



University of
Sistan and Baluchestan



Association of Geography
and Planning
of Border Areas of Iran

Calculate the Height and the Number of Floors of Buildings in Sloping Roofs Using Lidar Data and Ultracam Images

Firouz Jafari^{1✉}, Fatemeh Movahhed²

1. Assistant Professor in Geography and Urban Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

✉ E-mail: Fjafari58@gmail.com

2. M.Sc. in Geography and Urban Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: movahhedf06@gmail.com



How to Cite: Jafari, F & Movahhed, F. (2022). Calculate the Height and the Number of Floors of Buildings in Sloping Roofs Using Lidar Data and Ultracam Images. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 12 (43), 1-6.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GAIJ.2022.38707.2928>

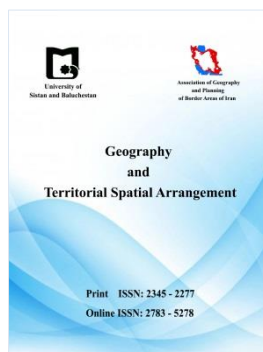
Article type:
Research Article

Received:
29/05/2021

Received in revised form:
17/07/2021

Accepted:
12/12/2021

Publisher online:
22/06/2022



ABSTRACT

The height of the building is one of the important factors in organizing the urban landscape and one of the parameters affecting the urban density. The use of modern methods and tools plays an important role in extracting the height of buildings. One of these tools is LIDAR, a relatively new technology and a rapid method for ultracam, high-precision sampling to obtain digital surface-to-surface (DSM) models. the purpose of this research is to evaluate the use of a new tool in urban planning based on extracting the height of buildings and the number of building floors, using Lidar point and ultrasound images in two stages of detecting buildings and calculating the number of floors in An area of Bandar_Anzali with an area of 23 hectares (including 417 buildings) was classified and extracted using ARCGIS, ENVILIDAR software. All the algorithms used enabled the system to successfully extract the structures from the lidar data. The obtained data and their matching with the samples taken in the field survey show the accuracy of the extracted boundaries and classes. In general, the proposed system performs well in terms of data completeness, accuracy and consistency. According to the research findings, it can be said that lidar technology has an extraordinary ability to collect very accurate and dense samples of Ground level measurements have been provided and new dimensions of accurate building height details can be extracted automatically and efficiently from aerial weather data.

Keywords:

building height, lidar, ultracam, Anzali, ENVI, ARCGIS.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

The height of the building is one of the important factors in organizing the urban landscape. This value is another variable affecting urban density, which is usually considered in regular rules and regulations on projects. In this regard, the use of lidar technology as a new tool in the field of aerial imaging, to calculate the height and building floors, is one of the topics discussed in the field of urban studies (Jafari, 2014: 78). One of the most important issues in relation to urban spaces and management and program-oriented issues is the achievement of real models of urban tolls to obtain data and various information related to those tolls (Azizkhani, 2013: 2-3) In recent years, the need for a three-dimensional model of a building with acceptable geometric accuracy has become one of the serious needs in various fields such as management and urban planning, civil engineering, spatial information systems, crisis management, etc. (Khani Pardanjan et al., 2018: 7) and in recent years, the demand for the use of three-dimensional urban models has been increasing sharply (Hofmann, 2007: 12). Among the special applications of these models are fields such as urban planning, cartography, architecture, environmental planning, spatial information systems, tourism, communications, etc. (Elbernik & Mass, 2000: 33). The three-dimensional model of buildings is the most important part of a virtual urban model, and the only economical solution for the production of such models is the use of photogrammetric technology and remote sensing (Forstner, 1999: 761–76).

Study Area

Anzali port as a study area, with an area of about 315 square kilometers is located in the north of the Iranian plateau in Guilan province. The city is located between 37 degrees and 28 minutes and 27 seconds north latitude and 49 degrees and 25 minutes and 40 seconds east longitude in terms of geographical coordinates.

Material and Methods

The collection studied in this research is related to a part of Bandar Anzali city in Guilan province. This data set includes digital aerial photographs of vertical and irregular cloud points in the region, aerial photographs were taken by the Ultra Cam D digital camera with a focal length of 105.2 mm, and laser aerial scanner data was captured by a UAC sensor. Vertical aerial photography has a spatial resolution of 8 cm and aerial scanner laser data has a density of 1 to 2 points per square meter and the location of the points is 0.69 square meters. In fact What is considered in this research is to present a new method in urban planning based on extracting the height of buildings and the number of floors using Lidar super points, which includes two general steps. In the first step, the lidar data were filtered and separated from other lidar points related to land and vegetation using the elevation threshold method, and to produce a 3D model of the extraction and extraction of the extraction. The dimensions of each circle became 2D. Discovering the boundaries of buildings was made possible by creating points in each corner of the extracted building features. In the second stage, after extracting the first building boundaries and determining the points related to the buildings, the digital surface model information was assigned to the extracted building features and according to the assigned heights of the building floors by the nearest height method.

Result and Discussion

For calculating height of buildings, The passage to the building was calculated along with the average height of the building above sea level (-26), which is referred to as the average height of the area. To complete the height of the buildings, the difference between the average height of the area and the height of the nearest passage to the building entrance was used. To find the number of floors, taking into account the height of the roof of the building, which according to the prevailing standards includes a range between 2.80 meters to 4 meters, was calculated and the building floors in four sections: one floor, two floors, three floors and four and It became more clear. The data source for the proposed system consisted of air borne Lidar data with rare vision and ultra Cam aerial Images. Were extracted. All the functions used enabled the system to successfully extract the structures from the lidar data. The obtained data and their matching with the samples taken in the field survey, show the accuracy of the boundary and the extracted classes are relatively good and the proposed system in terms of completeness, accuracy, and consistency of the data. It had a good performance.

Conclusion

Finally, considering the research of Beilingwei U and et al., Under the title of automatic extraction of density information of urban buildings using lidar data(Bailang Yu & et al., 2010: 210-219). and the results obtained in

the present study, it was determined that aerial lidar technology has an extraordinary ability. In collecting very right and dense samples of altitude measurements of the city level has been provided and a new level of detail of right building height information can be automatically and efficiently extracted from the aerial data.

Key words: Height of the building, lidar, ultraCam, Anzali, ENVI, ArcGIS.

References (Persian)

Parsiyan, Saeed. (2014). Building extraction using hyperspectral and lidar data integration, master's thesis, field of civil engineering and mapping, Tafresh University, pp. 1-2.

<https://gisj.sbu.ac.ir/index.php/GIS/article/view/article96491html>

Sajjadi, Seyed Yusuf; Parsian, Saeed. (2017). Building extraction using the integration of hyperspectral and lidar data using machine learning, remote sensing and GIS, Iran Research Institute of Humanities and Cultural Studies, 10th year, number 2, pp. 12.

<http://ensani.ir/fa/article/391748>

Seif, Abdullah; Mahmoudi, Tayebe. (2014). Lidar sensor and its applications, Geographical Information Quarterly (Sepehr), Geographical Organization, Geographical Organization, Volume 22, No. 89, pp. 72-80.

http://www.sepehr.org/article_13059.html

Shamsodini, Ali. (2016). Measuring the efficiency of lidar and optical data in order to extract the structural parameters of the forest, planning and planning of space, Research Institute of Humanities and Cultural Studies, Tarbiat Modares University, 21st term, number 2, pp. 119-145.

<http://ensani.ir/fa/article/285741/>

Azizkhani, Mohammadreza; Ebadi, Hamid; Mokhtarzadeh, Mehdi. (2012). Automatic reconstruction of the 3D building model from aerial laser scanner data with an emphasis on the development of hyper point clustering algorithms, master's thesis, civil engineering field - photogrammetric trend mapping, Khajeh Nasiroddin Tusi University, pp. 2-3.

<https://www.virascience.com/thesis/656787/>

Khani Pardanani, Hamed; Shabanpur, Negar; Rezaei Farhadabad, Ali; Riahi Bakhtiari, Hamidreza. (2017). Extracting and reconstructing the three-dimensional building model using airborne lidar data and ultracam images, 25th National Geomatics Conference and Exhibition and 3rd Location Information Technology Engineering Conference, Tehran, pp. 7.

<https://civilica.com/doc/880017>

Ghorbani, Raoul. (2004). Density and organization of urban spaces (example: Tabriz), PhD thesis, Tabriz University, pp. 20.

<https://civilica.com/doc/631747/>

Iranian Statistics Center, Gilan Province Yearbook, Bandar Anzali City, (2015).

<https://www.amar.org.ir>

Hojabri, Balal; Samadzadegan, Farhad; Arefi, Hossein. (2013). Reconstruction of the building model based on the integration of lidar super point and aerial image, Scientific-Research Journal of Mapping Sciences and Techniques of the Scientific Association of Mapping and Geomatics Engineering of Iran, Scientific Association of Mapping and Geomatics Engineering of Iran, third period, number 4, pp. 103-121.

https://jgst.issge.ir/browse.php?a_id=168&sid=1&slc_lang=fa

References (English)

AD. Hofmann(2007). "An Approach to 3D Building Model Reconstruction from Airborne Laser Scanner Data Using Parameter Space Analysis and Fusion of Primitives". Munchen University, Geodesy Commission, pp:12 .

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

Andrew S. Huntington(2020). “InGaAs Avalanche Photodiodes for Ranging and Lidar, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials”,pp: 45.

<https://www.elsevier.com/books-and-journals>

Bailang Yu , Hongxing Liu ,Jianping Wu ,Yingjie Hu ,Li Zhang(2010). “Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method”, jurnal Landscape and Urban Planning, pp: 210-219.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920461000191X>

Burton, E. (2000). The Compact City: Just or Just Compact? A Preliminary Analysis, Urban Studies, Vol. 37 (11) pp: 1969-2001.

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1080/00420980050162184>

Chaouch, A., and Mari, J. L., (2006). 3D Land Seismic Surveys: Defiition of Geophysical Parameters Oil & Gas Science andTechnology – Rev. IFP , Vol. 61, No. 5, pp. 611- 630. Between photogrammetry and laser scanning ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp: 83–94 .

http://scholar.google.com/scholar?q=:+Definition+of+Geophysical+Parameters+Oil+%26+Gas+Science+and+Technology&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

Cuthbert, A. R. (2006) the form of Cities, Carlton, Victoria: John Wiley, pp: 33.

[http://www.cmecc.com/uploads/%E8%AF%BE%E6%9C%AC%E5%92%8C%E8%AE%BA%E6%96%87/Urban.Planning_Design/\[72\]\[%E8%A7%84%E5%88%92%E8%AE%BE%E8%AE%A1\]Alexander.R.Cuthbert.\(2006\)The.form.of.cities.political.economy.and.urban.design.pdf](http://www.cmecc.com/uploads/%E8%AF%BE%E6%9C%AC%E5%92%8C%E8%AE%BA%E6%96%87/Urban.Planning_Design/[72][%E8%A7%84%E5%88%92%E8%AE%BE%E8%AE%A1]Alexander.R.Cuthbert.(2006)The.form.of.cities.political.economy.and.urban.design.pdf)

C. Brenner(2005). “Building reconstruction from images and laser scanning”. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6, pp: 187–197.

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

Dave, Seema(2011), Neighbourhood Density and Social Sustainability in Cities of Developing Countries, Sust. Dev 19. Wiley Online Library, pp:189–205.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sd.433>

Dong, P., Zhong, R., and Yigit, A (2018). Automated parcel-based building change detection using multitemporal airborne LiDAR data. Surveying and Land Information Science, (in press). Surveying and Land Information Science, Volume 77, Number 1, May 2018, pp: 5-13(9).

<https://www.ingentaconnect.com/content/aags/salis/2018/00000077/00000001/art00002>

Fanos, A. M., Pradhan, B., Mansor, S., Yusoff, Z. M., & bin Abdullah, A. F (2018). A hybrid model using machine learning methods and GIS for potential rockfall source identification from airborne laser scanning data. Landslides, 15(9), pp: 1833–1850.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-018-0990-4>

Forsyth, A., Oakes, J. M., Schmitz, K. H. & Hearst, M. (2007) Does Residential Density Increase Walking and Other Physical Activity?, Urban Studies, Vol. 44 (4) ,pp: 679-697.

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1080/00420980601184729>

F Ackerman(1999). “Airborne laser scanning - present status and future expectations”. J Photogramm Remote Sens 54, pp: 64–67.

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

Idrees, M. O., & Pradhan, B(2018). Geostructural stability assessment of cave using rock surface discontinuity extracted from terrestrial laser scanning point cloud. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 10(3), pp: 534–544.

