

# ارزیابی و مقایسه داده‌های پلاریمتریک دوگانه سنجنده Sentinel1-A و TerraSAR-X در بهینه‌سازی شاخص پراکندگی دامنه به منظور بهبود الگوریتم تداخل سنجی PSInSAR

سعید آزادنژاد<sup>۱</sup>

یاسر مقصودی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۸/۱۳

\*\*\*\*\*

## چکیده

داده‌های پلاریمتریک، یک منبع اطلاعاتی اضافی در تداخل سنجی راداری محسوب می‌شوند که می‌توانند با کمک بهینه‌سازی پلاریمتری با الگوریتم‌های مختلف تداخل سنجی راداری ترکیب شده و منجر به بهبود کارایی این الگوریتم‌ها شوند. ترکیب اطلاعات پلاریمتری و تداخل سنجی راداری، که تحت عنوان تداخل سنجی راداری پلاریمتریک معرفی می‌شود، می‌تواند منجر به افزایش هم‌دوسی و تعداد پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی شود. این تکنیک بر اساس بهینه‌سازی پلاریمتریک کانال‌های پلاریمتریک را با یکدیگر ترکیب کرده و کانال بهینه‌ای را تولید می‌کند که در آن تراکم و کیفیت فاز پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی نسبت به کانال‌های خطی افزایش پیدا کند. در هر پیکسل این کانال بهینه، بردار مکانیزم پراکنشی که منجر به بهینه‌ترین مقدار از تابع هدف مسئله بهینه‌سازی شود به عنوان بردار مکانیزم پراکنش بهینه انتخاب می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع تراکم پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی قابل اعتماد در موفقیت روش‌های PSI، هدف اصلی این مقاله استفاده از اطلاعات پلاریمتریک دوگانه سنجنده Sentinel1-A و TerraSAR-X در الگوریتم تداخل سنجی PSInSAR معمولی و مقایسه و ارزیابی این داده‌ها در افزایش تراکم پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی می‌باشد. در این تحقیق ترکیب اطلاعات پلاریمتریک دوگانه با الگوریتم تداخل سنجی PSInSAR به کمک بهینه‌سازی شاخص پراکندگی دامنه انجام گرفت. به منظور بررسی رویکرد پیشنهادی این تحقیق، تعداد ۴۰ تصویر پلاریمتریک دوگانه (VV/VH) سنجنده Sentinel1-A در بازه زمانی فوریه ۲۰۱۷ تا می ۲۰۱۸ و ۲۰ تصویر پلاریمتریک دوگانه (HH/VV) سنجنده TerraSAR-X در بازه زمانی جولای ۲۰۱۳ تا آوریل ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد بهینه‌سازی پلاریمتریک با داده‌های S1A تراکم PSها را برای کل منطقه، منطقه شهری و منطقه غیرشهری به ترتیب حدود ۱/۷ برابر، ۱/۶ برابر و ۱/۹ برابر افزایش داد. همچنین این افزایش در مورد داده‌های TSX به ترتیب حدود ۳ برابر، ۳/۲ برابر و ۲/۹ برابر بود.

واژه‌های کلیدی: تداخل سنجی راداری پلاریمتریک، بهینه‌سازی پلاریمتریک، سنجنده Sentinel1-A، سنجنده TerraSAR-X، پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی، هم‌دوسی.

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی saeedazadnezhad@email.kntu.ac.ir

۲- استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول) ymaghsoudi@kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

دوگانه (HH/VV) سنجنده TerraSAR-X در الگوریتم تداخلسنجی راداری با کمک مفهوم بهینه‌سازی پلاریمتریک<sup>۳</sup> استفاده کردند و تعداد پیکسل‌های پراکنش‌گر کاندید را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش دادند (Navarro & et al; 2010).

آنها تحقیقات خود را در این زمینه با معرفی روش‌های مختلف بهینه‌سازی پلاریمتری و بررسی کارایی روش پیشنهادی خود برای مناطق شهری و غیرشهری ادامه دادند (Navarro & et al; 2012), (Navarro & et al; 2011). در سال ۲۰۱۳ Iglesias و همکارانش بهینه‌سازی پلاریمتریک را با کمک دو روش Best و ESM برای دو شاخص پراکنندگی دامنه<sup>۴</sup> و میانگین همبستگی<sup>۵</sup> انجام دادند و روش پیشنهادی را بر روی داده‌های پلاریمتریک چهار کاناله Ground-Based مورد ارزیابی قرار دادند (Iglesias & et al; 2013).

Iglesias و همکارانش در سال ۲۰۱۵ از داده‌های چهار کاناله Ground-Based به منظور افزایش هم‌دوسی<sup>۶</sup> و تعداد پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی بهره بردند و یک شاخص جدید به نام هم‌دوسی زیرمنظر زمانی<sup>۷</sup> ارائه دادند (Iglesias & et al; 2015).

در سال ۲۰۱۵ Alipour و همکارانش قابلیت داده‌های پلاریمتریک RADARSAT-2 را در افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی مورد بررسی قرار دادند (Alipour & et al; 2015).

Esmaili و همکارانش در ۲۰۱۶ تعداد پیکسل‌های پراکنش‌گر را در الگوریتم StaMPS با کمک داده‌های پلاریمتریک دوگانه (HH/VV) سنجنده TerraSAR-X افزایش دادند (Esmaili; o & et al; 2016). آنها در ادامه تحقیقاتشان در سال ۲۰۱۷ یک شکل پلاریمتریک از معیار پراکنندگی اختلاف دامنه<sup>۸</sup> برای آنالیز سری زمانی پیکسل‌ها در الگوریتم خط مبنای کوتاه ارائه دادند که برای تولید

تکنیک تداخلسنجی مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی<sup>۱</sup> تکنیکی است جهت شناسایی و آنالیز شبکه‌ای از پیکسل‌های کوهرنت<sup>۲</sup> که به پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی مشهورند و در فواصل زمانی طولانی از استحکام فاز بالایی برخوردار می‌باشند (Yang & et al; 2016).

این تکنیک می‌تواند در کاربردهای مختلفی از جمله حرکات گسل‌ها و زلزله (Macedo & et al; (Ding & et al 2018), (2017) فرونشست زمین (Zhy & et al; 2018)، فعالیت‌های آتشفشانی (Wang & et al; 2018), (Isbekov & et al; 2018) و دیگر کاربردهای زمین‌شناسی و محیط‌زیستی (Dollevoet & et al; 2017), (Maghsoudi & et al; 2018) مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که در تمامی روش‌های تداخلسنجی مبتنی بر پراکنش‌گرهای دائمی پردازش‌ها و تجزیه تحلیل‌ها جهت بدست آوردن نرخ جابجایی تنها بر روی پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی انجام می‌گیرد، تراکم این پیکسل‌ها فاکتوری بسیار مهم در کارایی تکنیک‌های تداخلسنجی راداری محسوب می‌شود. امروزه با توجه به پرتاب سنجنده‌های پلاریمتریک، داده‌های پلاریمتریک در کانال‌های مختلف قابل دسترسی می‌باشد. هر یک از این کانال‌ها به خصوصیات هندسی خاصی از عوارض حساس هستند که ترکیب آنها با الگوریتم‌های تداخلسنجی راداری شناسایی پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی را بهبود می‌بخشد. ترکیب اطلاعات پلاریمتری و تداخلسنجی راداری تحت عنوان تکنیک PolInSAR نامیده می‌شود و اولین بار توسط Cloude و Papathanassiou معرفی شد (Cloude & et al; 1997).

