

## تعیین جهت جریان خط لوله در شبکه توزیع آب با استفاده از داده‌های LiDAR

محمد الماسی نیا<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۰

وان محد امین الدین وان حسین<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹

محد سانوسی سام احمد<sup>۲</sup>

### چکیده

برای دستیابی به توسعه پایدار، شناخت خوب سیستم‌های تامین آب شهری بسیار مهم است که شبکه توزیع آب (WDN) یکی از ساختارهای مهم در سیستم‌های تامین آب شهری است. WDN نقش حیاتی در حفظ و ارائه کیفیت زندگی رضایت بخش دارد که جهت جریان خطوط لوله یکی از اجزای اصلی آن است. به طور سنتی، جهت جریان WDN در مناطق شهری بر اساس حافظه و تجربه تکنسین تعیین می‌شود. امروزه روش سنتی نمی‌تواند تحلیل قابل اعتمادی بر اساس پیچیدگی‌های موجود در شبکه ارائه دهد. تشخیص و محدوده نور (LiDAR) یک تکنیک نسبتاً سریع برای استخراج مدل‌های سطح دقیق و دقیق است و بنابراین، پتانسیل ایجاد DEM، مدل‌های سطح سه بعدی و سایر محصولات نقشه‌برداری مانند جهت جریان را با دقت دسی متر ارائه می‌دهد. مطالعه حاضر با هدف بررسی استفاده بالقوه از داده‌های LiDAR برای ایجاد یک مدل ارتفاعی دیجیتال و متعاقباً یک مدل سطحی سه بعدی برای تعیین جهت جریان شبکه خط لوله آب انجام شد. شهر تومار مالزی (با جمعیت حدود ۳ میلیون نفر) به عنوان یک منطقه مسطح برای تخمین جهت جریان WDN انتخاب شد. همچنین، داده‌های LiDAR مبتنی بر GIS برای تعیین جهت جریان WDN استفاده شد. داده‌های LiDAR پتانسیل بالایی برای تعیین جهت جریان WDN داشتند که نشان‌دهنده ۷۷٪ تطابق با داده‌های واقعی بود. نتایج ما نشان داد که LiDAR می‌تواند یک فناوری مفید برای تعیین جهت جریان WDN در منطقه مسطح شهری باشد.

**کلمات کلیدی:** شبکه توزیع آب، تشخیص و محدوده نور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، جهت جریان.

۱ گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

۲ دانشکده عمران، دانشگاه علوم مالزی، کمپ مهندسی

برای دستیابی به توسعه پایدار، شناخت خوب سیستم‌های تامین آب شهری بسیار مهم است که شبکه توزیع آب (WDN) یکی از ساختارهای مهم در سیستم‌های تامین آب شهری است (Xu et al. 2020). WDN سیستمی از لوله‌های به هم پیوسته است که برای رساندن آب آشامیدنی از کارهای تصفیه به مصرف کنندگان مختلف مسکونی و تجاری با جریان کافی برنامه ریزی شده است (ژائو و همکاران ۲۰۱۶). این یک زیرساخت ضروری در هر جامعه مدرن است (Poojitha et al. 2020). نقش اساسی در حفظ و ارائه کیفیت زندگی رضایت بخش دارد که جهت جریان خطوط لوله یکی از اجزای اصلی آن است. WDN یک سیستم هیدرولیک با تعداد دلخواه لوله، پمپ، شیر، مخازن، مخازن و سایر تجهیزات است (Sirsant and Reddy 2020). یک WDN مناسب باید بتواند تقاضای آب را در نقاط مختلف هر منطقه تامین کند (Monsef et al. 2019). این نیاز به خطوط لوله جهت جریان مناسب باید داشته باشد. تعیین جهت جریان یک گام مهم برای توصیف WDN است. به طور سنتی، جهت جریان WDN در مناطق شهری بر اساس حافظه و تجربه تکنسین تعیین می‌شود. امروزه روش سنتی نمی‌تواند تحلیل قابل اعتمادی بر اساس پیچیدگی‌های موجود در شبکه ارائه دهد. مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM)<sup>۱</sup> به طور گسترده در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی خودکار و همچنین در استخراج ویژگی‌های حوزه آبخیز مانند شبکه‌های کانال و جهت جریان استفاده می‌شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۷). DEMها ورودی به تجزیه و تحلیل ژئومورفومتریکی مبتنی بر GIS هستند و برای تولید DEM با وضوح زیرمتر، منابع داده کافی لازم است (Höfle et al. 2013). آنها روشی مقرون به صرفه برای به دست آوردن اطلاعات ورودی برای اهداف طراحی و مدل سازی، به ویژه در شبکه توزیع آب در نظر گرفته می‌شوند (Razack et al. 2020). وضوح بالای DEMها در بسیاری از نقاط جهان قابل دسترسی نیست. تشخیص و محدوده نور (LiDAR) یک فناوری است که در مقایسه با روش‌های سنتی به طور گسترده در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های LiDAR به یک روش قابل اعتماد شناخته شده برای استخراج اطلاعات هندسی در سه بعد (X, Y و Z) تبدیل شده است (van Beek 2019).