<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.11.011>

J. Peng, D. Zhang, Y. Liu(2005). “An improved snake model for building detection from urban aerial images”, Pattern Recognition Letters 26, pp: 587–595.

http://scholar.google.com/scholar?q=An+improved+snake+model+for+building+detection+from+urban+aerial+images&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

L. WANG and H. LIU(2006). An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling, Department of Geography, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA, pp: 193-213.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810500433453>

M. Galloway, C. Lloyd, J. Mckinley(2012). “Optimal interpolation of airborne laser scanning data for fine-scale dem validation purposes”. In Symposium GIS Ostrava, Proceedings Surface models for geosciences, Ostrava, Czech Republic. January, pp: 23-25.

http://scholar.google.com/scholar?q=Optimal+interpolation+of+airborne+laser+scanning+data+for+fine-scale+dem+validation+purposes&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

M. Hebel(2008). “Pre-classification of points and segmentation of urban objects by scan line analysis of airborne lidar data”. The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science XXXVII, pp: 1.

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

Pan, X. Z. et al., (2008), Analyzing the Variation of Building Density Using High Spatial Resolution Satellite Images: the Example of Shanghai City, Sensors, Vol. 8, No. 4, pp: 2541-2550.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3673430/>

Rastiveis, H., Samadzadegan, F., & Reinartz, P(2013). A Fuzzy Decision Making System For Building Damage Map Creation Using High Resolution Satellite Imagery. Natural Hazards And Earth System Sciences, 13(2), pp: 455.

http://scholar.google.com/scholar?q=A+Fuzzy+Decision+Making+System+For+Building+Damage+Map+Creation+Using+High+Resolution+Satellite+Imagery&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., and Kubik, K.(2002), Detecting Buildings and Roof Segments by Combining LIDAR Data and Multispectral Images, Proceedings of Image and Vision Computing, Massey University, Palmerston North. N.Z., New Zealand. November, pp: 6-65,26-28.

https://www.researchgate.net/publication/37617535_Detecting_Buildings_and_Roof_Segments_by_Combining_LIDAR_Data_and_Multispectral_Images

Sivam, A., Karuppanan, S. and Davis, M. C. (2011). Stakeholders' Perception of Residential Density: A Case Study of Adelaide, Journal of Housing and the Built Environment, pp: 2.

[http://scholar.google.com/scholar?q=\).+Stakeholders%27+Perception+of+Residential+Density:+A+Case+Study+of+Adelaide&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar](http://scholar.google.com/scholar?q=).+Stakeholders%27+Perception+of+Residential+Density:+A+Case+Study+of+Adelaide&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)

Sivam, A. and Karuppanan, S. (2012) Density Design and Sustainable Residential Development, Presented at the European Network for Housing Research Conference 2009, 28 June to 1 July, Prague, Czech Republic, pp: 2.

http://scholar.google.com/scholar?q=Density+Design+and+Sustainable+Residential+Development,+Presented+at+the+European+Network+for+Housing+Research+Conference+2009&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

SO. Elbernik, HG. Mass(2000). “The use of anisotropic height texture measurements for the segmentation of airborne laser scanner data”, pp: 33 .

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

You, S. (2003). Urban Site Modeling from Lidar. 2nd Int'l Workshop Computer Graphics and Geometric Modeling (CGGM), Springer”, pp: 579 –588.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.1368&rep=rep1&type=pdf>

Wang, M., Tseng, Y(2004). LiDAR data segmentation and classification based on octree structure. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 35, pp: 308-313.

http://scholar.google.com/scholar?q=LiDAR+data+segmentation+and+classification+based+on+octree+structure.+International+Archives+of+Photogrammetry+and+Remote+Sensing&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

Wang, H., Shi S., and Rao X., (2013), A Study of Urban Density in Shenzhen, the Relationship between Street Morphology, Building Density and Land use, *Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium*, Seoul, pp: 2.

<https://urs.ui.ac.ir/?action=export&rf=isc&issue=4253>

W. Forstner(1999). “3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods”. Gustafson EE, Kessel WC (1997) *Fuzzy Clustering With A Fuzzy Covariance Matrix*. San Diego, pp: 761–76 .

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

محاسبه ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان‌ها در سقف شیبدار با استفاده از داده لیدار و تصاویر اولتراکم*

فیروز جعفری^{۱*}، فاطمه موحد^۲

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای
 شماره ۴۳، تابستان ۱۴۰۱
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸
 تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱
 صفحات: ۳۰-۱

چکیده

ارتفاع ساختمان از عوامل مهم در ساماندهی منظر شهری و از پارامترهای تأثیرگذار بر تراکم شهری است. استفاده از روش‌ها و ابزارهای نوین، نقش مهمی در استخراج ارتفاع ساختمان‌ها دارد. یکی از این ابزارها، LIDAR^۱ است که یک فناوری نسبتاً جدید و یک روش سریع برای نمونه‌برداری با چگالی و دقت بالا در جهت به‌دست آوردن مدل‌های دیجیتالی از سطح زمین (DSM) است. آنچه در این پژوهش مدنظر بوده، ارزیابی استفاده از یک ابزار نوین در برنامه‌ریزی شهری مبنی بر استخراج ارتفاع ساختمان‌ها و تعداد طبقات ساختمانی است که با استفاده از ابرنقاط لیدار و تصاویر اولتراکم در دو مرحله آشکارسازی ساختمان‌ها و محاسبه تعداد طبقات آن‌ها، در محدوده‌ای از شهر بندر انزلی به مساحت ۲۳ هکتار (شامل ۴۱۷ ساختمان) و با استفاده از نرم‌افزارهای ARCGIS^۲، ENVILIDAR^۳ کلاسه‌بندی و استخراج شدند. تمامی الگوریتم‌های به‌کارگرفته‌شده، سیستم را قادر کرد تا ساختمان‌ها به‌صورت موفقیت‌آمیز از داده‌های لیدار استخراج شوند. داده‌های به‌دست آمده و تطبیق آن‌ها با نمونه‌های برداشت‌شده در پیمایش میدانی، نشان‌دهنده دقت مرز و طبقات استخراج شده است. به‌طور کلی سیستم پیشنهادی از نظر کامل بودن، صحت و تطابق داده‌ها دارای عملکرد خوبی است. با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان گفت تکنولوژی لیدار هوایی قابلیت فوق‌العاده‌ای در جمع‌آوری نمونه‌های بسیار دقیق و مترکم از اندازه‌گیری‌های ارتفاعی سطح زمین فراهم کرده‌است و می‌توان ابعاد جدیدی از جزئیات دقیق ارتفاع ساختمان‌ها را به‌طور اتوماتیک و کارآمد از داده‌های لیدار هوایی استخراج کرد.



واژه‌های کلیدی:
 ارتفاع ساختمان، لیدار، اولتراکم،
 ANZLI, ENVI, ARCGIS.

مقدمه

ارتفاع ساختمان از عوامل مهم در ساماندهی منظر شهری است. این پارامتر یکی دیگر از متغیرهای تأثیرگذار بر تراکم شهری است که به‌طور معمول در ضوابط و مقررات منظم بر طرح‌ها، مدنظر قرار می‌گیرد. معیار ارتفاع ساختمان ابزار دقیق‌تری برای حصول اطمینان از انطباق ساختمان با بافت اطراف است. معمول‌ترین و کم‌فایده‌ترین

* UltraCam Images (تصاویر برداشت شده توسط دوربین رقومی)

Fjafari58@gmail.com
 movahhdf06@gmail.com

۱- استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول)

۲- کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

1 - Light Detection and Ranging

2 - Digital Surface Model

3 - Environment for Visualizing Images Light Detection and Ranging

شیوهٔ ارائهٔ ضابطهٔ ارتفاع ساختمان به این شکل است که: ارتفاع ساختمان‌های جدید نباید با ارتفاع ساختمان‌های اطرافشان به شکل چشم‌گیری اختلاف داشته باشند. این ضابطه به‌طور عمده تأثیر طراحانه دارد و تأثیر برنامه‌ریزانهٔ آن بسیار اندک است (جعفری، ۱۳۹۳: ۷۸). تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها در ایجاد «محسوریت فضایی» خیابان‌ها قابل توجه است. فضای شهری در صورتی فضای مثبت و قابل درک برای ناظر است که نسبت ارتفاع جداره به عرض خیابان از حد معینی تجاوز نکند. یکی از مهم‌ترین موضوعات در رابطه با فضاهای شهری و مسائل مدیریتی و برنامه‌محور، دستیابی به مدل‌های واقعی از عوارض شهری برای به‌دست‌آوردن داده‌ها و اطلاعات مختلف مرتبط با آن عوارض است (عزیزخانی، ۱۳۹۲: ۲-۳) در سال‌های اخیر نیاز به مدل سه‌بعدی ساختمان با دقت هندسی قابل قبول به یکی از نیازهای جدی در حوزه‌های مختلف مانند مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، مهندسی عمران، سامانه‌های اطلاعات مکانی، مدیریت بحران و... دلیل گشته است (خانی‌پردنجانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۷) و در سال‌های اخیر نیز این تقاضا برای استفاده از مدل‌های سه‌بعدی شهری به‌شدت روبه‌افزایش بوده است (Hofmann, 2007: 12). از جمله کاربردهای ویژهٔ این مدل‌ها، می‌توان زمینه‌هایی مانند برنامه‌ریزی شهری، کار توگرافی، معماری، برنامه‌ریزی محیطی، سامانه‌های اطلاعات مکانی، تورسیم، ارتباطات و... را نام برد (Elbernik & Mass, 2000: 33). براساس تحقیقات صورت‌گرفته در مؤسسهٔ تحقیقاتی فتوگرامتری تجربی اروپا (O.E.E.P.E¹)، مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها، مهم‌ترین قسمت مورد نیاز در یک مدل مجازی شهری است که تنها راه‌حل اقتصادی برای تولید این گونه مدل‌ها، استفاده از فناوری فتوگرامتری و سنجش‌ازدور است (Forstner, 1999: 761-76). دلیل اهمیت مدل‌های مجازی شهری که با استفاده از داده‌های دقیق به‌دست می‌آیند، کاربرد آن‌ها در محاسبه و به‌دست‌آوردن شدت استفاده از زمین و ریخت‌شناسی شهری است. استخراج ساختمان‌های شهری و غیرشهری به‌معنی عمل برداشت پارامترهای ساختمان، مانند شیب سقف یا خطوط اطراف ساختمان، ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان، محاسبهٔ مساحت ساختمان بر مبنای سقف آن‌ها و... بدون تولید یک مدل سه‌بعدی مجازی از ساختمان است (پارسیان، ۱۳۹۴: ۱)؛ از این رو یکی از مزایای استفاده از نقشه‌برداری هوایی، استخراج و پردازش عوارض مختلف به کمک تصاویر هوایی است که باعث می‌شود هزینه‌های زمانی و مالی مربوط به استفاده از نقشه‌برداری زمینی و نیز خطاهای انسانی حاصل از آن تا حد ممکن کاهش یابد؛ به‌طوری که تنها با یک مرحله عکس‌برداری از سطح منطقهٔ مورد مطالعه، امکان شناسایی و استخراج اغلب عوارضی که در آن منطقه وجود دارد، فراهم می‌شود (پارسیان، ۱۳۹۴: ۲)؛ بنابراین با پیشرفت سنجنده‌های هوایی از جنبهٔ قدرت تفکیک مکانی و طیفی و نیز با روی کار آمدن سنسورهایی با موقعیت دقیق و فراهم شدن امکان برداشت ارتفاع سطح زمین، سنجنده‌های مختلفی تولید و ارائه شده‌اند که با استفاده از هر کدام از آن‌ها می‌توان بخشی از اطلاعات مربوط به عارضهٔ زمینی، مانند خصوصیات طیفی و مکانی را برداشت کرد (پارسیان، ۱۳۹۴: ۱). مدل سه‌بعدی ساختمان به‌عنوان یک شیء ساختمان سه‌بعدی مجازی با توپولوژی کامل، بیان می‌شود. مفهوم توپولوژی بدین معناست که هر صفحه از مدل ساختمان دارای یک برچسب مخصوص است؛ به‌گونه‌ای که همسایگی‌ها و ارتباطات بین همسایگان در این مدل مشخص است. بدیهی است برخی اطلاعات می‌تواند به عنوان اطلاعات معنایی بیان شود. یک مدل سه‌بعدی ساختمان به‌طور عام یک مدل مجازی خلاصه‌شده از ساختمان در جهان واقعی است (Brenner, 2005: 187-197). با ورود سنجندهٔ لیدار به‌عنوان یک سنجندهٔ فعال تولیدکنندهٔ داده‌های سه‌بعدی به عرصهٔ مطالعات شهری، تحولی بزرگ در زمینهٔ تهیهٔ داده‌های

اولیه در جهت تولید مدل‌های سه‌بُعدی از مناطق شهری ایجاد شد (Ackerman, 1999: 64-67). با افزایش استفاده از داده‌های LiDAR در مطالعات شهری، تشخیص تغییرات سه‌بُعدی پراکندگی شهری افقی و عمودی به موضوع مهمی تبدیل شد (Dong et al, 2018: 5-13). به دنبال آن توسعه‌دهندگان و محققان به سمت ارائه روش‌های مختلف در زمینه استخراج عوارض مورد نظر از داده‌های بیرونی نظیر ساختمان‌ها و جاده‌ها با استفاده از داده‌های لیزراسکنر متمایل شدند (Hebel, 2008: 1). پس می‌توان چنین بیان کرد: یکی از منابع داده‌ای که اخیراً از آن به‌عنوان داده‌های مکمل در شناسایی عوارض استفاده می‌شود، داده‌های لیدار است که سنجنده آن به ارسال و دریافت و طیف الکترومغناطیس در حوزه طیفی مادون قرمز نزدیک (در نوع هوایی آن) و ترکیبی از طیف‌های مادون قرمز نزدیک و باند سبز (در نوع فضایی) می‌پردازد (سیف و محمودی، ۲۰۱۴: ۷۲-۸۰). غالباً گیرنده‌های نوری مورد استفاده در سیستم‌های لیدار دارای دروازه هستند؛ به این معنی که گیرنده فقط برای یک دوره زمانی ثابت فعال است که طی آن سیگنال منعکس شده قابلیت دریافت شدن توسط سنجنده را دارد (Andrew, 2020: 45).