اخیراً محققین حوزه PolInSAR نشان داده‌اند استفاده از داده‌های پلاریمتری در تداخلسنجی راداری منجر به افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی می‌شود (Esmaili & Motagh; (Sadeghi & et al; 2017), (2016). در سال ۲۰۱۰ Navarro-Sanchez و همکارانش برای اولین بار از داده‌های فضایی پلاریمتریک

3- Polarimetric optimization

4- Amplitude Dispersion Index (ADI)

5- Meancoherence

6- Coherence

7- Temporal Sublook Coherence

8- Amplitude Difference Dispersion (ADD)

1- Persistent Scatterer Interferometry (PSI)

2- Coherent pixels

که در آن  $\sigma_a$  انحراف معیار دامنه،  $\bar{a} = |s_i|$  میانگین دامنه،  $S$  مقدار مختلط پیکسل تصویر SLC،  $|s_i|$  دامنه پیکسل در تصویر  $N$  و  $N$  تعداد تصاویر می‌باشد. پیکسل‌هایی از تصویر که مقدار  $D_A$  مربوط به آن‌ها از یک حد آستانه‌ی تعریف شده (معمولاً ۰/۲۵) کوچک‌تر باشد به عنوان پیکسل‌های پراکنش‌گر کاندید معرفی می‌شوند. به منظور تعمیم شاخص پراکنندگی دامنه به حالت پلاریمتریک کافی است در رابطه (۱) به جای ضریب پراکنش  $S_i$ ، ضریب پراکنش پلاریمتریک  $\mu_i$  در رابطه (۲) راجایگزین کنیم (Navarro & etal; 2010):

$$\mu_i = (\omega_i^T k_i), i = 1, 2 \quad (2)$$

که در آن  $\mu_i$  ترکیب خطی المان‌های ماتریس پراکنش  $[S]$ ،  $i$  متناظر دو تصویر، \* اپراتور مزدوج،  $K_i$  شکل برداری ماتریس پراکنش  $[S]$  یا بردار پراکنش و  $\omega_i$  بردار مکانیزم پراکنش می‌باشد. رابطه (۳) بردار پراکنش داده‌های پلاریمتریک دوگانه (HH/VV) و رابطه (۴) بردار پراکنش داده‌های پلاریمتریک دوگانه (VV/VH) را نشان می‌دهد (Navarro & etal; 2014).

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{hh} + S_{vv}, S_{hh} - S_{vv}]^T \quad (3)$$

$$k = [S_{vv}, 2S_{vh}]^T \quad (4)$$

به طوریکه  $S_{hh}$  و  $S_{vv}$  کانال‌های  $S_{vh}$  co-polar، کانال cross-pol و اپراتور ترانهاده می‌باشد. همچنین بردار مکانیزم پراکنش  $\omega_i^{*T}$  برای داده‌های پلاریمتریک دوگانه بصورت زیر تعریف می‌شود (Navarro & etal; 2010):

$$\omega = [\cos(\alpha), \sin(\alpha) e^{j\psi}]^T, \begin{cases} 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} \\ -\pi \leq \psi \leq \pi \end{cases} \quad (5)$$

که در آن  $\alpha$  و  $\psi$  دو پارامتر حقیقی می‌باشند که بازه مقادیر آن‌ها مشخص و متناهی بوده و به ویژگی‌های هندسی و الکترومغناطیسی عوارض مربوط می‌شود (Navarro & etal; 2012). بنابراین فرم پلاریمتریک شاخص پراکنندگی دامنه مطابق رابطه (۶) می‌باشد (Navarro & etal; 2010).

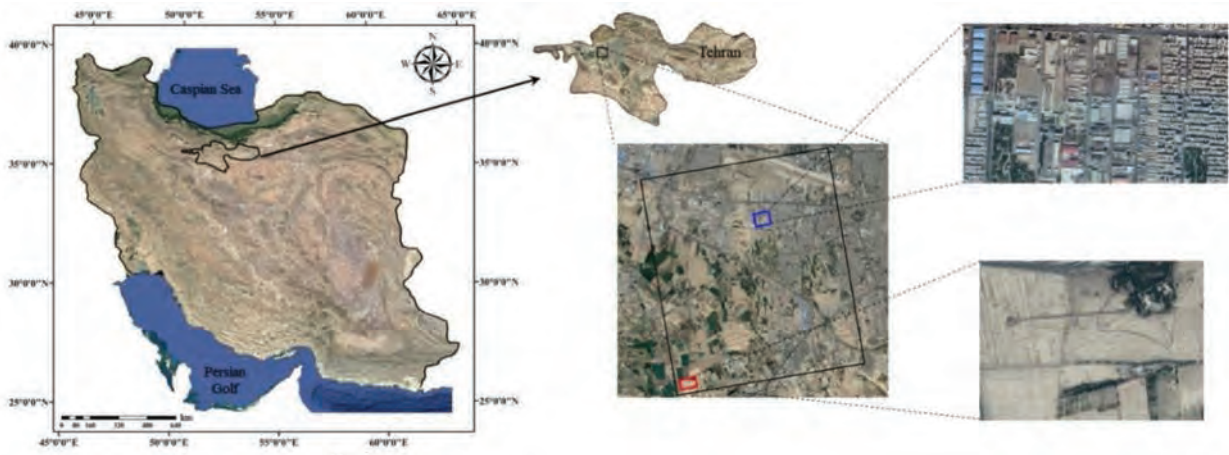
تداخل نماهای جدید با کیفیت بهتر از تداخل نماهای SAR تک کاناله استفاده می‌شود (Esmaili & etal; 2017). در سال ۲۰۱۸ Sadeghi و همکارانش مفهوم بهینه‌سازی پلاریمتری را با تابع هدف شاخص هم‌دوسی زمانی انجام دادند. آن‌ها از داده‌های پلاریمتریک دوگانه (HH/VV) سنجنده TerraSAR-X در الگوریتم StaMPS استفاده کردند و کارایی این الگوریتم در مناطق غیرشهری را بهبود بخشیدند و الگوریتم جدیدی تحت عنوان PolStaMPS معرفی کردند (Sadeghi & etal; 2018).

محققین PolInSAR اغلب از داده‌های پلاریمتریک دوگانه HH/VV در مسائل بهینه‌سازی پلاریمتریک استفاده کرده‌اند (Navarro & etal; 2010, 2016, 2017) (Esmaili & etal; 2017) (sadeghi & etal; 2011) با این حال، ارزیابی داده‌های پلاریمتریک دوگانه VV/VH که حساسیت متفاوتی نسبت به عوارض دارد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین ارزیابی همزمان داده‌های پلاریمتریک دوگانه HH/VV و VV/VH در یک منطقه مطالعاتی مشابه و همچنین مقایسه بهبود ایجاد شده به کمک هر یک از این نوع داده‌ها به منظور پی بردن به قابلیت‌های هر یک از این داده‌ها در زمینه بهینه‌سازی پلاریمتریک مهم می‌باشد. هدف اصلی ما در این مقاله ارزیابی داده‌های پلاریمتریک دوگانه سنجنده Sentinel-1A (S1A) و TerraSAR-X (TSX) در افزایش تراکم پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی در الگوریتم PSInSAR است.

