱۳۹۹

Sens., vol. 30, no. 5, pp. 950-959, 1992.

- [21] H. A. Zebker, C. L. Werner, P. A. Rosen, and S. Hensley, "Accuracy of topographic maps derived from ERS-1 interferometric radar," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 32, no. 4, pp. 823–836, 1994.
- [22] H. A. Zebker, P. A. Rosen, and S. Hensley, "Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps," J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 102, no. B4, pp. 7547–7563, 1997.
- [23] V. Brancato and I. Hajnsek, "Separating the Influence of Vegetation Changes in Polarimetric Differential SAR Interferometry," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 56, no. 12, pp. 6871– 6883, 2018.
- [24] S. Zwieback and I. Hajnsek, "Influence of vegetation growth on the polarimetric zerobaseline DInSAR phase diversity— Implications for deformation studies," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 54, no. 5, pp. 3070–3082, 2016.
- [25] D. Massonnet and K. L. Feigl, "Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface," Rev. Geophys., vol. 36, no. 4, pp. 441–500, 1998.
- [26] P. S. Agram and M. Simons, "A noise model for InSAR time series," J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 120, no. 4, pp. 2752– 2771, 2015.
- [27] R. Magagi et al., "Canadian Experiment for Soil Moisture in 2010 (CanEx-SM10): Overview and Preliminary Results," vol. 51, no. 1, pp. 347–363, 2013.
- [28] M. T. Hallikainen, F. T. Ulaby, M. C. Dobson, M. A. El-Rayes, and L.-K. Wu, "Microwave dielectric behavior of wet soilpart 1: Empirical models and experimental observations," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., no. 1, pp. 25–34, 1985.
- [29] N. R. Peplinski, F. T. Ulaby, and M. C. Dobson, "Dielectric properties of soils in the 0.3-1.3-GHz range," IEEE Trans.

Geosci. Remote Sens., vol. 33, no. 3, pp. 803–807, 1995.

- [30] M. Nolan, D. R. Fatland, and L. Hinzman, "DInSAR measurement of soil moisture," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 41, no. 12, pp. 2802–2813, 2003.
- [31] K. Norrish, "The swelling of montmorillonite," Discuss. Faraday Soc., vol. 18, pp. 120–134, 1954.
- [32] F. T. Ulaby, K. Sarabandi, K. Mcdonald, M. Whitt, and M. C. Dobson, "Michigan microwave canopy scattering model," Int. J. Remote Sens., vol. 11, no. 7, pp. 1223– 1253, 1990.
- [33] A. R. Mitchell, "Soil surface shrinkage to estimate profile soil water," Irrig. Sci., vol. 12, no. 1, pp. 1–6, 1991.
- [34] B. te Brake, R. F. Hanssen, M. J. van der Ploeg, and G. H. de Rooij, "Satellite based radar interferometry to estimate large - scale soil water depletion from clay shrinkage: Possibilities and limitations," Vadose Zo. J., vol. 12, no. 3, pp. 1 – 13, 2013.
- [35] V. Mironov, Y. Kerr, J.-P. Wigneron, L. Kosolapova, and F. Demontoux, "Temperature-and texture-dependent dielectric model for moist soils at 1.4 GHz," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 10, no. 3, pp. 419–423, 2012.
- [36] F. Ulaby and D. Long, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing. 2014.
- [37] J.-P. Rudant, A. Bedidi, R. Calonne, D. Massonnet, and G. Nesti, "Laboratory experiments for the interpretation of phase shift in SAR interferograms," ESA SP, 1997.
- [38] G. G. Hamedani and M. N. Tata, "On the determination of the bivariate normal distribution from distributions of linear combinations of the variables," Am. Math. Mon., vol. 82, no. 9, pp. 913–915, 1975.
- [39] A. Genz and F. Bretz, Computation of multivariate normal and t probabilities, vol. 195. Springer Science & Business Media,

صادق رنجبر و مهدی آخوندزاده هنزائی

2009.

- [40] L. Tsang and J. A. Kong, Scattering of electromagnetic waves: advanced topics, vol. 26. John Wiley & Sons, 2004.
- [41] J. Pinheiro, D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar, and R. C. Team, "Linear and nonlinear mixed effects models," R Packag. version, vol. 3, no. 57, pp. 1–89, 2007.
- [42] Q. Yin, W. Hong, Y. Li, and Y. Lin, "Analysis on soil moisture estimation of SAR data based on coherent scattering model," in EUSAR 2014; 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 2014, pp. 1–4.
- [43] Y. Eshqi Molan, "Soil Moisture Contributions to InSAR Phase and Decorrelation," 2020.
- [44] F. T. Ulaby and M. A. El-Rayes, "Microwave dielectric spectrum of

vegetation-Part II: Dual-dispersion model," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., no. 5, pp. 550–557, 1987.

[45] R. Goldstein, "Atmospheric limitations to repeat - track radar interferometry," Geophys. Res. Lett., vol. 22, no. 18, pp. 2517 - 2520, 1995.



Journal of Geospatial Information Technology Vol.8 No.4, Winter 2021

Research Paper

Study of soil moisture change effects on L-band DInSAR phase

Sadegh Ranjbar¹, Mehdi Akhoondzadeh^{2*}

M. Sc. in Remote Sensing, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran.
 Assistant Professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran.

Abstract

The Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (DInSAR) technique is recognized as a potential remote sensing tool for detecting ground surface displacements with less than a centimetre accuracy. The surface soil moisture changes (ΔM_n) during the time between the two images as an effective parameter on interferometry phase φ), leads to incorrect calculation of ground movement. In this research, the amount and the way that ΔM_{v} affects φ on wheat, rapeseed, weed, pea and idle land fields have been investigated empirically using a regression model. To do this investigation, airborne data UAVSAR (L-band) along with ground-based data in the CanEx-SM10 campaign in 2010 were used. According to the scattergraphs between φ and ΔM_{n} , and observing a direct and approximately linear relationship between them, some hypotheses were taken into consideration in order to use a regression modeling. Comparing the estimated φ using the calibrated regression model and calculated φ from the interferometry technique shows that the model provided the best results for the bare field in VV and HH polarizations (RMSE) of 0.3 to 0.6 rad and R2 of 69% to 72%. In general, the results of the regression model showed that without other factors' effects on φ , this parameter can be modelled ΔM_n based on a regression function in bare fields. The model also provided acceptable results in vegetated fields (RMS of 0.6 to 0.99 rad and R2 of 40% to 55% depending on the different vegetation types and different polarizations). Comparing polarizations, φ fluctuations in co-polarizations (HH and VV) showed a higher correlation with ΔM_{ν} . Consequently, φ is directly affected by ΔM_{ν} , and significant changes in ΔM_{ν} brings about a considerable error in displacement estimation.

Key words: DInSAR, phase, temporal decorrelation, surface soil moisture change.

Correspondence Address : School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Tel: +98 21 61114522. Email: makhonz@ut.ac.ir