دلیل عملکرد بهتر لیدار نسبت به سایر داده‌های سنجش از دور، به فیزیک برداشت این داده‌ها مربوط است؛ چراکه این داده‌ها به صورت مستقیم اقدام به اندازه‌گیری ارتفاع عوارض سطح زمین می‌کند (شمس‌الدینی، ۱۳۹۶: ۱۱۹-۱۴۵)؛ بنابراین، اطلاعات ارتفاعی به دست آمده از LiDAR به دلیل توانایی آن در استخراج سه‌بُعدی عوارض ارتفاعی از سطح زمین به عنوان یک تکنیک مفید در نظر گرفته می‌شود (Idrees et al, 2018: 534-544 & Fanos et al, 2018: 1833-1850). در این میان می‌توان به صراحت اعلام کرد که با وجود تحقیقات انجام گرفته و هرچند محدود، در زمینه ساختمان‌ها با استفاده از لیدار، هنوز پژوهشی مبنی بر استخراج ارتفاع ساختمان‌ها در داخل کشور صورت نگرفته است. درجه بالای خودکارسازی در پیاده‌سازی الگوریتم‌ها و پردازش‌های ساده و همچنین استفاده مستقیم از داده‌های زمین مرجع، مهم‌ترین مزایای این منبع داده نسبت به بقیه منابع داده است؛ اما مشکلاتی نظیر پردازش حجم بسیار بالای داده، وجود نویز در داده‌ها، ناتوانی در نمایش لبه‌ها به صورت آشکار و نبود تعبیری صریح از مؤلفه بافتی در داده‌های لیزراسکنر باعث شده است بسیاری از محققان به تلفیق این داده با دیگر منابع داده مانند عکس‌های هوایی، داده‌های نقشه‌های موجود و داده‌های (InSAR^۱) نگاهی ویژه داشته باشند (هژبری و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۳-۱۲۱). در مسئله بازسازی ساختمان در مناطق شهری متراکم، همانند دیگر مسائل سخت، عملاً امکان یافتن یک راه حل فراگیر و استفاده از آن در تمام مجموعه داده‌ها، با ساختمان‌هایی با اشکال متفاوت میسر نیست (Rottensteiner and Jansa, 2002: 6-65, 26-28). بسیاری از الگوریتم‌های ارائه شده در این زمینه مختص نوع مشخصی از ساختمان‌ها با شکل سقف مشخص هستند. روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی ساختمان به صورت اتوماتیک یا نیمه‌اتوماتیک از تصاویر ماهواره‌ای، هوایی و داده‌های لیدار توسعه یافته است (Wang and Tseng, 2004: 308-313). بسیاری از تکنیک‌ها مانند فتوگرامتری، LIDAR، IFSAR^۲ و SAR^۳ برای شناسایی و استخراج ویژگی‌ها در مناطق شهری وجود دارد. براساس تحقیقات صورت گرفته، از یک سو پتانسیل لیدار در شناسایی و استخراج سه‌بُعدی عوارض بیش از بقیه روش‌ها است (Wang and Liu, 2006: 193-213). از سوی دیگر، در داده‌های لیدار فقط ارتفاع و میزان شدت امواج بازگشتی موجود است؛ بنابراین با استفاده انفرادی از آن‌ها نمی‌توان برای استخراج هرگونه عارضه‌ای به دقت بالا رسید (سجادی و پاریسیان، ۱۳۹۷: ۱۲). به علاوه تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که خطاها

1 - International Society for Autism Research

2 - Interferometric synthetic aperture radar

3 - Specific Absorption Rate

عمدتاً ناشی از ساختمان‌های در حال ساخت، ساختمان‌های زیر سایه‌بان درختان و تراکم نسبتاً کم داده‌های لیدار است (Dong et al, 2018: 5-13). در پژوهش حاضر سعی شده تا از داده‌های لیدار با در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف که در ترکیبی از تصاویر هوایی اولتراکم قرار گرفته‌است، به منظور استخراج ارتفاع ساختمان در نمونه مشخصی از سقف (شیبدار) استفاده شود.

تحقیقات انجام گرفته در زمینه استخراج اتوماتیک یا نیمه‌اتوماتیک عوارض شهری، مثل ساختمان‌ها و جاده‌ها، از اواخر سال ۱۹۸۰ میلادی شروع شده‌است. در جهت دستیابی به استخراج عوارض از منابع داده‌های متفاوت مثل تصاویر تک‌باندی، تصاویر رنگی، تصاویر استریو، تصاویر چندگانه یا تصاویر فاصله‌ای مربوط به سامانه لیدار استفاده شده‌است (Peng, et al, 2005: 587-595). مهم‌ترین تحقیقی که در این زمینه انجام گرفته‌است، تحقیق بایلنگ‌یو و همکاران در سال ۲۰۱۰، با عنوان استخراج اتوماتیک اطلاعات تراکم ساختمان‌های شهری با استفاده از داده‌های لیدار در مرکز شهر هوستون است. آنان به این نتیجه رسیدند که تکنولوژی لیدار هوایی قابلیت فوق‌العاده‌ای را در جمع‌آوری نمونه‌های بسیار دقیق و مترکم از اندازه‌گیری‌های ارتفاعی سطح شهرها فراهم کرده‌است و می‌توان سطح جدیدی از جزئیات اطلاعات دقیق تراکم ساختمان را به‌طور اتوماتیک و کارآمد از داده‌های لیدار هوایی استخراج کرد. در این تحقیق ابتدا، مجموعه‌ای از ویژگی‌های حجمی و هندسی در مقیاس ساختمان، به‌منظور توصیف شکل و اندازه ساختمان‌ها، محاسبه شده سپس، با برقراری ارتباط با قطعات زمین از طریق عملیات توپولوژیکی، دو شاخص تراکم ساختمان که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند، یعنی BCR^1 و FAR^2 ، محاسبه شده و در مقیاس قطعه زمین رسم شد. در نهایت، مجموعه‌ای از ویژگی‌های تراکم در مقیاس منطقه شهری محاسبه و یک توصیف کمی از ساختار مکانی سه‌بعدی چشم‌انداز شهر ارائه دادند (Bailang Yu & et al, 2010: 210-219).

مبانی نظری

تعاریف و مفاهیم کلیدی درباره تراکم:

تراکم مفهوم کلیدی در برنامه‌ریزی و معماری برای پیش‌بینی و کنترل کاربری اراضی است و تحت‌تأثیر تاریخ، فرهنگ و زمینه‌های اجتماعی، نگرش‌های سیاسی و اقتصادی قرار گرفته‌است (Sivam and et al, 2011: 2). تنوع و پیچیدگی در تعریف و معنی تراکم بسیار مشهود و واضح است. در محیط ساخته‌شده تراکم بیشتر به معنی نسبت جمعیت یا فضای ساخته‌شده به مساحت زمین است (Dave.S, 2011: 192). به بیانی مختصر، تراکم یک واحد اندازه‌گیری در یک محدوده است (Forsyth et al, 2007: 679-697). اصطلاحی است که ارتباط بین یک محدوده معین و تعداد افرادی که در آن محدوده ساکن بوده یا از آن استفاده می‌کنند را نشان می‌دهد و به‌صورت نسبت جمعیت یا تعداد واحد مسکونی به محدوده بیان می‌شود (Burton, 2000: 1969-2001 & Cuthbert, 2006: 33 & Forsyth et al, 2007: 679-697).

به‌طور کلی می‌توان گفت، تراکم اصطلاحی بحث‌برانگیز است که اکثراً در مبانی شهرسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از مفاهیم کلیدی در برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌رود؛ به‌طوری‌که تمامی مکاتب شهرسازی ناگزیر از پرداختن به آن بوده‌اند؛ آنچنانکه از پیدایش برنامه‌ریزی شهری موضوع تراکم شهری نیز مطرح بوده‌است (قربانی، ۱۳۸۳:

1 - Building Coverage Ratio

2 - Floor area ratio

۲۰). موضوع تراکم در مبانی شهرسازی جهان و ایران دارای تعاریف و اصطلاحات گوناگونی است که شامل تراکم جمعیتی، تراکم ساختمانی، تراکم مسکونی، تراکم کلی مسکونی، تراکم مسکونی خالص و ناخالص و تراکم شهری بوده و در برخی موارد تفاوت‌هایی بین نحوه تعریف و استفاده آن‌ها وجود دارد (جعفری، ۱۳۹۳، ۷۸).
انواع تراکم:

اکثریت افراد دارای صلاحیت بین‌المللی در حوزه شهرسازی تراکم را در الگوها و فرم‌های گوناگون تا برنامه‌ریزی و قوانین ساخت‌وساز، مانند محدودیت بر تراکم جمعیتی، اندازه مسکن و ضریب سطح طبقات در مناطق شهری مورد استفاده قرار می‌دهند. با این وجود، تراکم یکی از ابعاد چالش‌دار در شهرسازی معاصر است (Sivam and Karuppannan, 2012, 2). دو مفهوم تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی در هم آمیخته است؛ به نحوی که افزایش تراکم در یکی، منجر به افزایش آن در دیگری می‌شود. تراکم بالا بر نسبت بالای ساختمان‌ها در یک محیط مشخص دلالت دارد (Dave, 2011, 192).

تراکم ساختمانی:

تراکم ساختمانی نسبت پوشش ساختمان (BCR) است که همان نسبت کل مساحت طبقات به مساحت کل زمین مورد نظر به شمار می‌آید (Pan et al, 2008, 25-42). تراکم ساختمانی عبارت است از نسبت مساحت زیربنای ساختمانی (در مجموع طبقات) به استثنای سیستم پله، سرپله و آن قسمت از زیرزمین و پیلوت که برای پارکینگ رمپ مورد نیاز و انباری و تأسیسات استفاده می‌شود، به مساحت کل زمین و به درصد مشخص می‌شود. کل مساحت زمین مسکونی که به درصد بیان می‌شود. اهمیت محاسبه تراکم به‌عنوان ابزار برنامه‌ریزی و طراحی شهری به این دلیل است که شاخصه مهمی برای انعکاس بسیاری از مشخصات طرح‌های شهرسازی محسوب می‌شود. عوامل متعددی در تعیین میزان تراکم در نواحی مختلف شهری دخالت دارند که می‌توان به عوامل طبیعی یا فیزیکی، اجتماعی و فرهنگی، زیست‌محیطی، فناوری و سیاست‌های ملی شهرنشینی اشاره کرد (احمدی و شیخ کاظم، ۱۳۸۵، ۲). همچنین در پژوهش‌هایی که به بررسی تراکم بیشتر پرداخته‌اند، بر مشخصه‌های اجتماعی، اقتصادی و فعالیت‌های فرهنگی تمرکز شده است؛ درحالی‌که برنامه‌ریزی بیشتر در زمینه توزیع فضایی جمعیت، کاربری، سرمایه‌گذاری و انواع منابع متمرکز است؛ به طوری که توجه کمتری به مطالعه نوع سوم تراکم یعنی تراکم بافت فیزیکی خیابان‌ها شده است (Wang & et al, 2013, 2).

فاصله قائم بالاترین حد یک ساختمان از روی آخرین سقف تا رقوم کف معبر دسترسی مجاور قطعه زمین است. ارتفاع خرپشته جان‌پناه حداکثر ۰/۸ متر اتاقک آسانسور، برج خنک‌کننده، دودکش، منبع ذخیره آب، آنتن و نظیر آن جز ارتفاع ساختمان محاسبه نمی‌شوند. در خصوص سقف شیب‌دار ارتفاع ساختمان فاصله قائم بالاترین قسمت خط‌الرأس سقف شیب‌دار تا رقوم کف معبر است. متوسط مرتفع‌ترین و پایین‌ترین رقوم معبر مجاور به قطعه مالکیت موردنظر است. در مواقعی که شیب حداکثر زمین عمود بر جهت معبر است و قطعه از دو یا چند طرف به گذر منتهی شود. ارتفاع مجاز می‌تواند از میانگین ارتفاع مالکیت گرفته شود، به نحوی که حداقل ارتفاع ساختمان از بلندترین نقطه از ۴/۵ متر کمتر نشود و منظور از ارتفاع یک طبقه فاصله قائم از کف تمام‌شده آن طبقه تا کف تمام‌شده طبقه بالاتر است. ارتفاع طبقه آخر بنا حداقل کف تمام‌شده آن طبقه تا کف تمام‌شده متوسط سطح بام ساختمان است (قوانین و مقررات شهرسازی و معماری).