## ۲- بهینه‌سازی شاخص پراکنندگی دامنه

شاخص پراکنندگی دامنه که برای اولین بار توسط Ferreti و همکارانش معرفی شد یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های شناسایی پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی کاندید می‌باشد (Ferreti & etal; 2001). این شاخص پیکسل‌هایی که نشان‌دهنده‌ی مقادیر دامنه‌ی پایدار هستند را مطابق رابطه (۱) شناسایی می‌کند:

$$D_A = \frac{\sigma_a}{\bar{a}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (|s_i| - \bar{a})^2}{N}} \quad (1)$$



نگاره ۱: موقعیت ناحیه مطالعاتی واقع در جنوب غربی تهران. مستطیل قرمز منطقه غیرشهری و مستطیل آبی منطقه شهری را نشان می‌دهد.

جدول ۱: خصوصیات اصلی و مد اخذ تصویر سنجنده SIA و سنجنده TSX

سنجنده	رزولوشن (متر) آزیموت رنج	زاویه فرود	Swath (km)	مد	پلاریزاسیون	باند	زمان بازیابی
Sentinel-1A	۲۰×۵	-	۲۵۰	Interferometric Wide-swath (IW)	Dual (VV/VH)	C	۱۲ روز
TerraSAR-X	۱.۷-۳.۵×۳	-	۳۰	StripMap	Dual (HH/VV)	X	۱۱ روز

پارامترهای  $\Psi$  و  $\alpha$  در نظر گرفته شد.

$$D_{APol} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (|\omega^* T_{k_i}| - |\omega^* T_{k_i}|)^2}{N}} \quad (6)$$

### ۳- نتایج

۳-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده  
 مطابق نگاره ۱، منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب غربی شهر تهران در بین طول‌های جغرافیایی "۳۶' ۱۵' ۵۱°" و "۲۴' ۲۰' ۵۱°" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۰۰' ۳۶' ۳۵°" و "۲۵' ۴۱' ۳۵°" شمالی واقع شده است. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه‌ی آب در فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و خشک‌سالی‌های پیاپی باعث افت سطح آب زیرزمینی و کاهش فشار سیال در این منطقه شده که تبعات آن بروز فرونشست در این ناحیه است.  
 منطقه مطالعاتی شامل مناطق شهری و غیرشهری می‌باشد، بنابراین می‌توان ارزیابی روش پیشنهادی را برای مناطق

در این حالت مسئله بهینه‌سازی پلاریمتریک شامل یافتن بردار مکانیزم پراکنش  $\omega$  یا به عبارتی تعیین دو پارامتر حقیقی  $\alpha$  و  $\Psi$  به ازای هر پیکسل است که مقدار شاخص پراکنندگی دامنه برای آن پیکسل حداقل شود. رابطه (۶) همان تابع هدف در مسئله بهینه‌سازی پلاریمتریک مطرح شده در این تحقیق می‌باشد. بنابراین ضریب پراکنش بهینه ضریب پراکنشی است که به ازای آن مقدار شاخص پراکنندگی دامنه ( $D_{APol}$ ) کمینه شود. فضای جستجو برای یافتن بردار مکانیزم پراکنش  $\omega$  یک فضای جستجوی شبکه‌ای دو بعدی به ازای مقادیر مختلف دو پارامتر  $\alpha$  و  $\Psi$  می‌باشد. در این تحقیق فواصل شبکه‌بندی ۵ درجه برای

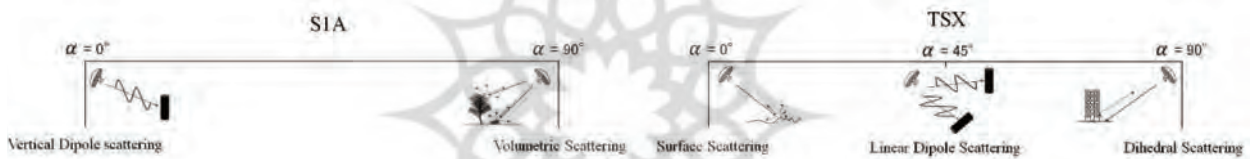
**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)**  
**ارزیابی و مقایسه داده‌های پلاریمتریک دوگانه سنجنده ... / ۵۷**

و توجه تارگت نسبت به سیستم رادار است و پارامتر  $\alpha$  بیانگر نوع مکانیزم پراکنش تارگت می‌باشد (Navarro & etal; 2012). زاویه  $\alpha$  کمیت پیوسته‌ای بین ۰ تا ۹۰ درجه می‌باشد و برای نمایش گونه‌های مختلف از مکانیزم پراکنش استفاده می‌شود. برای داده‌های پلاریمتریک دو گانه (HH/VV)، مقادیر  $\alpha$  نزدیک به صفر درجه مکانیزم پراکنش سطحی و مقادیر نزدیک به ۴۵ درجه مکانیزم Linear Dipole و مقادیر نزدیک به ۹۰ درجه مکانیزم پراکنش Dihedral را نشان می‌دهد. اما در مورد داده‌های (VV/VH) نمی‌توان مکانیزم دقیق را مشخص نمود. زیرا تعیین دقیق نوع مکانیزم پراکنش ایجاد شده نیاز به دسترسی به اطلاعات کانال HH نیز دارد. اما به طور کلی می‌توان اظهار داشت

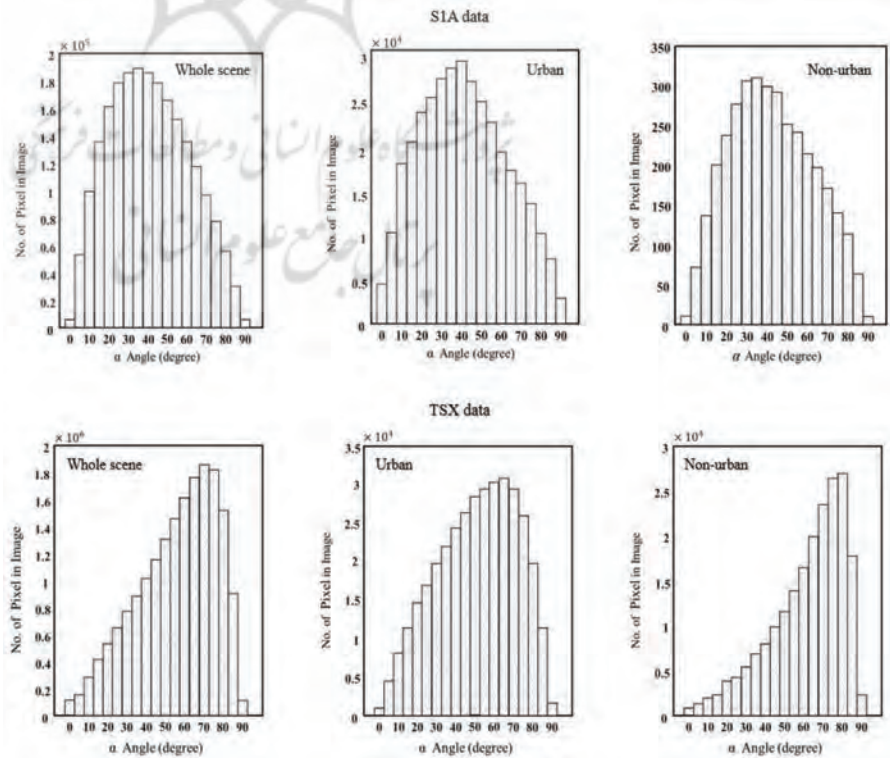
شهری و غیرشهری بصورت مجزا انجام داد. در این تحقیق تعداد ۴۰ تصویر پلاریمتریک دوگانه (VV/VH) سنجنده SIA در بازه زمانی فوریه ۲۰۱۷ تا می ۲۰۱۸ و ۲۰ تصویر پلاریمتریک دوگانه (HH/VV) سنجنده TSX در بازه زمانی جولای ۲۰۱۳ تا آپریل ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ خلاصه‌ای از خصوصیات اصلی و مد اخذ تصویر سنجنده SIA و سنجنده TSX را نشان می‌دهد.