<sup>1</sup> Digital elevation models

این سیستم یک تکنیک نسبتاً سریع برای استخراج مدل‌های سطح دقیق و دقیق ارائه می‌دهد و بنابراین، پتانسیل ایجاد DEM، مدل‌های سطح سه‌بعدی و سایر محصولات نقشه‌برداری مانند جهت جریان با دقت دسی‌متر را ارائه می‌دهد (کلینت شانون و همکاران ۲۰۱۹). این فناوری دارای مزایایی مانند هزینه کم، دقت بالا و وضوح در مقایسه با سایر فناوری‌های موجود است (Vaze and Teng 2007). چندین رویکرد برای حل سیستم‌های توزیع پیشنهاد شده است که شامل نظریه خطی، نیوتن رافسون و روش‌های هاردی کراس می‌شود (چپسون ۱۹۷۶؛ تودینی ۲۰۰۷). یک رابطه غیر خطی بین افت هد و جریان در سیستم لوله وجود دارد، بنابراین حل مشکلات این سیستم پیچیده بسیار دشوار است. Tospornsampan و همکاران (۲۰۰۷) ادعا کرد که محبوب‌ترین تحلیل برای حل سیستم‌های توزیع، روش هاردی کراس است که شامل یک سری تقریب‌ها و اصلاحات متوالی برای جریان‌ها در خطوط لوله جداگانه است. مطالعه حاضر با هدف بررسی استفاده بالقوه از داده‌های LiDAR برای ایجاد یک DEM و متعاقباً یک مدل سطح سه‌بعدی برای تعیین جهت جریان شبکه خط لوله آب انجام شد.

## ۲- منطقه مطالعه و داده‌های ژئومورفومتریک

این مطالعه بر جهت جریان خطوط لوله آب در Taman Mutiara Rini (منطقه مسکونی واقع بین طول جغرافیایی  $01^{\circ} 31' 52''$  and  $01^{\circ} 30' 57''$  و عرض جغرافیایی  $103^{\circ} 37' 24''$  and  $103^{\circ} 38' 52''$  متمرکز شده است. جمعیت جوهور بهرو حدود ۳ میلیون نفر است (شکل ۱). انواع داده‌ها برای نرم‌افزار GIS معمولاً از عکس‌برداری هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، GPS، اسکن، دیجیتالی کردن، LiDAR هوابرد و داده‌های دیجیتالی موجود به‌دست می‌آیند. در مطالعه حاضر از داده‌های LiDAR و مجموعه داده‌های موجود مانند خطوط لوله، اتصالات، هیدرلنت‌ها، مخازن، دریچه‌ها و زون متر در قالب فایل شیپ استفاده شد.

## ۳- مواد و روش‌ها

روش تحقیق به سه مرحله تقسیم شد (شکل ۲). همچنین اهداف تحقیق حاضر طراحی و توسعه یک پایگاه داده جغرافیایی برای شبکه خط لوله آب با استفاده از داده‌های SAJ،

تعیین جهت جریان مشابه با استفاده از داده‌های LiDAR بود. برای دستیابی به این اهداف، سه مرحله به صورت متوالی دنبال شد.