تاریخچه و مبانی لیدار:

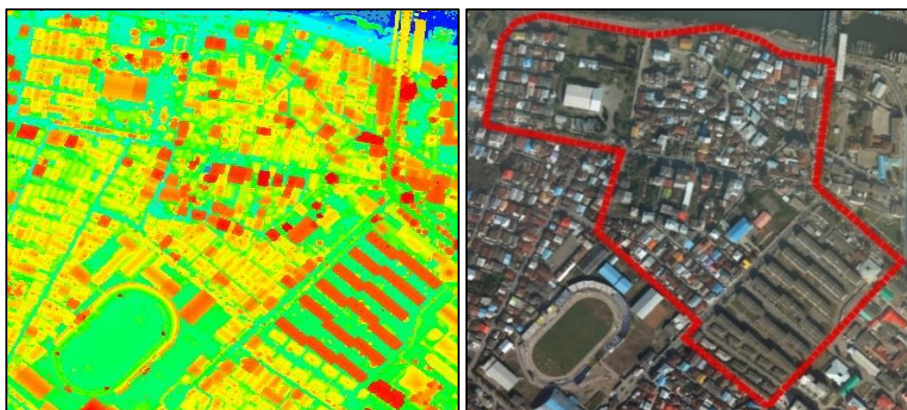
لیدار تکنیک جمع‌آوری اطلاعات از سطح اشیاء است که بر مبنای اندازه‌گیری فاصله به‌وسیله لیزر عمل می‌کند. این سیستم اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط ناسا و بعد از آن توسط سایر سازمان‌های آمریکایی، کانادایی و استرالیایی به کار گرفته شد. در متون مختلف، علاوه بر عبارت لیدار از عبارات دیگری مانند ALS، LAdar و ALTM نیز برای معرفی این تکنولوژی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری لیدار بر این اصل استوار است که مختصات هر نقطه روی زمین با مشخص بودن مختصات محل ارسال لیزر، اندازه‌گیری طول فاصله مایل بین نقطه ارسال پالس و سطح زمین و اندازه‌گیری زاویه ارسال موج از محل ارسال پالس تا سطح زمین قابل محاسبه است (Chaouch and Mari, 2006: 83-94). با معلوم بودن موقعیت و توجیه صحیح سنجنده، سیستم ابری از نقاط سه‌بعدی اندازه‌گیری شده را اخذ می‌کند. معمولاً داده لیدار نیازمند پیش‌پردازش است. سیستم نویزها را فیلتر می‌کند و به‌صورت تفاضلی، داده‌ها را تصحیح و در خطوط اسکن گردآوری می‌کند. اطلاعات سه‌بعدی و صحیح لیدار هوایی مربوط به ساختار سقف‌ها و سطوح مات و غیرشفاف مدل‌سازی شهری را در مقیاس بزرگ بسیار آسان می‌سازد (You, 2003: 579-588). در اغلب موارد در سیستم لیدار برای هدف‌گیری از تور قوی لیزر استفاده می‌شود که طول موج آن می‌تواند در سه ناحیه فرابنفش، مرئی و مادون قرمز باشد. بدین‌صورت که پالس تولیدشده توسط لیزر (باریکه پرتو لیزر) به هدف (هر چیزی مانند اتمسفر، ابر، آلودگی‌ها و ذرات موجود در هوا، هواپیمای در حال حرکت در آسمان یا حتی اتومبیل‌هایی در جاده که توسط دوربین سنجش سرعت پلیس شناسایی می‌شود و...)، برخورد می‌کند و موج بازگشته توسط سیستم تلسکوپ و سنسور لیدار جمع‌آوری شده و توسط مجموع الکترونیک آن نسبت به موج اولیه تأیید شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با توجه به تغییراتی که در آن به‌وجود آمده نتیجه‌گیری می‌شود که این تغییرات می‌تواند مواردی از قبیل:

الف) با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت پالس و استفاده از رابطه آن با سرعت نور می‌توان فاصله را تشخیص داد.
 ب) با مقایسه طیف فرکانسی شدت می‌توان به خواص مواد پی برد؛ به‌طوری‌که در پرتو با شدت‌های یکسان و با طول موج‌های متفاوت به سمت هدف میل می‌شود. بسته به نوع ماده عمل، جذب تنها برای یکی از این پرتوها (طول موج‌ها) اتفاق می‌افتد و پرتو دیگر جذب نمی‌شود. از مقایسه شدت این دو پرتو می‌توان غلظت شیمیایی و میزان خسارت را پیش‌بینی کرد. علاوه‌براین در موارد دیگری نیز با بررسی اسپکتروسکوپی طیف پرتو بازتابی نوع مواد عناصر موجود در هدف را می‌توان تشخیص داد.
 ج) اصل شیفت فرکانس داپلری برای تشخیص سرعت به کار می‌رود. اگر هدف در حال حرکت باشد، نور بازتاب‌شده از آن که توسط سیستم آشکارسازی می‌شود، دارای یک تغییر فرکانس خواهد بود؛ به‌طوری‌که اگر هدف در حال نزدیک شدن باشد، نور بازتابی طول موج کوتاه‌تری دارد و اگر در حال دور شدن باشد، نور بازتابی دارای طول موج بلندتری خواهد بود. با بررسی میزان شیفت فرکانسی می‌توان سرعت حرکت هدف را با دقت بسیار خوبی محاسبه کرد (Chaouch and Mari, 2006: 83-94).

مواد و روش تحقیق

مجموعه داده مورد مطالعه در این تحقیق، مربوط به بخشی از شهر بندرانزلی واقع در استان گیلان است. این مجموعه داده شامل یک عکس هوایی رقومی قائم و ابرنقاط نامنظم لیدار منطقه است. عکس‌هوایی توسط دوربین

رقومی UltraCam D^۱ با فاصله کانونی ۱۰۵/۲ میلی‌متر اخذ شده و داده‌های لیزر اسکنر هوایی توسط سنجنده^۲ UAC برداشت شده‌است. عکس هوایی قائم دارای قدرت تفکیک مکانی ۸ سانتی‌متر است و داده‌های لیزر اسکنر هوایی دارای تراکم ۱ تا ۲ نقطه در هر مترمربع بوده و میانگین فضای نقاط ۰/۶۹ مترمربع است. داده‌های لیدار از نوع پالسی با طول موج مادون‌قرمز میانی مربوط به یک منطقه شهری شامل داده‌های بازگشت اول فاصله، بازگشت آخر فاصله و بازگشت میانی است. داده‌های لیدار دارای ساختار نامنظم بوده و اطلاعات مربوط به هر بازگشت از طریق اطلاعات (Header) همراه فایل^۳ las. قابل دسترسی است. این داده‌ها مهر ۱۳۹۰ با ارتفاع ۱۰۰۰ متر و عرض نوار برداشت حدود ۶۰۰ متر اخذ شده‌اند. ابرنقاط لیدار و تصویر اولتراکم مربوط به منطقه مورد مطالعه در شکل زیر قابل مشاهده است (شکل ۱).



شکل ۱. تصویر (سمت راست) تصویر هوایی اولتراکم محدوده مورد مطالعه - تصویر (سمت چپ) داده‌های لیدار (منبع: یافته‌های پژوهش؛ ۱۴۰۰)

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش شهر انزلی در استان گیلان است. این شهر در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲۷ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی قرار گرفته‌است. به‌طور میانگین ارتفاع شهر انزلی از سطح دریا ۲۶- متر است. این شهر از شمال به دریای خزر از جنوب به شهرستان صومعه‌سرا، از شرق به شهرستان رضوانشهر متصل است (مرکز آمار ایران، سالنامه بندرانزلی: ۱۳۹۵). بندر انزلی در ناحیه‌ای کاملاً جلگه‌ای به‌صورت طولی و در ساحل دریای خزر واقع شده و دارای آب‌وهوای معتدل و مرطوب است. اکثر ساختمان‌های این شهر به‌دلیل شرایط جغرافیایی و وجود بارش فراوان دارای سقف شیروانی هستند. لیدار به‌دلیل اینکه یک تکنیک و روشی نوین در استخراج اطلاعات است و در کشور ایران فقط برای شهرهای اصفهان، بندر انزلی و گلستان تهیه شده‌است، شرایطی که بتوان به‌طور گسترده از این داده‌ها استفاده کرد و نتایج استخراج‌شده را به کل شهرهای کشور تعمیم داد، دردسترس نیست. از جنبه دیگر می‌توان گفت، هر یک از ساختمان‌ها با انواعی از تراکم و الگوهای متفاوت ساختمانی، دارای مشخصات متفاوتی بوده و نمی‌توان مشخصات و میزان صحت اطلاعات به‌دست‌آمده در نوع خاصی از ساختمان را به سایر الگوهای ساختمانی تعمیم داد؛ از این‌رو محدوده‌ای که به‌عنوان

۱- دوربین رقومی با فرمت بزرگ

۲- پهپاد یا هلیکوپتر بی‌سرنشین (Unmanned Aircraft)

۳- فرمت داده‌های لیدار (LASer)

نمونه مورد مطالعه از شهر انزلی مورد بررسی قرار گرفته، در شمال استادیوم تختی واقع شده و تعداد ساختمان‌های مورد بررسی، ۴۱۷ ساختمان بوده که اکثراً دارای کاربری مسکونی هستند. در واقع در این تحقیق تعداد ۴۱۷ ساختمان در محدوده‌ای به مساحت ۲۳ هکتار در جهت محاسبه ارتفاع و تعداد طبقات، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (شکل ۲).



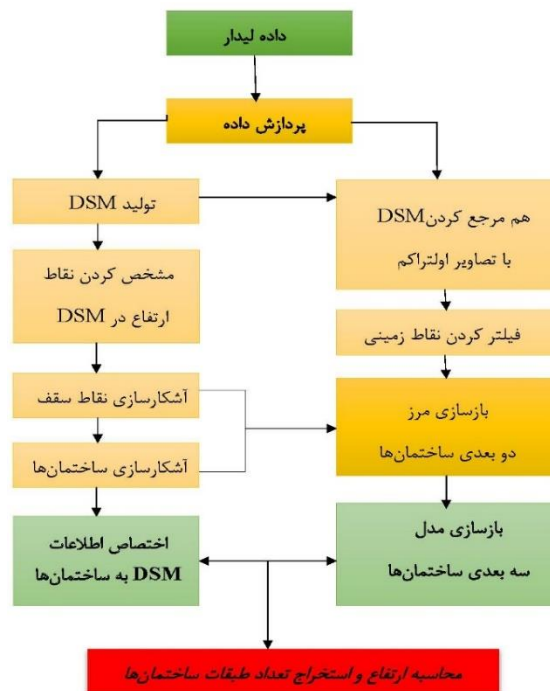
شکل ۲. (سمت راست) نمایی کلی از محدوده مورد مطالعه (خیابان نواب صفوی)

(منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

(سمت چپ) نمایی کلی از محدوده مطالعه شده در سه کلاس کلی: زمین لخت: ■ ساختمان: ■ پوشش گیاهی: ■

(منبع: داده‌های لیدار، ۱۳۹۶)

مراحل انجام تحقیق در زیر به صورت خلاصه و در قالب فلوجارت آورده شده است که با طی هریک از مراحل به مرحله بعدی رسیده و در نهایت به استخراج ارتفاع ساختمان‌ها دست یافتیم (شکل ۳).