**۳-۲- بررسی مکانیزم‌های پراکنش بهینه**

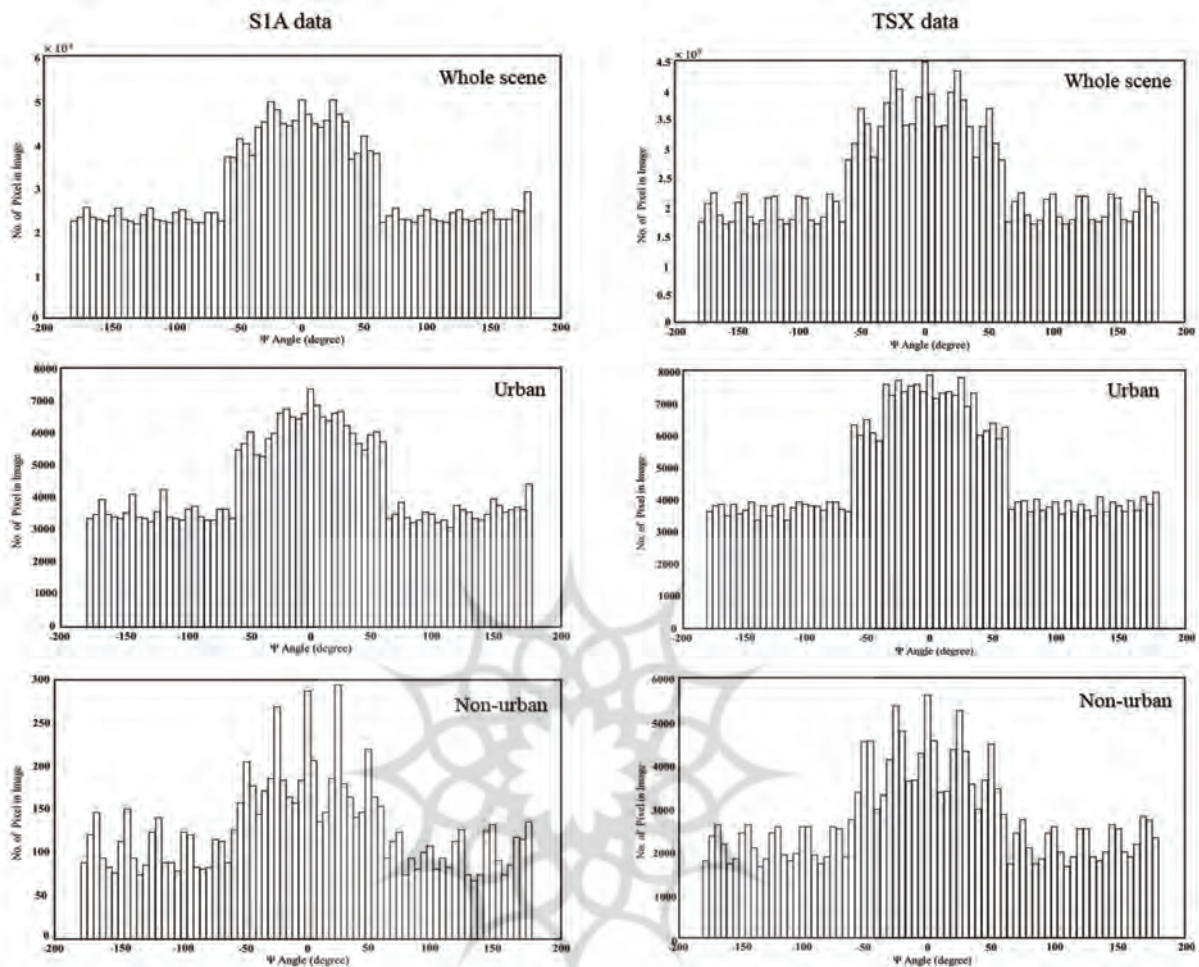
همانطور که در بخش ۲ بیان شد،  $\alpha$  و  $\Psi$  دو پارامتر حقیقی می‌باشند که به ویژگی‌های هندسی و الکترومغناطیسی عوارض مربوط می‌شود. پارامتر  $\Psi$  نشان‌دهنده جهت‌گیری



**نگاره ۲: مکانیزم‌های پراکنش قابل تعریف برای داده‌های پلاریمتریک دو گانه سنجنده SIA و TSX**



**نگاره ۳: هیستوگرام مقادیر  $\alpha$  برای داده‌های (VV/VH) و داده‌های (HH/VV).**



نگاره ۴: هیستوگرام مقادیر  $\Psi$  برای مورد داده‌های (VV/VH) و داده‌های (HH/VV).

زمانی که مقادیر به صفر نزدیک باشند مکانیزم ایجاد شده از نوع مکانیزم سطحی، Dihedral و یا LinearDipole است. همچنین اگر مقادیر این پارامتر به ۹۰ درجه نزدیک باشد نشاندهنده مکانیزم پراکنش حجمی یا Oriented target خواهد بود. با این توضیحات، مکانیزم‌های پراکنش قابل تعریف برای داده‌های پلاریمتریک دو گانه (HH/VV) و نمونه‌ای مکانیزم‌های پراکنش قابل تعریف برای داده‌های پلاریمتریک دو گانه (VV/VH) بصورت نگاره ۲ خواهد بود.

به منظور بررسی رفتار پارامتر  $\alpha$  در مسئله بهینه‌سازی شاخص پراکندگی دامنه، هیستوگرام مقادیر این پارامتر برای کل تصویر، مناطق شهری و مناطق غیر شهری مطابق نگاره ۳ ترسیم شد.