### ۳.۱ ساختن یک شبکه هندسی از داده‌های موجود

ما از داده‌های موسسه تحقیقات سیستم‌های محیطی (ESRI)<sup>۲</sup> برای انجام تحلیل‌های مکانی خود استفاده کردیم (چایلز ۲۰۰۴). پس از پاکسازی داده‌ها، داده‌ها به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شدند که یک مدل کامل برای ضبط، ذخیره‌سازی و تحلیل شبکه‌ها ارائه می‌دهد. شبکه هندسی شامل مجموعه‌ای از لبه‌ها و اتصالات متصل به همراه قوانین اتصال بود. کلاس‌های ویژگی پایگاه ژئودیتابیس به عنوان منابع داده برای تعریف شبکه هندسی، یعنی نقش ویژگی‌های مختلف و قوانین نحوه جریان منابع از طریق شبکه هندسی استفاده شد.

### ۳.۲ تخمین مقادیر Z و جهت جریان

مدل‌های سطح DEM و D<sup>۳</sup> با استفاده از داده‌های LiDAR ایجاد شدند و ارتفاع (مقدار Z) نقاط از مدل سطح سه‌بعدی برآورد شد. برای دستیابی به مقدار Z هر نقطه به عنوان معیاری برای تعیین جهت جریان در هر لبه (خط لوله)، تمام نقاط جهت شبکه مشخص شد. پس از تعیین هر دو نقطه پایانی در هر خط لوله، ارتفاع نقطه به طور خودکار از مدل سطح سه‌بعدی استخراج می‌شود. ابزار ArcGIS Extract Values to Points، مقادیر را توسط شطرنجی بر اساس مجموعه‌ای از نقاط استخراج می‌کند. مقادیر Z با همپوشانی داده‌های LiDAR و مقادیر استخراج شده توسط ابزار EVP به دست آمد. از مقادیر Z برای تخمین جهت جریان هر خط لوله استفاده شد. بر اساس مقادیر Z منابع و سینک‌ها، جهت و یا خلاف جهت ویژگی‌های جریان آب در شبکه تعیین شد. برای تخمین جهت جریان بدون حلقه، فرآیند به صورت خودکار انجام می‌شود، در حالی که در شبکه با حلقه‌ها جهت جریان به صورت دستی تعیین می‌شود. از این رو، منبع و سینک به ترتیب سطوح بالا و پایین مقدار Z در تعیین جهت جریان به صورت دستی با استفاده از ابزار IFD بودند. سینک قبلی منبعی برای نکته بعدی بود. فرآیند تکراری تا زمانی که جهت جریان کل شبکه مشخص شود تکرار می‌شود.

<sup>2</sup> Environmental Systems Research Institute's

#### ۴- نتایج و بحث

آب یکی از عناصر اصلی منابع طبیعی است که برای تمدن و توسعه شهرها مورد نیاز است. همچنین برای مصارف مختلف مانند شرب، خانگی، بهداشتی، کشاورزی، صنعتی، تولید برق و غیره ضروری است (Hasan et al. 2020). جمعیت جهان که در مناطق شهری زندگی می کنند در سال ۲۰۲۵ به حدود ۶۰ درصد خواهد رسید (González et al. 2005) که باعث افزایش تقاضای آب برای انسان می شود. بنابراین، برای حل این مشکل، روش های سستی WDN باید با فناوری های دقیق، اقتصادی، سریع و دیجیتال جایگزین شوند (سوناز و جوشی ۲۰۱۵). برای شناسایی جهت جریان، اتصالات هیدرولیکی که به عنوان سینک عمل می کنند، اولین مواردی بودند که شناسایی شدند، که از ابزارهای تحلیلگر شبکه ابزار برای تعیین جهت جریان در هر لبه استفاده شد (Djokic et al. 2011). به عبارت دیگر جهت جریان لبه درختان و حلقه ها به ترتیب به صورت خودکار و دستی تعیین می شوند. تعیین جهت جریان کل شبکه با جهت جریان موجود به دست آمده از داده های SAJ مطابقت دارد (شکل ۳ الف). جهت جریان هر لبه با توجه به مقادیر Z که از مدل سطح سه بعدی استخراج شده بود (رستر جهت جریان) به صورت دستی با استفاده از ابزار IFD تعیین شد. در واقع، جهت جریان هر لبه از سطوح بالاتر به پایین تر از مقدار Z که با همپوشانی داده های LiDAR و مقادیر استخراج شده توسط ابزار EVP به دست می آید، تعیین شد (شکل ۳ ب). بازده جهت جریان مهمترین مرحله برای ارزیابی در هر شبکه است. مقایسه دو الگوی WDN مشتق شده توسط داده های LiDAR و SAJ نشان داده شده به ترتیب ۷۶.۵۳ و ۲۳.۴۷٪ با یکدیگر موافق و مخالف بودند (شکل ۴). شکل ۳ ج تفاوت بین جهت های جریان را در ترکیب دو مجموعه داده نشان می دهد. قهوه ای و آبی هایلایت شده به ترتیب جهت جریان طبیعی (i و ii) و مخالف (iii) بین داده های LiDAR و SAJ را بر اساس فرمول های زیر نشان دادند.