شکل ۳. فلوجارت و مدل مفهومی مراحل روش تحقیق

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

پردازش داده

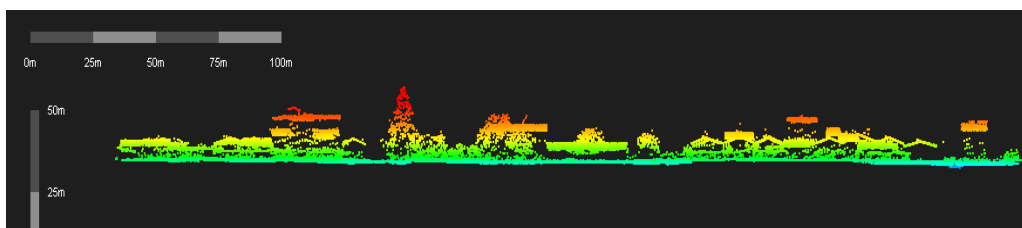
قبل از اینکه داده‌های لیدار قابل استفاده باشند و از حالت خام خارج شوند باید پیش‌پردازش شوند. این پیش‌پردازش توسط خود سیستم و با تکنولوژی خاصی که در سنجنده وجود دارد انجام می‌شود. بعد از اینکه داده‌های لیدار جمع‌آوری شد، داده‌های حاصل از IMU^۱ با داده‌های حاصل از GPS^۲ مورد پردازش قرار می‌گیرند. برای محاسبات بهتر و دقیق‌تر، قبل از پردازش‌های اصلی بروی تصویر و داده لیدار، یک مرحله پیش‌پردازش بر داده‌های خام انجام می‌گیرد. این پیش‌پردازش یا همان فیلتر کردن داده‌های لیدار، بدین منظور انجام می‌شود که نمونه‌های مربوط به زمین بدون پوشش را از نمونه‌های اخذ شده از سایر عوارض دارای ارتفاع جدا کند. الگوریتم بهبود کیفیت تصویر و تعادل‌سازی هیستوگرام برای افزایش قدرت تصویر، اعمال می‌شود (Rastiveis et al, 2013: 455). پس از طی مراحل بهبود تصویر و داده لیدار، در صورتی که داده‌ها هم مختصات نشده باشند، باید در یک مرحله داده تصویر و لیدار با نقشه هم مختصات شوند. برای این منظور، از عوارض قابل تشخیص در لیدار و تصویر می‌توان به عنوان نقطه کنترل استفاده کرد. در این پژوهش پس از پیش‌پردازش داده‌ها طبق موارد بیان شده، در جهت تفسیر و بازسازی عوارض مربوط از داده‌های لیدار، از نرم‌افزار EnviLidar استفاده شده است.

تولید DSM

با تولید مدل رقومی سطح (DSM) می‌توان تا حدی جداسازی عوارض را انجام داد؛ زیرا ساختمان‌ها دارای ارتفاع بالاتری نسبت به دیگر عوارض هستند؛ بنابراین پس از پردازش داده‌ها، مرحله دوم تولید مدل رقومی سطح است، مدل رقومی سطح حاوی اطلاعات ارتفاعی از بالاترین سطح عوارض، مانند قسمت بالایی تاج پوشش جنگل یا درختان و ساختمان‌ها است که بازگشت اول فاصله لیدار اطلاعات بالاترین سطح عوارض را دربردارد (Gallay, et al., 2012: 23-25). برای اطمینان از صحت داده‌های مورد استفاده، از روش حذف خطای سیستماتیک حداکثر ارتفاع برای ساختمان‌های مورد مطالعه استفاده شد. نحوه پیاده‌سازی این فرایند به این صورت بوده که نقاطی با بیشترین ارتفاع، مربوط به توپوگرافی محدوده مورد نظر نیستند و در ارتفاع بسیار بالاتر از ارتفاعات مورد انتظار ثبت شده‌اند، حذف شوند. به‌طور کلی برای به‌دست آوردن مدل رقومی سطح از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{Last Range} - \text{First Range} > \text{th1}$$

ارتفاع ثبت شده برای داده‌های مربوط به بازگشت اول از ارتفاع ثبت شده برای داده‌های مربوط به بازگشت آخر کم شد و حاصل مقدار ثابتی بود که بستگی به دقت ارتفاعی تفاضل دو بازگشت مذکور داشت. در واقع حاصل این تفاضل نشان‌دهنده عوارض غیرزمینی (ساختمان‌ها، تاج درختان و...) در محدوده مورد مطالعه بود. شکل ۴ اطلاعات مورد نیاز برای تولید DSM را نشان می‌دهد.

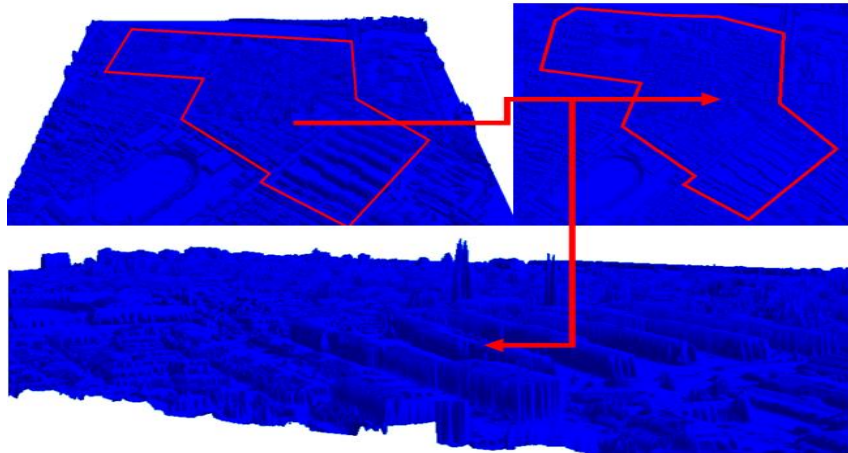


شکل ۴. داده‌های بازگشت اول عوارض در جهت تهیه مدل رقومی سطح

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

1 - INERTIAL MEASUREMENT UNITS

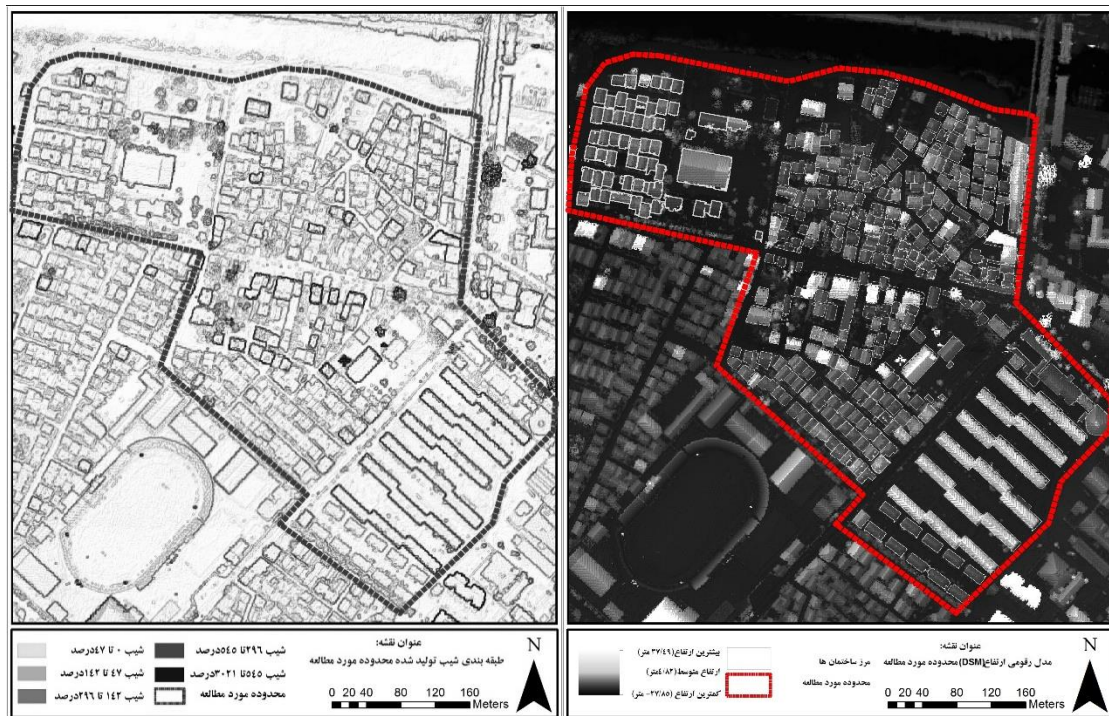
2 - Global Positioning System



شکل ۵. نمایی از مدل رقومی سطح محدوده مورد مطالعه
(منبع: یافته‌های پژوهش؛ ۱۴۰۰)

هم‌مرجع کردن DSM با تصاویر اولتراکم

بعد از تولید مدل رقومی سطح، در جهت مشخص کردن نقاط دارای ارتفاع نقشه شیب تهیه شد. کاربرد این نقشه در واقع به‌نمایش گذاشتن جای پای ساختمان‌ها است که با دخیل کردن شیب در این نقشه میزان دقت داده‌های لیدار نیز مشخص شد. در شکل ۶- سمت راست، مرز عارضه‌هایی که اختلاف ارتفاع بیشتری با زمین دارند با خطوط سفید مشخص شده‌است.



شکل ۶. مدل رقومی سطح (راست)، شیب تولید شده (چپ)
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

مشخص کردن نقاط ارتفاع در DSM

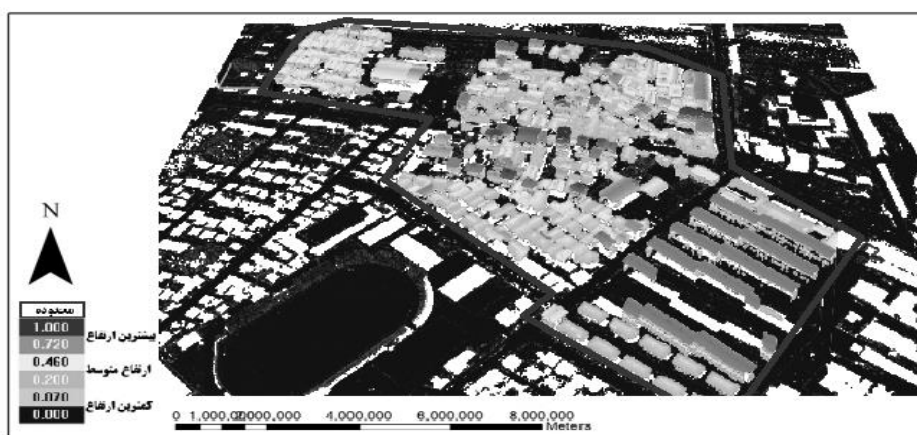
مراحل اندازه‌گیری فواصل منجر به تولید نقاط ارتفاعی می‌شود که به صورت سیستماتیک و خودکار در طول خط پرواز هنگام برداشت و عمود بر آن قرار می‌گیرند. در این مرحله بعد از اینکه داده‌های لیدار پردازش شد، برای تولید یک مدل شماتیک از عوارض موجود بر روی زمین از رابطه زیر استفاده شد:

$$nDSM = DSM - DTM^1$$

در رابطه فوق از داده‌های بازگشت اول به جای DSM منطقه استفاده شده است. یعنی با استفاده از کمترین و بیشترین ارتفاع و با حدآستانه‌گذاری و اعمال فیلتر بر روی $nDSM^2$ مطابق با رابطه زیر عوارض غیرزمینی (ساختمان‌ها و درختان) به دست آمد.

$$Off - terrain Objects = nDSM > th2$$

در رابطه فوق $th2$ مقدار ثابت ارتفاعی است که میزان حذف عوارض زمینی را کنترل کرده و باعث شد نقاطی که مربوط به زمین هستند و کمترین ارتفاع را دارند، حذف شوند (شکل ۷).



شکل ۷. نقاط ارتفاعی به دست آمده از مدل رقومی سطح

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

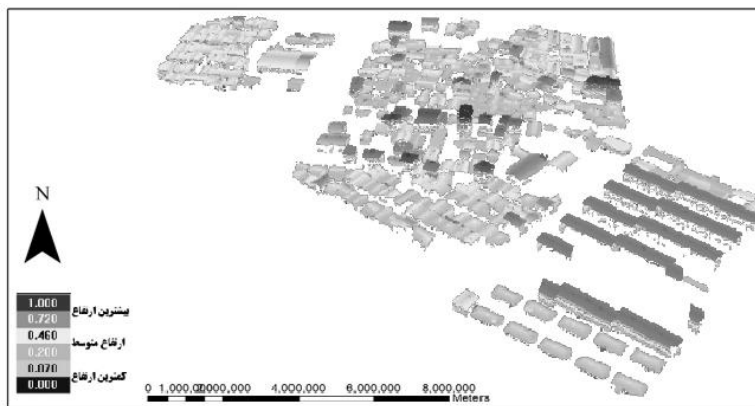
فیلتر کردن نقاط زمینی

با توجه به اینکه یک پالس لیزر هنگام پخش ممکن است به چند عارضه برخورد کرده و متناسب با نوع شدت و سرعت بازگشت پالس به سنجنده بر حسب میزان تفاوت در نوع مواد تشکیل‌دهنده عوارض و بازگشت آن در زمان‌های مختلف، به سنجنده برسد؛ بنابراین نیاز به یکسری پس‌پردازش (Post processing) است تا بتوان پالس‌های بازگشتی متفاوت را از نیز جدا کرد. در این مرحله برای جداسازی نقاط زمینی از نقاط غیرزمینی از روش Filter Point By Height استفاده شد. بدین صورت که با کاهش ارتفاع نقاط غیرزمینی در هر کلاس، تمامی نقاط به سطح

1 - Digital Terrain Model

2 - Normalized Digital Surface Model

زمین رسیدند. در هر تکرار اندازه بخش‌ها بزرگتر شده و معیار جداسازی نقاط زمینی، تغییرات ارتفاعی نقاط در تکرارهای مختلف بود. نقاطی که تغییر ارتفاعی نداشتند، به عنوان نقاط زمینی در نظر گرفته شدند. سیستم لیدار به دلیل داشتن چندین بازگشت قادر به ثبت چندین ارتفاع از نقاط برداشتی است. برای حذف نقاط پوشش گیاهی و درختان از اختلاف بین بازگشت اولیه و ثانویه لیدار استفاده شد. نقاطی که دارای اختلاف بزرگتر از حد آستانه بودند، به عنوان پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. لبه‌های ساختمان در بازگشت‌های پالس لیزر دارای مقادیر متفاوتی بودند؛ بنابراین حد آستانه انتخابی باید به گونه‌ای می‌بود که لبه‌های ساختمان را به عنوان پوشش گیاهی انتخاب نکند. با حذف نقاط پوشش گیاهی و نقاط زمینی به نقاط کلی ساختمان دست یافتیم. این نقاط شامل نقاط سقف ساختمان، دیوارهای ساختمان و نقاط مربوط به پوشش گیاهی متراکم بود. با فرایند تصویرسازی، نقاط سقف طول، عرض و ارتفاع این نقاط در صفحات دوبعدی ساختمان استخراج شدند (شکل ۸).