با توجه به نگاره ۳، رفتار هیستوگرام مقادیر  $\alpha$  برای داده‌های پلاریمتریک دوگانه (VV/VH) و (HH/VV) متفاوت می‌باشد. در مورد داده‌های (VV/VH)، هیستوگرام مقادیر  $\alpha$  در مناطق مختلف نسبتاً مشابه است و به سمت مقادیر پایین میل کرده است که نشان می‌دهد ماهیت مکانیزم پراکنش بهینه انتخابی به مکانیزم VerticalDipole نزدیکتر است و انتخاب این نوع مکانیزم نسبت به مکانیزم حجمی بیشتر رخ داده است. همچنین هیستوگرام مقادیر  $\alpha$  برای داده‌های (HH/VV) در مناطق مختلف به سمت مقادیر بالا و نزدیک ۹۰ درجه میل کرده است که نشان می‌دهد انتخاب مکانیزم پراکنش Dihedral به عنوان مکانیزم بهینه نسبت به

### ۳-۳- بررسی تراکم پیکسل‌های پراکنش گر کاندید و دائمی

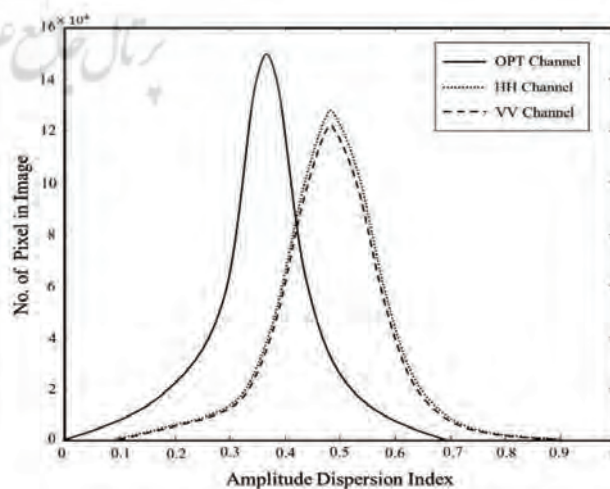
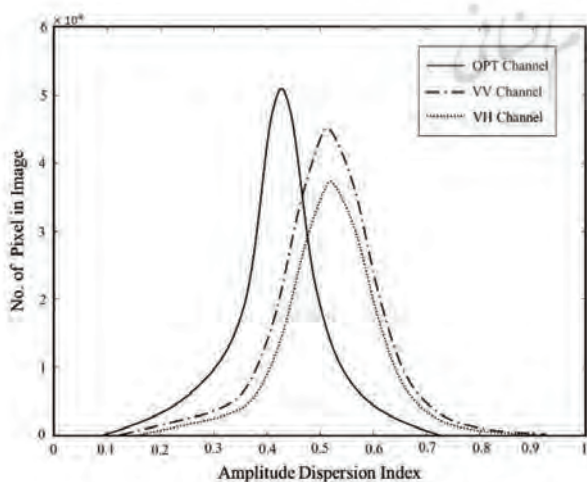
به منظور بررسی مقادیر ADI در هر یک از داده‌های (VV/VH) و (HH/VV)، هیستوگرام مقادیر ADI برای کانال‌های مختلف محاسبه و مطابق نگاره ۵ ترسیم شد. همانطور که انتظار می‌رفت در هر دو داده (VV/VH) و (HH/VV) هیستوگرام مقادیر ADI در کانال بهینه به سمت مقادیر پایین میل کرد. بنابراین بایستی تعداد پیکسل‌های پراکنش گر دائمی در این کانال افزایش پیدا کند. به منظور مقایسه عددی از افزایش تراکم پیکسل‌های پراکنش گر دائمی، تعداد پیکسل‌های پراکنش گر کاندید و نهایی برای کانال‌های مختلف محاسبه شد. جدول ۲ تعداد پیکسل‌های پراکنش گر دائمی کاندید و نهایی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: تعداد پیکسل‌های پراکنش گر کاندید با مقادیر ADI کمتر از ۰/۲۵ و پیکسل‌های پراکنش گر نهایی با بیشتر از ۰/۸

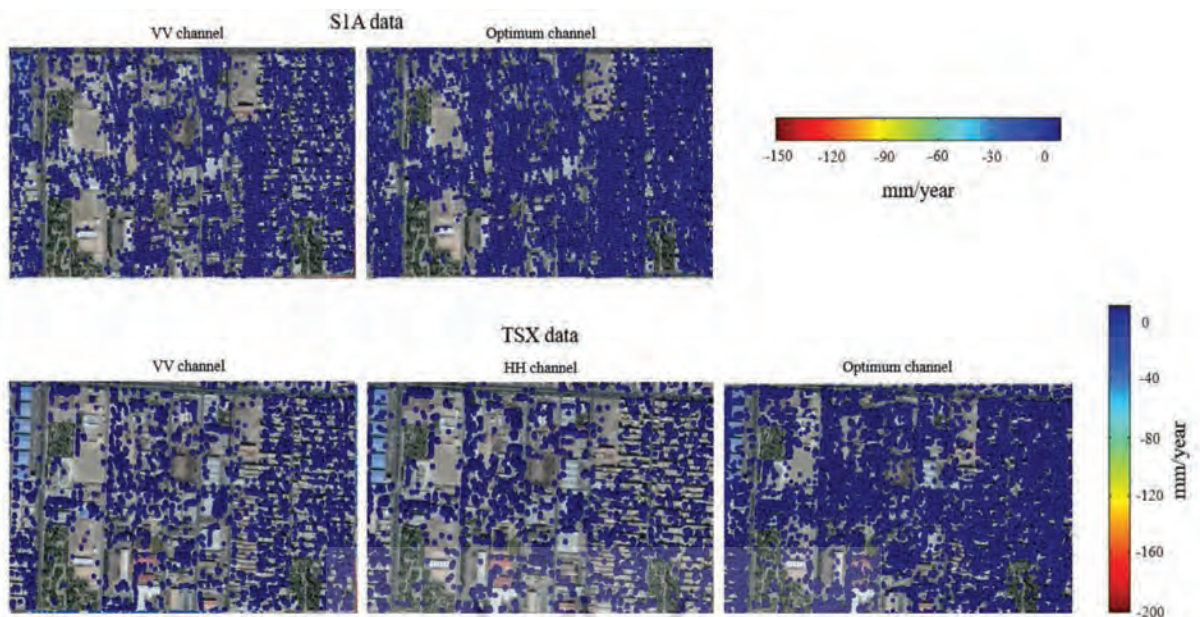
تعداد PS	تعداد PSC	کانال
۱۶۸۶۸۳	۱۹۲۲۵۶	VV (S1A)
۲۸۶۸۲۱	۳۸۲۵۸۸	OPT(S1A)
۴۴۳۱۳۱	۴۶۵۵۸۹	HH (TSX)
۳۷۰۳۹۴	۴۰۸۶۳۹	VV (TSX)
۱۲۸۷۳۵۲	۱۵۱۶۲۳۹	OPT(TSX)

دیگر مکانیزم‌ها بیشتر بوده است. این نتیجه در مناطق غیر شهری مشهودتر است زیرا اثرات ناشی از ناهمبستگی زمانی در این مناطق سبب کاهش مقادیر دامنه و ثبات آن می‌شود و به همین دلیل مقادیر شاخص پراکنندگی دامنه نیز افزایش خواهد یافت. از طرفی میزان پراکنش برگشتی به سمت سنجنده و مقادیر دامنه برای مکانیزم Dihedral نسبت به دیگر مکانیزم‌ها بیشتر است و انتخاب این مکانیزم به عنوان مکانیزم بهینه می‌تواند سبب کاهش اثرات ناشی از ناهمبستگی زمانی در مناطق غیر شهری شود. همچنین به منظور بررسی رفتار پارامتر  $\Psi$  در مسئله بهینه‌سازی شاخص پراکنندگی دامنه، هیستوگرام مقادیر این پارامتر برای کل تصویر، مناطق شهری و مناطق غیر شهری مطابق نگاره ۴ ترسیم شد.