$$i. \text{طبیعی } Z_{HL} > Z_{LL}$$

$$ii. \text{سطح زمین } Z_{HL} = Z_{LL}$$

$$iii. \text{مخالف } Z_{HL} < Z_{LL}$$

که در آن، Z HL و Z LL به ترتیب ارتفاع بالاتر و پایین تر هستند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که داده‌های LiDAR می‌تواند فناوری مناسبی برای تعیین جهت جریان WDN شهری باشد. مطابق با نتایج ما، چندین مطالعه کارایی فناوری نقشه برداری لیزری هوابرد (ALSM) یا LiDAR را در توزیع آب گزارش کرده‌اند. حسن و همکاران (Hasan et al. 2020) WDN را با موقعیت پروژه‌ها، مخازن، خطوط لوله و غیره با استفاده از برخی فناوری‌ها مانند LiDAR طراحی کردند. جونز و همکاران (۲۰۰۸) گزارش داد که مدل‌های ارتفاعی دیجیتال مشتق شده از LiDAR برای ارزیابی امیدانس جریان آب سطحی مؤثر بودند. کرامر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۰) مناسب بودن LiDAR را در جریان هوا-آب با سرعت بالا برای پدیده‌های هیدرولیکی در مقیاس نمونه اولیه نشان داد.

## ۵- نتیجه گیری

امروزه استفاده از جهت جریان در WDN برای بهینه سازی مدیریت آب در مناطق شهری در سراسر جهان رواج بیشتری یافته است. در مطالعه حاضر، Taman Mutiara Rini به عنوان یک منطقه مسطح برای تخمین جهت جریان WDN انتخاب شد. همچنین، داده‌های LiDAR مبتنی بر GIS برای تعیین جهت جریان WDN استفاده شد. داده‌های LiDAR پتانسیل بالایی برای تعیین جهت جریان WDN داشتند، که نشان‌دهنده توافق ۷۷ درصدی با داده‌های واقعی توسط SAJ بود. به طور دقیق، نتایج نشان داد که LiDAR می‌تواند یک فناوری مفید برای تعیین جهت جریان WDN در منطقه مسطح شهری باشد.

## مراجع

- Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September, 3235, 569.
- Clint Shannon, J., Moore, D., Li, Y., Olsen, C., & Clint, J. (2019). *Issue 1 Article 3 Part of the Geographic Information Sciences Commons, Geomorphology Commons, Hydrology Commons, Physical and Environmental Geography Commons, Remote Sensing Commons. Spatial Science Commons* (Vol. 9). <https://trace.tennessee.edu/pursuit>. Accessed 6 June 2020
- Djokic, D., Ye, Z., & Dartiguenave, C. (2011). Arc hydro tools overview. *Redland, Canada, ESRI*, 1–189.
- González, J. E., Luvall, J. C., Rickman, D., Comarazamy, D., Picón, A., Harmsen, E., et al. (2005). Urban heat islands developing in coastal tropical cities. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 86(42), 397–403.
- Harouni, Majid, et al. "Health Monitoring Methods in Heart Diseases Based on Data Mining