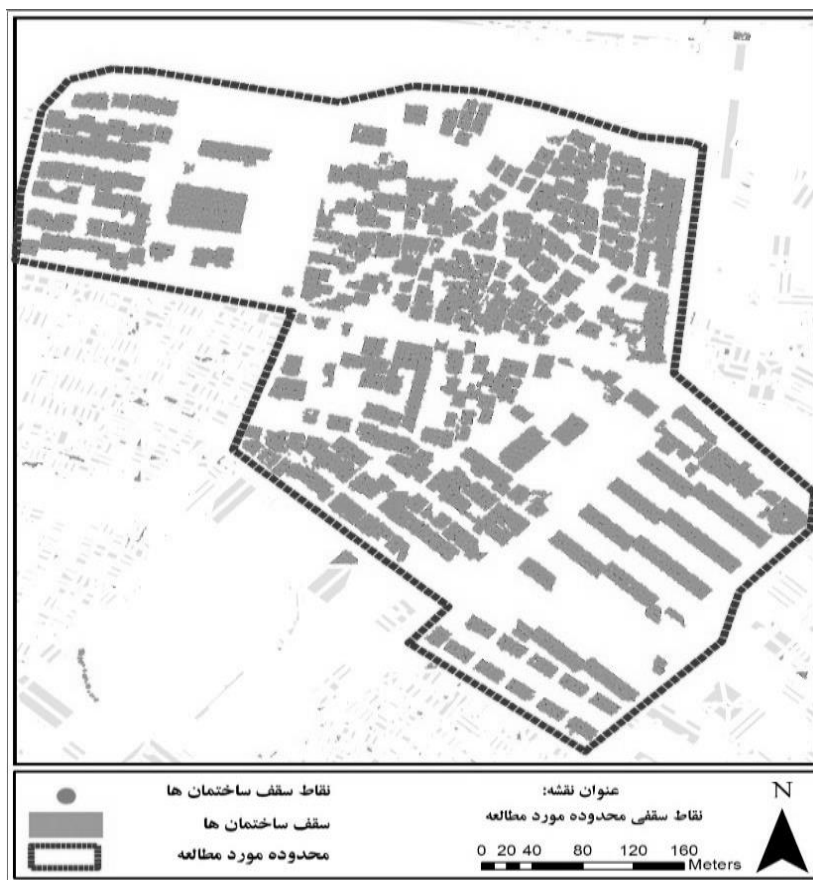


شکل ۸. فیلترینگ نقاط مربوط به پوشش زمین

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

آشکارسازی نقاط سقف‌ها

به منظور کم کردن از پیچیدگی مسئله، ابتدا باید تصویر مربوط به یک ساختمان به صورت منفرد هم از تصویر اولتراکم و هم از نقاط لیدار استخراج شود و برای مدل‌سازی سقف و دیواره‌های هر ساختمان، ابتدا باید نقاط مربوط به سقف هر ساختمان از سایر نقاط جداسازی شود. برای این منظور، در این مرحله، با فرایند تصویرسازی، به ترتیب نقاط زمینی، نقاط دیواره‌ها و نقاط پوشش گیاهی از مجموعه نقاط حذف شدند. برای جدا کردن محدوده مربوط به یک ساختمان، مشخصات نقاطی که دارای ارتفاع بیشتری نسبت به سایر نقاط بودند، به نقاط واقع در گوشه پلیگون‌های نقشه، اختصاص داده شد. در نهایت پس از آنکه نقاط متعلق به هر ساختمان که شامل نقاط مربوط به تمام قسمت‌های ساختمان واقع در زاویه برخورد پالس لیزر سنجنده بود، از ابرنقاط کلی تفکیک شد، نقاط سقفی از نقاط غیرسقفی جدا شدند. برای این کار بدین صورت عمل شد که در مجاورت نقاط گوشه مربوط به نقشه دوبعدی، چند نقطه در نزدیک ترین همسایگی انتخاب شدند. سپس کمترین و بیشترین ارتفاع مربوط به این نقاط همسایگی در هر گوشه محاسبه و یک پارامتر اختلاف ارتفاع به صورت $dh = Z_{max} - Z_{min}$ برای هر رأس تعریف شد. سپس براساس یک استاندارد مشخص و با استفاده از اطلاعات محلی منطقه، یک حد آستانه ارتفاعی معین در نظر گرفته شد. در این صورت ارتفاع نقاطی که، از حد آستانه ارتفاعی مشخص شده بیشتر بود، به عنوان نقاط سقفی در نظر گرفته شدند (شکل ۹).



شکل ۹. آشکارسازی نقاط مربوط به سقفها

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)



شکل ۱۰. نمونه‌ای از منطبق کردن نقاط مربوط به پوشش گیاهی و سقفها

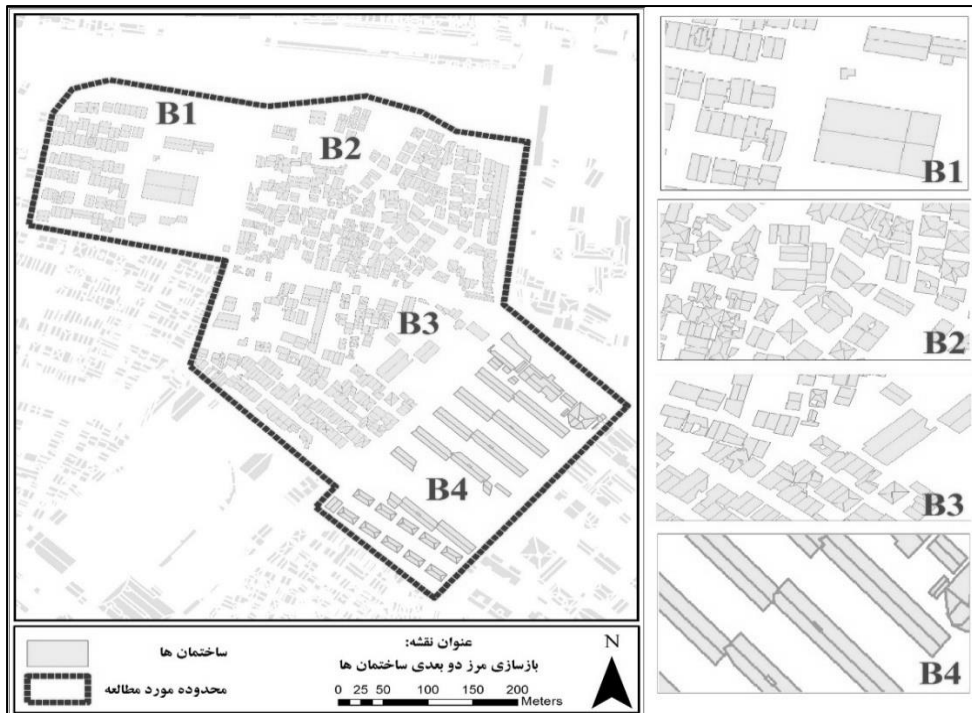
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

آشکار سازی ساختمان

با در اختیار داشتن نقاط سقف ساختمان که قبلاً به دست آمده، مدل سازی به وسیله نقاط ارتفاعی سقف انجام شد. نقاط لایه های ارتفاعی با استفاده از یک حد آستانه ارتفاعی جدا شدند. در هر لایه با اتصال خط به نقاط گروه بندی شده در لایه های ارتفاعی، رئوس اصلی سقف به دست آمده و مدل سقف با اتصال رئوس مهم سقف تشکیل شد و در ادامه با تشکیل مدل دیوارها، مدل ساختمان کامل شد.

بازسازی مرز دو بُعدی ساختمان

ساختمان ها معمولاً عارضه هایی با گوشه هایی عمودی هستند؛ به همین دلیل در جهت تولید مرز دو بُعدی ساختمان ها نیاز است که مرزهای تولید شده دارای گوشه های عمودی باشند. به همین دلیل در این پژوهش از یک روش ابتکاری استفاده شده تا گوشه های پلیگون مربوط به ساختمان عمود سازی شود. این روش زمانی کارساز است که گوشه ها یا کرنرهای ساختمان قائم باشند یا حداقل تعداد گوشه های قائم بیشتر از تعداد گوشه های غیرقائم باشد. بعد از کشف ساختمان ها، مرزهای اولیه ساختمان ها از طریق تبدیل رستر به وکتور تولید شدند. بعد از تولید مرز اولیه ساختمان ها با خلاصه سازی و عمود سازی مرزهای ساختمان، مدل دو بُعدی نهایی ساختمان ها به دست آمد. بازسازی مدل دو بُعدی ساختمان برای به دست آوردن اطلاعات ارتفاعی DSM ضروری است. تبدیل ساختمان های سه بُعدی استخراج شده از نقاط لیدار به سطح دو بُعدی باعث تشکیل جدول اطلاعاتی شد که تمامی اطلاعات حاصل از پردازش نقاط را شامل می شود (شکل ۱۱).

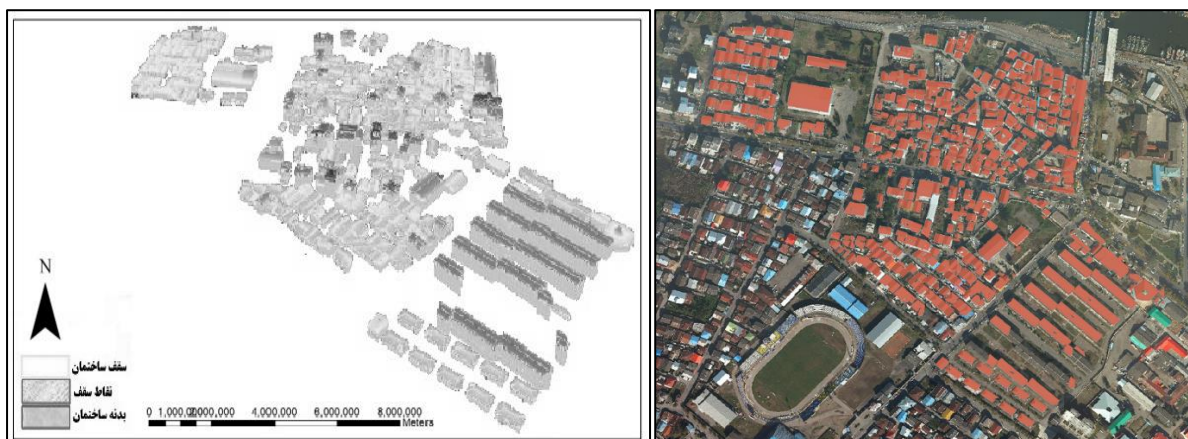


شکل ۱۱. بازسازی مرز دو بُعدی ساختمان ها

(منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۰)