مطابق نگاره ۴، رفتار هیستوگرام مقادیر برای هر دو نوع داده (VV/VH) و (HH/VV) و در مناطق مختلف شهری و غیر شهری تقریباً مشابه می‌باشد. مقدار  $\Psi$  برای بیشتر پیکسل‌های تصویر نزدیک به صفر درجه می‌باشد و از آنجا که این پارامتر نشان‌دهنده جهت‌گیری و توجیه تارگت نسبت به سیستم رادار است، مقادیر نزدیک به صفر عوارض با توجیه افقی نسبت به سیستم رادار را نشان می‌دهد (Navarro & etal; 2012).



نگاره ۵: راست: هیستوگرام مقادیر ADI برای کانال بهینه و VV و HH چپ: هیستوگرام مقادیر ADI برای کانال بهینه و VV و VH.



نگاره ۶: نمای نزدیک از منطقه شهری برای داده‌های (VV/VH) و داده‌های (HH/VV)

نگاره ۱ در منطقه مطالعاتی انتخاب شد و تعداد پیکسل‌های پراکنش گر دائمی نهایی برای این مناطق طبق جدول ۳ محاسبه شد.

جدول ۳: تعداد پیکسل‌های PS شناسایی شده در مناطق شهری و غیرشهری برای کانال‌های مختلف حاصل از داده‌های (VV/VH) و (HH/VV) با بیشتر از ۰/۸

کانال	تعداد PS در منطقه شهری	تعداد PS در منطقه غیر شهری
VV (SIA)	۲۰۷۶۱	۲۷۴
OPT(SIA)	۳۳۲۱۵	۵۲۱
HH (TSX)	۱۴۰۲۵	۱۱۳۳۹
VV (TSX)	۱۲۳۱۱	۹۳۳۶
OPT(TSX)	۴۲۱۳۷	۳۰۱۷۵

براساس جدول ۳، تعداد PS حاصل از کانال بهینه داده‌های (VV/VH) نسبت به کانال VV برای منطقه شهری حدود ۱/۶ برابر افزایش داشته است. در حالی که این افزایش برای منطقه غیر شهری حدود ۱/۹ برابر می‌باشد. همچنین در مورد داده‌های (HH/VV) افزایش تعداد PS حدود ۳/۲ برابر در منطقه شهری و حدود ۲/۹ برابر در

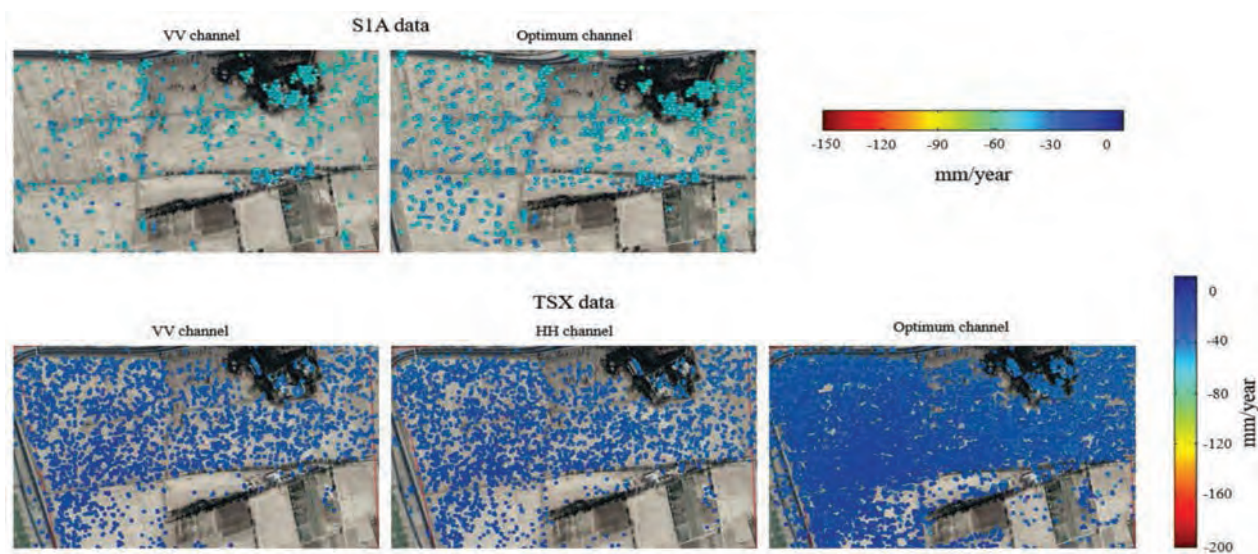
با توجه به جدول ۲، تعداد پیکسل‌های پراکنش گر کاندید شناسایی شده در کانال بهینه حاصل از داده‌های (VV/VH) حدود ۲ برابر نسبت به کانال VV افزایش یافته است. در مورد داده‌های (HH/VV)، افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش گر کاندید در کانال بهینه نسبت به کانال‌های خطی HH و VV حدود ۳/۵ برابر می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش گر کاندید با کمک داده‌های (HH/VV) نسبت به داده‌های (VV/VH) بیشتر است که دلیل این نتیجه مسلماً قابلیت و تأثیر بیشتر این نوع داده در ایجاد مکانیزم‌های پراکنش متنوع‌تر و شناسایی مکانیزم پراکنش بهینه می‌باشد.

بدین ترتیب انتظار می‌رود افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش گر دائمی نیز در این نوع داده محسوس‌تر باشد. مطابق جدول ۲، افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش گر دائمی برای داده‌های (VV/VH) حدود ۱/۷ برابر و برای داده‌های (HH/VV) حدود ۳ برابر می‌باشد.

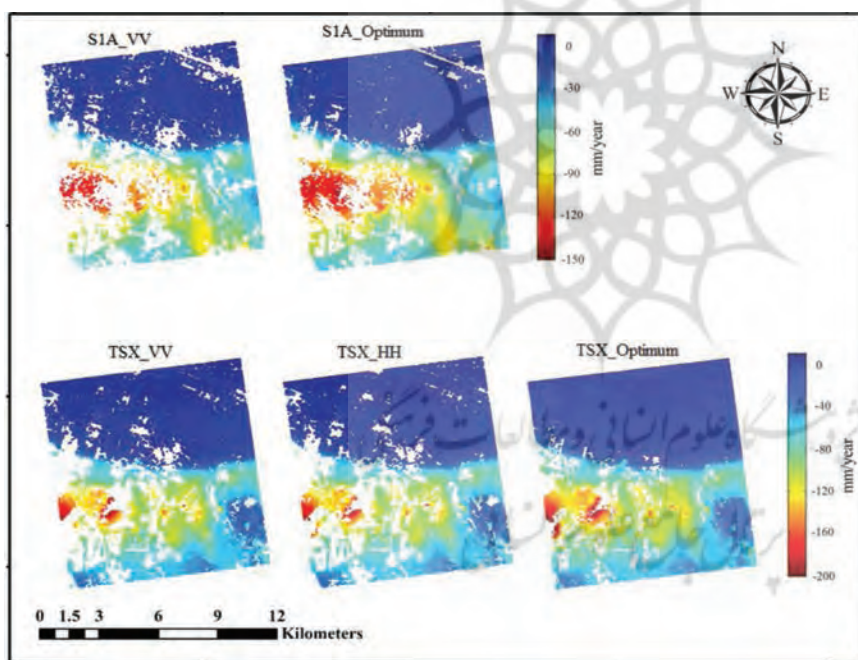
به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در افزایش تعداد پیکسل‌های پراکنش گر دائمی نهایی برای مناطق شهری و غیرشهری دو منطقه شهری و غیر شهری مطابق