<sup>3</sup> Kramer

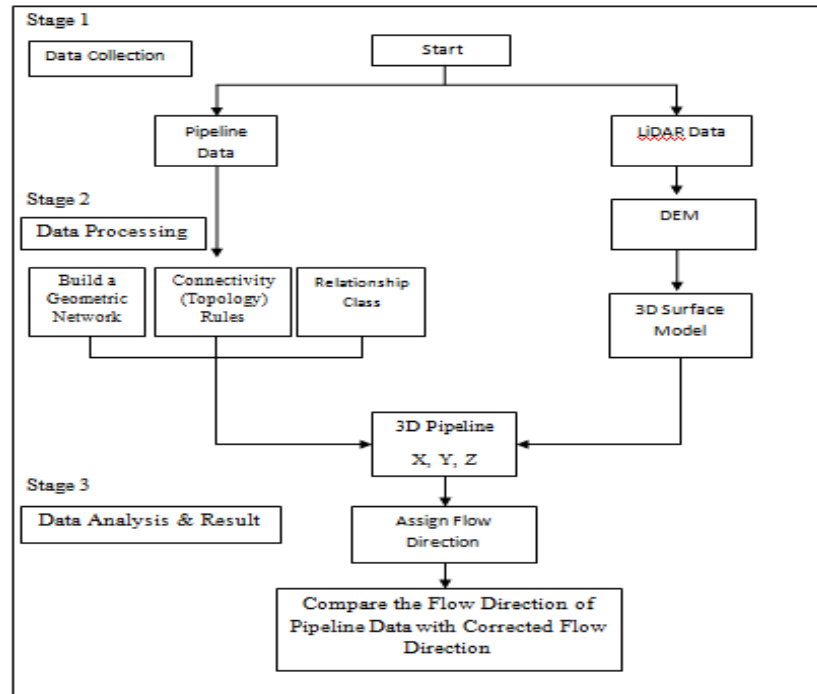
- Approach: A Directional Review." *Prognostic Models in Healthcare: AI and Statistical Approaches*. Springer, Singapore, 2022. 115-159.
- Hasan, R. R., Alwan, K. H., & Mohammed, H. D. (2020). Water Supply System Assessment in Urban Areas Using Geospatial Techniques: A Case Study of Baghdad City. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 745). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012144>
- Höfle, B., Griesbaum, L., & Forbriger, M. (2013). GIS-Based Detection of Gullies in Terrestrial LiDAR Data of the Cerro Llamoca Peatland (Peru). *Remote Sensing*, 5(11), 5851–5870. <https://doi.org/10.3390/rs5115851>
- Jeppson, R. W. (1976). *Analysis of Flow in Pipe Networks.*, ((1976)).
- Jones, K. L., Poole, G. C., O'Daniel, S. J., Mertes, L. A. K., & Stanford, J. A. (2008). Surface hydrology of low-relief landscapes: Assessing surface water flow impedance using LIDAR-derived digital elevation models. *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4148–4158.
- Karimi, Mohsen, et al. "Improving Monitoring and Controlling Parameters for Alzheimer's Patients Based on IoMT." *Prognostic Models in Healthcare: AI and Statistical Approaches*. Springer, Singapore, 2022. 213-237.
- Kramer, M., Chanson, H., & Felder, S. (2020). Can we improve the non-intrusive characterization of high-velocity air–water flows? Application of LIDAR technology to stepped spillways. *Journal of Hydraulic Research*, 58(2), 350–362.
- Monsef, H., Naghashadegan, M., Jamali, A., & Farmani, R. (2019). Comparison of evolutionary multi objective optimization algorithms in optimum design of water distribution network. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(1), 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.04.003>
- Poojitha, S. N., Singh, G., & Jothiprakash, V. (2020). Improving the optimal solution of GoYang network – using genetic algorithm and differential evolution. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(1), 95–102. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.139>
- Raftarai, Arash, et al. "Predictive models of hospital readmission rate using the improved adaboost in COVID-19." *Intelligent Computing Applications for COVID-19*. CRC Press, 2021. 67-86
- Razack, M., Furi, W., Fanta, L., & Shiferaw, A. (2020). Water resource assessment of a complex volcanic system under semi-arid climate using numerical modeling: The borena basin in Southern Ethiopia. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010276>
- Sirsant, S., & Reddy, M. J. (2020). Assessing the Performance of Surrogate Measures for Water Distribution Network Reliability. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001244](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001244)
- Sonaje, N. P., & Joshi, M. G. (2015). A Review of Modeling an Application of Water Distribution Networks (WDN) Softwares. *International Journal of Technical Research and Applications*, 3(5), 174–178. [www.ijtra.com](http://www.ijtra.com). Accessed 6 June 2020
- Todini, E. (2007). On the convergence properties of the different pipe network algorithms. In *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006* (p. 75). [https://doi.org/10.1061/40941\(247\)75](https://doi.org/10.1061/40941(247)75)
- Tospornsampan, J., Kita, I., Ishii, M., & Kitamura, Y. (2007). Split-Pipe Design of Water Distribution Network Using Simulated Annealing. *International Journal of Computer and Information Engineering*, 1(3), 154–164. <https://pdfs.semanticscholar.org/d871/6d7df18bb3519790b90d8c4890d2f58dcc20.pdf>. Accessed 6 June 2020
- van Beek, P. (2019). Image-based compression of lidar sensor data. In *IS and T International Symposium on Electronic Imaging Science and Technology* (Vol. 2019). Society for Imaging Science and Technology. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2019.15.AVM-043>
- Vaze, J., & Teng, J. (2007). High resolution LIDAR DEM–How good is it. *Modelling and Simulation*, 692–698.
- Xu, Z., Yao, L., & Chen, X. (2020). Urban water supply system optimization and planning: Bi-objective optimization and system dynamics methods. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106373.
- Zhang, H., Yao, Z., Yang, Q., Li, S., Baartman, J. E. M., Gai, L., et al. (2017). An integrated algorithm to evaluate flow direction and flow accumulation in flat regions of hydrologically