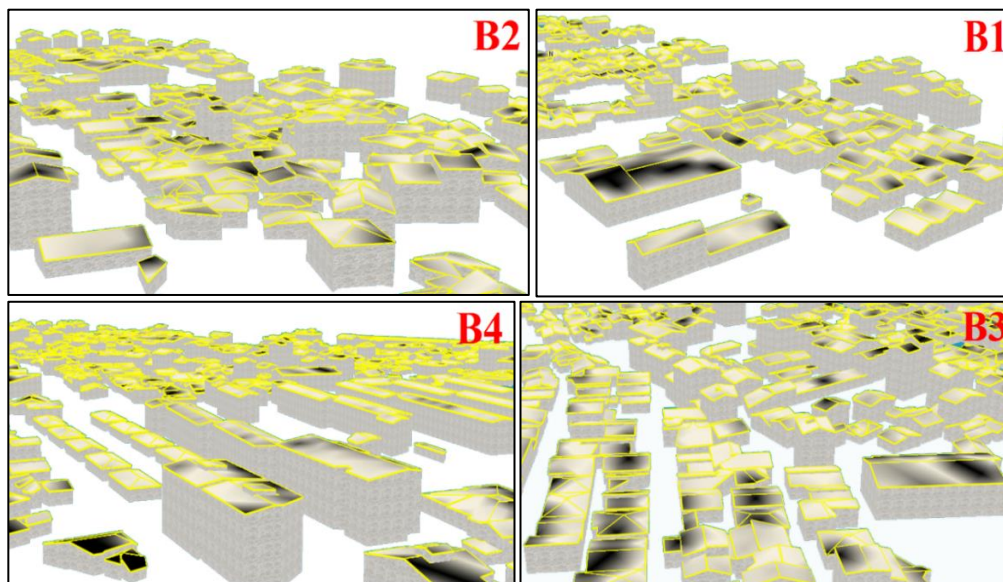
بازسازی مدل سه‌بعدی ساختمان

این مرحله شامل بازسازی مجموعه‌ای از موارد از جمله سقف ساختمان، کف ساختمان و دیوارهای ساختمان است. در جهت بازسازی سطوح صفحه‌ای کف و دیوارهای ساختمان‌ها از یک پروسه ساده استفاده شد که نحوه بازسازی آن‌ها برای تمام ساختمان‌ها یکسان است. در این تحقیق در جهت بازسازی سطوح صفحه‌ای کف و سطح محصور بین مرز دوبعدی از ارتفاعی که در نتیجه پردازش داده‌های لیدار به دست آمده استفاده شد. مقدار این ارتفاع، از طریق فیلتر کردن نقاطی که هم‌راستا با نقاط کلاسه ساختمان‌ها نبودند و حداقل ارتفاع نقاط موجود در حاشیه سقف ساختمان تعیین شد. در این تحقیق فرض بر این بود که دیوارهای ساختمان به طور قائم بر روی سطح کف ساختمان‌ها قرار گرفته‌اند. بدین منظور بعد از تولید مرز سه‌بعدی کف ساختمان و مرز سه‌بعدی سقف ساختمان، سطوح صفحه‌ای دیوارها به‌طور قائم بین این دو مرز تشکیل شدند. آشکارسازی ساختار سقف ساختمان از طریق ایجاد نقاط رئوس سقف ساختمان‌ها انجام گرفت. نحوه تولید نقاط سقف ساختمان‌ها نیز براساس تعداد سطوح صفحه‌ای هر ساختمان انجام شده، نقاط سقف ساختمان‌ها شامل دو نوع نقاط مرزی سقف ساختمان‌ها و نقاط میانی سقف ساختمان‌ها بودند. نقاط مرزی همان نقاط مرز ساختمان‌ها بود که تمام رئوس آن در مرحله تولید نقاط ارتفاع گرفتند و مرز سه‌بعدی سقف ساختمان‌ها را تشکیل دادند؛ اما نقاط میانی نقاطی بود که از تقاطع خطوط سه‌بعدی تولیدشده به دست آمدند و داخل مرز ساختمان‌ها واقع شده بودند. در ساختمان‌های دارای بیش از دو صفحه مسطح، به مراتب احتمال دار بودن نقاط میانی نسبت به سایر سقف‌ها بیشتر است. برای یافتن نقاط میانی این‌گونه ساختمان‌ها، ابتدا همه نقاط مربوط به کلاسه هر ساختمان به هم متصل شد و صفحه‌ای دوبعدی را تشکیل دادند. بعد از تشکیل صفحه دوبعدی، برحسب ارتفاع نقاطی که مربوط به ساختمان‌ها بود، در جهت محاسبه ارتفاع خطوط مذکور به منظور ایجاد مدل سه‌بعدی نقاط میانی که فاصله کمتری از هم داشتند با میانگین‌گیری از مختصات آن‌ها به یک نقطه میانی تبدیل شدند و نقاطی که قبلاً به منظور ایجاد صفحه دوبعدی تلاقی یافته بودند ۲ به ۲ به هم متصل شده و باعث ایجاد مدل سه‌بعدی ساختمان شدند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. آشکارسازی سقف ساختمان‌ها بر روی تصاویر اولتراکم (راست) بازسازی مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها (چپ)

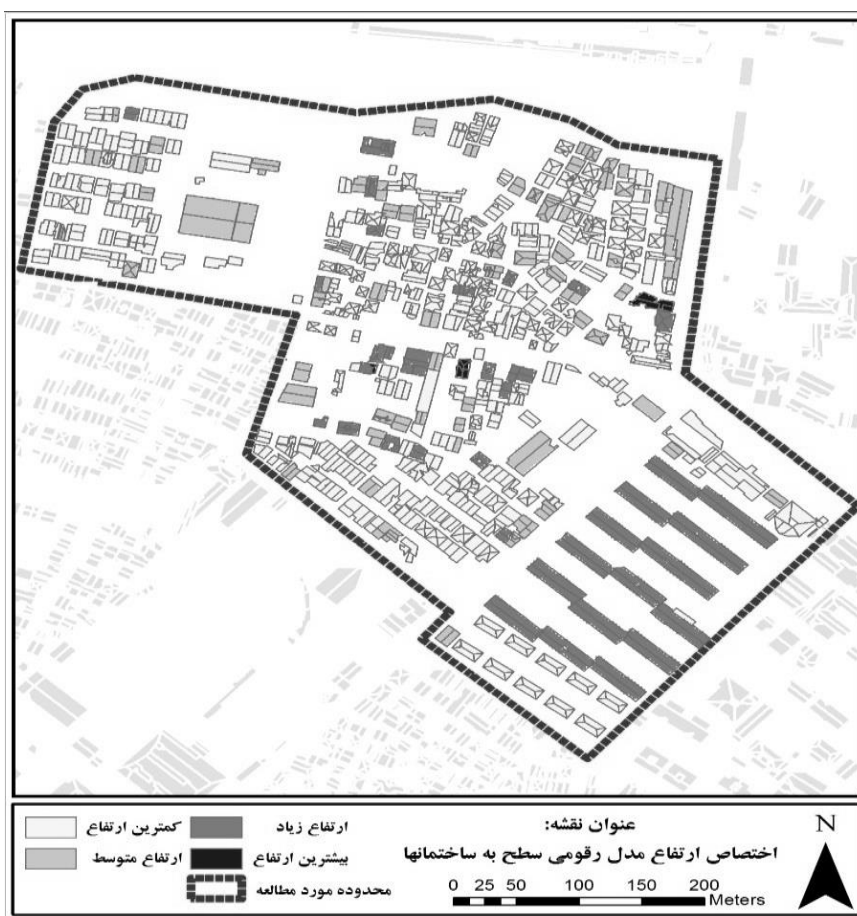
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)



شکل ۱۳. نمای نزدیک از بازسازی مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها به تفکیک ۴ بلوک
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

اختصاص اطلاعات DSM به ساختمان‌ها

ساختمان‌هایی که با طی مراحل قبلی استخراج و بازسازی شدند، پس از تبدیل داده‌های رستری به وکتوری^۱ تمامی اطلاعات DSM محدوده مورد مطالعه مطابق شکل شماره ۱۴ به هریک از ساختمان‌های مورد نظر اختصاص یافت و از طیف رنگی درجهت مشخص کردن ویژگی ارتفاعی ساختمان‌ها استفاده شد. ساختمان‌هایی که دارای ارتفاع بیشتری نسبت به بقیه ساختمان‌ها بودند با رنگ تیره مشخص شدند و با کاهش ارتفاع ساختمان‌ها از شدت رنگ اختصاص یافته به آن‌ها نیز کم شد.



شکل ۱۴. اختصاص اطلاعات مدل رقومی سطح به ساختمان‌ها

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

محاسبه ارتفاع هریک از ساختمان‌ها و تعداد طبقات آن‌ها

در جهت استخراج ارتفاع هریک از ساختمان‌ها که از DSM محدوده مورد مطالعه به دست آمده، ارتفاع نزدیک‌ترین معبر به ساختمان همراه با میانگین ارتفاع ساختمان از سطح دریا که به عنوان ارتفاع میانگین منطقه از آن یاد می‌شود، مورد محاسبه قرار گرفت. در جهت نهایی‌سازی ارتفاع ساختمان‌ها، تفاضل ارتفاع میانگین منطقه از ارتفاع نزدیک‌ترین معبر به ورودی ساختمان استفاده شد. برای مشخص کردن تعداد طبقات نیز با در نظر گرفتن ارتفاع سقف ساختمان که بر حسب استانداردهای غالب شامل طیفی بین ۲.۸۰ متر تا ۴ متر است، مورد محاسبه قرار گرفت. ساختمان‌های شهر انزلی به دلیل شیب‌دار و بلندبودن سقف و نیز اغلب به دلیل دارا بودن سکوهایی که خانه‌های مسکونی بر روی آن‌ها استقرار یافته‌اند، دارای ارتفاعی بیشتر نسبت به میانگین ارتفاعی یاد شده هستند؛ به همین دلیل اختصاص تعداد طبقات بر حسب ارتفاع به دست آمده، برای هریک از ساختمان‌ها با در نظر گرفتن این شرایط محاسبه شد (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. استخراج طبقات هریک از ساختمان‌ها

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های گوناگونی برای استخراج عوارض از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای مطرح شده‌اند که تفاوتشان در میزان دقت و صحت استخراج عوارض است. کاربرد مجموعه‌ای از داده‌های متنوع از یک منطقه، برای استخراج تمامی عوارض موجود در سطح زمین، به استخراج بهتر عوارض کمک شایانی می‌کند. برای استفاده همزمان از داده‌های ابرطیفی و داده‌های لیدار، این داده‌های دریافتی باید در یک قالب بوده، بدین صورت که نمی‌توان از تصاویر طیفی، در مقابل داده‌های نقطه‌ای استفاده کرد؛ بنابراین داده‌های نقطه‌ای به تصاویر لیدار تبدیل شدند تا شرایط استفاده همزمان از داده‌های گوناگون فراهم شود؛ علاوه بر این مورد، با توجه به پیچیدگی‌ها و تنوع زیاد در اشکال ساختمان‌ها و همچنین تنوع داده‌ها و روش‌های موجود برای مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها، با یک روش یا فرایند خاص نمی‌توان تمامی ساختمان‌ها را مدل‌سازی کرد و به نتایج قابل قبول برای تمامی ساختمان‌ها دست یافت. درحالی‌که روش‌های گوناگونی در جهت استخراج ارتفاع ساختمان‌ها و سایر پارامترهای مربوط به عوارض زمینی وجود دارد که تفاوت آن‌ها در میزان دقت و صحت استخراج آن‌ها است. همان‌طور که گفته شد، یکی از منابع داده‌ای که اخیراً از آن به‌عنوان داده‌های مکمل در شناسایی عوارض استفاده می‌شود، داده‌های لیدار است که با وجود تحقیقات انجام‌گرفته و هرچند محدود، در زمینه ساختمان‌ها با استفاده از لیدار، هنوز پژوهشی مبنی بر استخراج ارتفاع ساختمان‌ها در داخل کشور صورت نگرفته‌است که بتوان نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر را با آن‌ها مقایسه کرد.

درجه بالای خودکار سازی در پیاده سازی الگوریتمها و پردازشهای ساده و همچنین استفاده مستقیم از دادههای زمین مرجع، مهمترین مزایای این منبع داده نسبت به بقیه منابع داده بوده، لیکن مشکلاتی نظیر پردازش حجم بسیار بالای داده، وجود نویز در دادهها، ناتوانی در نمایش لبهها به صورت آشکار و نبود تعبیری صریح از مؤلفه بافتی در دادههای لیزر اسکنر باعث شده است، بسیاری از محققان به تلفیق این داده با دیگر منابع داده مانند عکسهای هوایی، دادههای نقشه‌های موجود و دادههای InSAR نگاهی ویژه داشته باشند. در این پژوهش نیز روندی در جهت بازسازی و استخراج ارتفاع ساختمان‌های دارای سقف شیب‌دار ارائه شد. روشی که در این پژوهش مطرح شده، عبارت است از: کاربرد مجموعه‌ای از این نقاط لیدار در تلفیق با تصاویر اولتراکم، که هدف از کاربرد این دادهها، استخراج ساختمان‌ها در محدوده مورد مطالعه و محاسبه ارتفاع و طبقات آنها است؛ زیرا استفاده همزمان از دو نوع داده می‌تواند میزان دقت را افزایش دهد و به عبارتی سعی بر آن بود، از بیشترین داده‌های مکمل مربوط به منطقه مورد نظر استفاده شود تا روش و نتیجه‌ای بهینه در اختیار قرار دهد. روش و مراحل که در این پژوهش مطرح شد، بر روی ساختمان‌های مختلف و در اشکال مختلف قابل پیاده‌سازی است. تمرکز در این پژوهش بر روی استخراج ارتفاع و نشان دادن شدت تراکم ساختمانی بوده است. برای به دست آوردن ارتفاع ساختمان‌های مدنظر در شهر بندر انزلی به عنوان محدوده مورد مطالعه نقاطی که دارای تغییرات ارتفاعی با میانگین ارتفاع نقاط بود حذف و سپس با استفاده از روش فیلترینگ نقاط مربوط به ساختمان‌ها کشف و به صورت دو بُعدی و سه بُعدی استخراج شد. صفحات دو بُعدی تمامی اطلاعات مربوط به DSM منطقه را شامل شده و در نتیجه انجام یکسری معادلات مربوط به طول، عرض و ارتفاع ساختمان، ارتفاع هر یک از ۴۱۷ قطعه مورد نظر به دست آمد و بر حسب استانداردهای ارتفاعی تعداد طبقات آنها مشخص شد.