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
 ارزیابی و مقایسه داده‌های پلاریمتریک دوگانه سنجنده ... / ۶۱



نگاره ۷: نمای نزدیک از منطقه غیرشهری برای داده‌های (VV/VH) و داده‌های (HH/VV)



نگاره ۸: نقشه نرخ فرونشست منطقه جنوب غربی تهران برای داده‌های (VV/VH) و داده‌های (HH/VV)

PS در منطقه شهری نسبت به منطقه غیرشهری بیشتر است. این نتیجه بدست آمده به نوع مکانیزم‌های ایجاد شده در هر یک از این داده‌ها برمی‌گردد. نگاره ۶ نمای نزدیکی از منطقه شهری و نگاره ۷ نمای نزدیکی از منطقه غیرشهری در کانال‌های مختلف را نشان می‌دهد که می‌توان افزایش تعداد PS در کانال‌های بهینه را به وضوح مشاهده نمود.

منطقه غیرشهری بوده است. مطابق انتظار افزایش تراکم PS در هر دو منطقه شهری و غیرشهری برای داده‌های (HH/VV) محسوس‌تر از داده‌های (VV/VH) است. اما نکته قابل بحث این است که افزایش تعداد PS داده‌های (VV/VH) در منطقه غیرشهری نسبت به منطقه شهری بیشتر می‌باشد. در حالی که در مورد داده‌های (HH/VV)، افزایش تعداد

### ۳-۴- نقشه فرونشست

در این بخش به تجزیه و تحلیل نقشه فرونشست بدست آمده از کانال‌های مختلف می‌پردازیم. پردازش‌های سری زمانی به منظور محاسبه نرخ فرونشست برای تمامی کانال‌ها در نرم‌افزار <sup>۱</sup> SARPROZ انجام گرفت (Perissin & etal; 2011). نگاره ۸ نقشه فرونشست منطقه برای کانال‌های مختلف را نشان می‌دهد. مطابق نگاره ۸، فرونشست این منطقه به ازای کانال‌های مختلف داده‌های (VV/VH) و (HH/VV) الگو و رفتار مکانی نسبتاً یکسانی دارد. حداکثر نرخ فرونشست با کمک داده‌های (VV/VH) در بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ حدود ۱۵۰ میلی‌متر بدست آمده است در حالی که برای داده‌های (HH/VV) و بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ حدود ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

این نتایج نشان می‌دهد نرخ فرونشست این منطقه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ رو به کاهش بوده. از نقطه نظر افزایش تراکم PS نیز کانال‌های بهینه در هر یک از داده‌های (VV/VH) و (HH/VV) نسبت به کانال‌های خطی تراکم PS بیشتری دارد که نشان می‌دهد راهکار پیشنهادی برای هر دو نوع داده مؤثر واقع شده است. افزایش تراکم PSها علاوه بر افزایش دقت محاسبه پارامترهای مجهول پردازش سری زمانی، اطلاعات بیشتر و با جزئیات بالاتری از نرخ فرونشست منطقه ارائه می‌دهد.

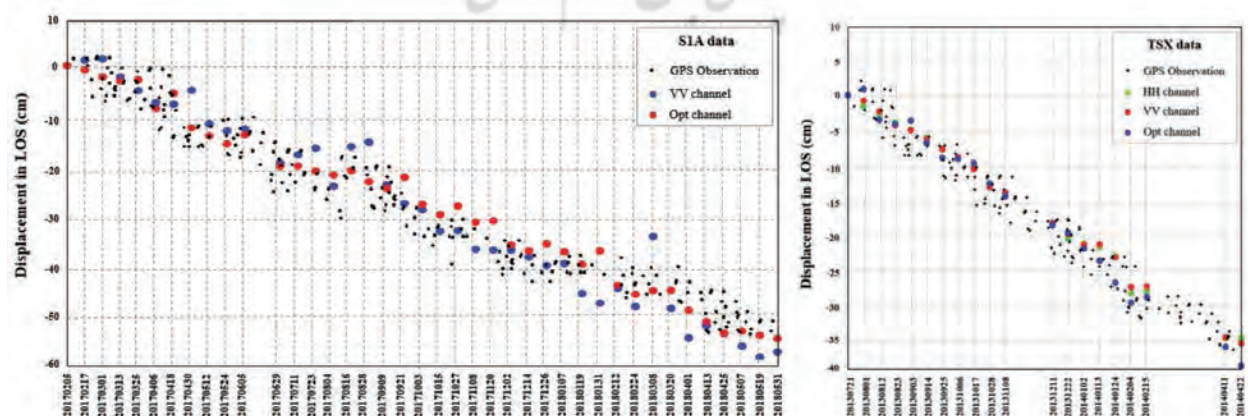
بنابراین انتظار می‌رود نرخ فرونشست بدست آمده از کانال‌های بهینه از صحت بالاتری برخوردار باشد و با واقعیت زمینی تطابق بیشتری داشته باشد. بدین منظور، مقادیر جابجایی حاصل از پردازش‌های انجام شده با استفاده از کانال‌های هر دو داده با مشاهدات سری زمانی یک ایستگاه GPS واقع در منطقه مطابق نگاره ۹ مقایسه شد. به منظور مقایسه عددی نتایج فرونشست، فاکتور RMSE برای کانال‌های S1A و TSX مطابق جدول ۴ محاسبه شد. مقدار RMSE برای کانال بهینه داده‌های TSX، ۰/۴۳ سانتی متر محاسبه شده است که ۰/۳۲ سانتی متر دقیق تر از کانال بهینه داده‌های S1A است. این نتیجه مسلماً به دلیل برآورد دقیق تر پارامترهای مجهول در داده‌های TSX در مقایسه با داده‌های S1A است. همچنین با توجه به جدول ۴ می‌توان ملاحظه نمود که کانال‌های بهینه نسبت به کانال‌های خطی، نرخ فرونشست را با دقت و صحت بالاتری محاسبه کرده‌اند.

جدول ۴: مقایسه انحراف نرخ فرونشست برآورد شده به

کمک کانال‌های S1A و TSX با سری زمانی GPS

Channel	RMSE (cm)
VV (S1A)	0.92
OPT(S1A)	0.75
HH (TSX)	0.71
VV (TSX)	0.74
OPT(TSX)	0.43

1- SAR PROcessing tool by periz



نگاره ۹: مقایسه نرخ فرونشست برآورد شده به کمک کانال‌های S1A و TSX با سری زمانی GPS

interferometry," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 10, no. 2, pp. 596-604, 2017.

3. S. Cloude and K. Papathanassiou, "Polarimetric optimisation in radar interferometry," Electronics Letters, vol. 33, no. 13, pp. 1176-1178, 1997.

4. P. He, K. Ding, and C. Xu, "The 2016 Mw 6.7 Aketao earthquake in Muji range, northern Pamir: Rupture on a strike-slip fault constrained by Sentinel-1 radar interferometry and GPS," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 73, pp. 99-106, 2018.

5. M. Esmaili and M. Motagh, "Improved Persistent Scatterer analysis using Amplitude Dispersion Index optimization of dual polarimetry data," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 117, pp. 108-114, 2016.