corrected DEMs. *Catena*, 151, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.009>  
Zhao, W., Beach, T. H., & Rezgui, Y. (2016). Optimization of Potable Water Distribution and Wastewater Collection Networks: A Systematic Review and Future Research Directions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 46(5), 659–681. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2015.2461188>

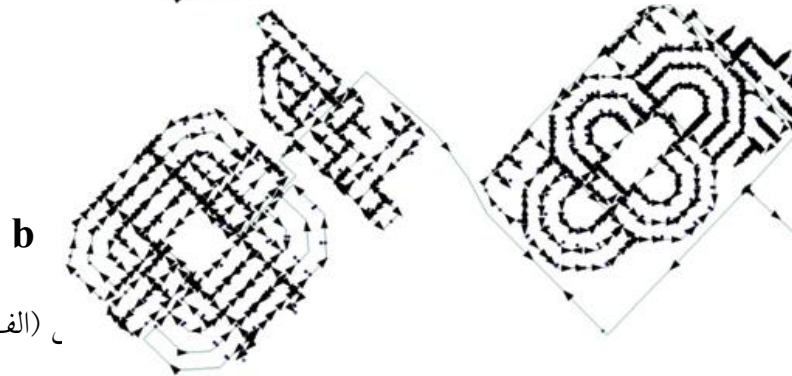
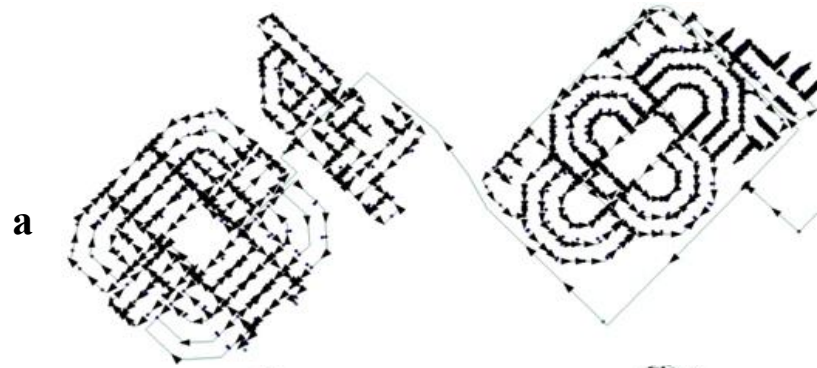




شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. بلوک دیاگرام روند پیشنهادی



الف وب) LiDAR، و

مقایسه دو الگوی. (ج) خطوط قهوه ای و ابی، بر جسته به ترتیب جهت جریان توافق شده