پیشنهادها

- با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهادات کاربردی و تحلیلی از این تحقیق در جهت استفاده در حوزه برنامه‌ریزی شهری ارائه می‌شود:
- داده‌های لیدار هوابرد با پلان معماری تلفیق شود و جزئیات ساختمانی به صورت دقیق استخراج شود تا بتوان از آن به عنوان یک مدل کاداستر سه بُعدی دقیق نیز استفاده کرد.
 - از داده‌های لیدار با تراکم بالاتر در جهت استخراج مساحت سقف ساختمان‌ها و نیز در جهت افزایش هرچه زیاد دقت در استخراج مرزهای دو بُعدی استفاده شود.
 - در جهت دستیابی به مدل سه بُعدی کارآمدتر، هم‌زمان از داده‌های لیدار هوابرد، لیدار موبایل و عکس هوایی مورب استفاده شود.
 - به منظور کنترل ساخت‌وسازهای غیرمجاز داده‌های شدت در دسترس قرار گیرد و علاوه بر موارد برداشت شده ویژگی‌هایی که بیانگر کاربری ساختمان‌ها هستند به داده‌های برداشتی اضافه شود.
 - به منظور قطع بندی داده‌های لیدار در حالت برداری و تلفیق این قطعات با قطعات ایجاد شده مبتنی بر داده تصویری سیستمی طراحی شود.
 - در جهت تعیین مقادیر بهینه برای حد آستانه‌های مربوط به شاخص‌های تصویری و ارتفاعی، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده شود.

منابع

پارسیان، سعید. (۱۳۹۴). استخراج ساختمان به کمک ادغام داده‌های ابرطیفی و لیدار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش، صص ۱-۲.

<https://gisj.sbu.ac.ir/index.php/GIS/article/view/article۹۶۴۹۱.html>

جعفری، فیروز. (۱۳۹۳). تحلیل و مدل‌سازی تراکم ساختمانی (FAR) در محله‌های مسکونی با رویکرد توسعه پایدار محله‌ای مطالعه موردی: محله‌های گلباد و میدان قطب تبریز، رساله دکتری تخصصی، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، صص ۷۸.

<https://ganj.irandoc.ac.ir/>

خانی پردنجانی، حامد؛ شعبان‌پور، نگار؛ رضایی فرهادآباد، علی؛ ریاحی بختیاری، حمیدرضا. (۱۳۹۷). استخراج و بازسازی مدل سه‌بعدی ساختمان با استفاده از داده‌های لیدار هوابرد و تصاویر اولتراکم، بیست و پنجمین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک و سومین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکان، تهران، صص ۷.

<https://civilica.com/doc/880017>

سجادی، سید یوسف؛ پارسیان، سعید. (۱۳۹۷). استخراج ساختمان به کمک ادغام داده‌های ابرطیفی و لیدار به روش یادگیری ماشین، سنجش‌ازدور و GIS ایران، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، سال دهم، شماره ۲، صص ۱۲.

<http://ensani.ir/fa/article/391748>

سیف، عبدالله؛ محمودی، طیبه. (۲۰۱۴). سنجنده لیدار و کاربردهای آن، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، سازمان جغرافیایی، دوره بیست‌وسوم، شماره ۸۹، صص ۷۲-۸۰.

http://www.sepehr.org/article_۱۳۰۵۹.html

شمس‌الدینی، علی. (۱۳۹۶). قابلیت‌سنجی کارایی داده‌های لیدار و اپتیک به منظور استخراج پارامترهای ساختاری جنگل، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، دوره بیست‌ویکم، شماره ۲، صص ۱۱۹-۱۴۵.

<http://ensani.ir/fa/article/۲۸۵۷۴۱>

عزیزخانی، محمدرضا؛ عبادی، حمید؛ مختارزاده، مهدی. (۱۳۹۲). بازسازی خودکار مدل سه‌بعدی ساختمان از داده‌های لیزر اسکنر هوایی با تأکید بر توسعه الگوریتم‌های خوشه‌بندی ابرنقاط، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران - نقشه‌برداری گرایش فتوگرامتری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، صص ۲-۳.

<https://www.virascience.com/thesis/۴۵۶۷۸۷>

قربانی، رسول. (۱۳۸۳). تراکم و ساماندهی فضاهای شهری (مورد نمونه: تبریز)، رساله دکتر، دانشگاه تبریز، صص ۲۰.

<https://civilica.com/doc/۶۳۱۷۴۷>

مرکز آمار ایران، سالنامه استان گیلان، شهرستان بندر انزلی، (۱۳۹۵).

<https://www.amar.org.ir>

هژبری، بلال؛ صمدزادگان، فرهاد؛ عارفی، حسین. (۱۳۹۳). بازسازی مدل ساختمان بر مبنای تلفیق ابرنقطه لیدار و تصویر هوایی، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، انجمن علمی مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک ایران، دوره سوم، شماره ۴، صص ۱۰۳-۱۲۱.

https://jgst.issge.ir/browse.php?a_id=۱۶۸&sid=۱&slc_lang=fa

References

- AD. Hofmann(2007). "An Approach to 3D Building Model Reconstruction from Airborne Laser Scanner Data Using Parameter Space Analysis and Fusion of Primitives". Munchen University, Geodesy Commission, pp:12 .
<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>
- Andrew S. Huntington(2020). "InGaAs Avalanche Photodiodes for Ranging and Lidar, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials",pp: 45.
<https://www.elsevier.com/books-and-journals>
- Bailang Yu , Hongxing Liu ,Jianping Wu ,Yingjie Hu ,Li Zhang(2010). "Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method", jurnal Landscape and Urban Planning, pp: 210-219.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920461000191X>
- Burton, E. (2000). The Compact City: Just or Just Compact? A Preliminary Analysis, Urban Studies, Vol. 37 (11) pp: 1969-2001.
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1080/00420980050162184>
- Chaouch, A., and Mari, J. L., (2006). 3D Land Seismic Surveys: Defiition of Geophysical Parameters Oil & Gas Science andTechnology – Rev. IFP , Vol. 61, No. 5, pp. 611- 630. Between photogrammetry and laser scanning ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp: 83–94 .
http://scholar.google.com/scholar?q=:+Definition+of+Geophysical+Parameters+Oil+%26+Gas+Science+and+Technology&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- Cuthbert, A. R. (2006) the form of Cities, Carlton, Victoria: John Wiley, pp: 33.
[http://www.cmecc.com/uploads/%E8%AF%BE%E6%9C%AC%E5%92%8C%E8%AE%BA%E6%96%87/Urban.Planning_Design/\[72\]\[%E8%A7%84%E5%88%92%E8%AE%BE%E8%AE%A1\]Alexander.R.Cuthbert.\(2006\)The.form.of.cities.political.economy.and.urban.design.pdf](http://www.cmecc.com/uploads/%E8%AF%BE%E6%9C%AC%E5%92%8C%E8%AE%BA%E6%96%87/Urban.Planning_Design/[72][%E8%A7%84%E5%88%92%E8%AE%BE%E8%AE%A1]Alexander.R.Cuthbert.(2006)The.form.of.cities.political.economy.and.urban.design.pdf)
- C. Brenner(2005). "Building reconstruction from images and laser scanning". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6, pp: 187–197.
<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>
- Dave, Seema(2011), Neighbourhood Density and Social Sustainability in Cities of Developing Countries, Sust. Dev 19. Wiley Online Library, pp:189–205
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sd.433>
- Dong, P., Zhong, R., and Yigit, A (2018). Automated parcel-based building change detection using multitemporal airborne LiDAR data. Surveying and Land Information Science, (in press). Surveying and Land Information Science, Volume 77, Number 1, May 2018, pp: 5-13(9).
<https://www.ingentaconnect.com/content/aags/salis/2018/00000077/00000001/art00002>
- Fanos, A. M., Pradhan, B., Mansor, S., Yusoff, Z. M., & bin Abdullah, A. F (2018). A hybrid model using machine learning methods and GIS for potential rockfall source identification from airborne laser scanning data. Landslides, 15(9), pp: 1833–1850.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-018-0990-4>
- Forsyth, A., Oakes, J. M., Schmitz, K. H. & Hearst, M. (2007) Does Residential Density Increase Walking and Other Physical Activity?, Urban Studies, Vol. 44 (4) ,pp: 679-697.
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1080/00420980601184729>
- F Ackerman(1999). "Airborne laser scanning - present status and future expectations". J Photogramm Remote Sens 54, pp: 64–67.

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

Idrees, M. O., & Pradhan, B(2018). Geostructural stability assessment of cave using rock surface discontinuity extracted from terrestrial laser scanning point cloud. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(3), pp: 534-544.

<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.11.011>

J. Peng, D. Zhang, Y. Liu(2005). "An improved snake model for building detection from urban aerial images", *Pattern Recognition Letters* 26, pp: 587-595.

http://scholar.google.com/scholar?q=An+improved+snake+model+for+building+detection+from+urban+aerial+images&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

L. WANG and H. LIU(2006). An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling, Department of Geography, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA, pp: 193-213.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810500433453>

M. Gallay, C. Lloyd, J. Mckinley(2012). "Optimal interpolation of airborne laser scanning data for fine-scale dem validation purposes". In Symposium GIS Ostrava, Proceedings Surface models for geosciences, Ostrava, Czech Republic. January, pp: 23-25.

http://scholar.google.com/scholar?q=Optimal+interpolation+of+airborne+laser+scanning+data+for+fine-scale+dem+validation+purposes&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

M. Hebel(2008). "Pre-classification of points and segmentation of urban objects by scan line analysis of airborne lidar data". The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science XXXVII, pp: 1.<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

Pan, X. Z. et al., (2008), Analyzing the Variation of Building Density Using High Spatial Resolution Satellite Images: the Example of Shanghai City, *Sensors*, Vol. 8, No. 4, pp: 2541-2550.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3673430/>

Rastiveis, H., Samadzadegan, F., & Reinartz, P(2013). A Fuzzy Decision Making System For Building Damage Map Creation Using High Resolution Satellite Imagery. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 13(2), pp: 455.

http://scholar.google.com/scholar?q=A+Fuzzy+Decision+Making+System+For+Building+Damage+Map+Creation+Using+High+Resolution+Satellite+Imagery&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., and Kubik, K.(2002), Detecting Buildings and Roof Segments by Combining LIDAR Data and Multispectral Images, Proceedings of Image and Vision Computing, Massey University, Palmerston North. N.Z., New Zealand. November, pp: 6-65,26-28.

https://www.researchgate.net/publication/37617535_Detecting_Buildings_and_Roof_Segments_by_Combining_LIDAR_Data_and_Multispectral_Images

Sivam, A., Karuppanan, S. and Davis, M. C. (2011). Stakeholders' Perception of Residential Density: A Case Study of Adelaide, *Journal of Housing and the Built Environment*, pp: 2.

http://scholar.google.com/scholar?q=Stakeholders%27+Perception+of+Residential+Density:+A+Case+Study+of+Adelaide&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

Sivam, A. and Karuppanan, S. (2012) Density Design and Sustainable Residential Development, Presented at the European Network for Housing Research Conference 2009, 28 June to 1 July, Prague, Czech Republic, pp: 2.

http://scholar.google.com/scholar?q=Density+Design+and+Sustainable+Residential+Development,+Presented+at+the+European+Network+for+Housing+Research+Conference+2009&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

SO. Elbernik, HG. Mass(2000). "The use of anisotropic height texture measurements for the segmentation of airborne laser scanner data", pp: 33 .

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

You, S. (2003). Urban Site Modeling from Lidar. 2nd Int'l Workshop Computer Graphics and Geometric Modeling (CGGM), Springer", pp: 579 -588.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.1368&rep=rep1&type=pdf>

Wang, M., Tseng, Y(2004). LiDAR data segmentation and classification based on octree structure. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 35, pp: 308-313.

http://scholar.google.com/scholar?q=LiDAR+data+segmentation+and+classification+based+on+octree+structure.+International+Archives+of+Photogrammetry+and+Remote+Sensing&hl=fa&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

Wang, H., Shi S., and Rao X., (2013), A Study of Urban Density in Shenzhen, the Relationship between Street Morphology, Building Density and Land use, Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium, Seoul, pp: 2.

https://urs.ui.ac.ir/?_action=export&rf=isc&issue=4253

W. Forstner(1999). "3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods". Gustafson EE, Kessel WC (1997) Fuzzy Clustering With A Fuzzy Covariance Matrix. San Diego, pp: 761-76 .

<http://nosazco.com/wp-content/uploads/2019/01/3d-building.pdf>