6. M. Esmaili, M. Motagh, and A. Hooper, "Application of Dual-Polarimetry SAR Images in Multitemporal InSAR Processing," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 14, no. 9, pp. 1489-1493, 2017.

7. A. Ferretti, C. Prati, and F. Rocca, «Permanent scatterers in SAR interferometry," IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 39, no. 1, pp. 8-20, 2001.

8. R. Iglesias, D. Monells, X. Fabregas, J. J. Mallorqui, A. Aguasca, and C. Lopez-Martínez, "Phase Quality Optimization Techniques and Limitations in Polarimetric Differential SAR Interferometry," transformation, vol. 17, p. 18, 2013.

9. R. Iglesias, D. Monells, C. López-Martínez, J. J. Mallorqui, X. Fabregas, and A. Aguasca, "Polarimetric optimization of temporal sublook coherence for DInSAR applications," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 12, no. 1, pp. 87-91, 2015.

10. L. Ji, P. Izbekov, S. Senyukov, and Z. Lu, "Deformation patterns, magma supply, and magma storage at Karymsky Volcanic Center, Kamchatka, Russia, 2000-2010, revealed by InSAR," Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 352, pp. 106-116, 2018.

11. K. A. C. de Macedo, F. L. G. Ramos, C. Gaboardi, J.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله ارزیابی و مقایسه قابلیت داده‌های پلاریمتریک دوگانه سنجنده Sentinel-1A (S1A) و TerraSAR-X (TSX) در افزایش تراکم پیکسل‌های پراکنش‌گر دائمی در الگوریتم PSInSAR و در یک منطقه مطالعاتی یکسان بود. بدین منظور از دو مجموعه تصویر TSX در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ و S1A در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ استفاده شد.

نتایج نشان می‌دهد بهینه‌سازی پلاریمتریک با کمک داده‌های (VV/VH) سبب افزایش تعداد PS به میزان ۱/۷ برابر نسبت به کانال خطی VV در این نوع داده می‌شود. در حالی که این افزایش برای داده‌های (HH/VV) حدود ۳ برابر بود.

این نتایج نشان داد قابلیت داده‌های TSX نسبت به S1A برای افزایش تعداد PS بیشتر است زیرا مکانیزم‌های پراکنش بیشتری به کمک این نوع داده ایجاد می‌شود و گزینه‌های بیشتری برای انتخاب پراکنش بهینه وجود خواهد داشت. همچنین در این تحقیق دو منطقه شهری و غیرشهری یکسان برای دو نوع داده انتخاب شد و میزان افزایش تعداد PS مورد بررسی قرار گرفت. در مورد داده‌های S1A افزایش تعداد PS در منطقه شهری ۱/۶ برابر و در منطقه غیرشهری ۱/۹ برابر بود. در حالی که برای داده‌های TSX این افزایش به ترتیب ۳/۲ و ۲/۹ برابر بود. این نشان می‌دهد بهینه‌سازی پلاریمتریک با کمک داده‌های S1A در منطقه غیرشهری و برای داده‌های TSX در منطقه شهری مؤثرتر بوده است.

#### ۵- منابع و مآخذ

1. S. Alipour, K. F. Tiampo, S. V. Samsonov, and P. J. González, "Short-term surface deformation on the Northern Hayward Fault, CA, and nearby landslides using polarimetric SAR interferometry (PolInSAR)," Pure and Applied Geophysics, vol. 172, no. 8, pp. 2179-2193, 2015.

2. L. Chang, R. P. Dollevoet, and R. F. Hanssen, "Nationwide railway monitoring using satellite SAR

19. Z. Sadeghi, M. J. V. Zoj, and J.-P. Muller, "Combination of Persistent Scatterer Interferometry and Single-Baseline Polarimetric Coherence Optimisation to Estimate Deformation Rates with Application to Tehran Basin," *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, vol. 85, no. 5, pp. 327-340, 2017.
20. Z. Sadeghi, M. J. V. Zoj, and J.-P. Muller, "Monitoring Land Subsidence in a Rural Area Using a Combination of ADInSAR and Polarimetric Coherence Optimization," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 10, no. 8, pp. 3582-3590, 2017.
21. Z. Sadeghi, M. J. V. Zoj, A. Hooper, and J. M. Lopez-Sanchez, "A New Polarimetric Persistent Scatterer Interferometry Method Using Temporal Coherence Optimization," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, no. 99, pp. 1-9, 2018.
22. A. H.-M. Ng, L. Ge, Z. Du, S. Wang, and C. Ma, "Satellite radar interferometry for monitoring subsidence induced by longwall mining activity using Radarsat-2, Sentinel-1 and ALOS-2 data," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 61, pp. 92-103, 2017.
23. T. Wang, K. DeGrandpre, Z. Lu, and J. T. Freymueller, "Complex surface deformation of Akutan volcano, Alaska revealed from InSAR time series," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 64, pp. 171-180, 2018.
24. C. Yang, B. Kenduywo, and U. Soergel, "CHANGE DETECTION BASED ON PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY-A NEW METHOD OF MONITORING BUILDING CHANGES," *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 3, p. 243, 2016.
25. Z. Du, L. Ge, A. H.-M. Ng, Q. Zhu, X. Yang, and L. Li, "Correlating the subsidence pattern and land use in Bandung, Indonesia with both Sentinel-1/2 and ALOS-2 satellite images," *International journal of applied earth observation and geoinformation*, vol. 67, pp. 54-68, 2018.
- R. Moreira, F. Vissirini, and M. S. da Costa, "A Compact Ground-Based Interferometric Radar for Landslide Monitoring: The Xerém Experiment," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 10, no. 3, pp. 975-986, 2017.
12. Y. Maghsoudi, F. Van Der Meer, C. Hecker, D. Perissin, and A. Saepuloh, "Using PS-InSAR to detect surfacedeformation in geothermal areas of West Java in Indonesia," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 64, pp. 386-396, 2018.
13. V. D. Navarro-Sanchez, J. M. Lopez-Sanchez, and F. Vicente-Guijalba, "A contribution of polarimetry to satellite differential SAR interferometry: Increasing the number of pixel candidates," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 7, no. 2, pp. 276-280, 2010.
14. V. D. Navarro-Sanchez and J. M. Lopez-Sanchez, "Subsidence monitoring using polarimetric persistent scatterers interferometry," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International*, 2011, pp. 1083-1086: IEEE.
15. V. D. Navarro-Sanchez and J. M. Lopez-Sanchez, "Improvement of persistent-scatterer interferometry performance by means of a polarimetric optimization," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 9, no. 4, pp. 609-613, 2012.
16. V. D. Navarro-Sanchez, J. M. Lopez-Sanchez, and L. Ferro-Famil, "Polarimetric approaches for persistent scatterers interferometry," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, no. 3, pp. 1667-1676, 2014.
17. D. Perissin, Z. Wang, and T. Wang, "The SARPROZ InSAR tool for urban subsidence/manmade structure stability monitoring in China," *Proceedings of the ISRSE, Sidney, Australia*, vol. 1015, 2011.
18. A. C. Rudy, S. F. Lamoureux, P. Treitz, N. Short, and B. Brisco, "Seasonal and multi-year surface displacements measured by DInSAR in a High Arctic permafrost environment," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 64, pp. 51-61, 2018.