

# تفسیر داده‌های رادار نفوذ در زمین به منظور شناسایی لوله تاسیسات زیرزمینی با نگرش فازی

علیرضا حاجیان<sup>۱</sup>

امیر فاضلیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه فیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف [dralirezahajian@gmail.com](mailto:dralirezahajian@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

## چکیده:

شناسایی لوله های مدفون تاسیسات زیرسطحی خاک و آگاهی از مشخصات و محل دقیق آنها یکی از چالش‌هایی است که مهندسان عمران به خصوص در عملیات حفاری یا بسترسازی راهها همواره با آن مواجه‌اند. یکی از روش‌های ژئوفیزیک نزدیک سطح که در سال‌های اخیر در این زمینه موفقیت‌هایی حاصل کرده، روش *GPR* است. در این تحقیق که در یکی از مناطق شهری تهران انجام گرفته است، با برداشت چند مقطع متفاوت زیرسطحی قابلیت روش *GPR* در تعیین محل دقیق این‌گونه ساختارها، مورد بررسی قرار گرفته است. به‌علاوه در این پژوهش با رویکردی متفاوت در تفسیر داده‌ها، با تحلیل مشخصه‌های دامنه، فاز و بسامد تپ‌های *GPR* و نیز با بهره‌گیری از روش نگرش فازی، که می‌تواند در ارائه تصویری واقعی‌تر از الگوی ساختارهای زیرسطحی به ما کمک کند، سعی در دریافت حداکثر اطلاعات از مقطع‌های *GPR* شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد با نگرش فازی که از طریق سیستم استنتاج تاکاگی سوگنو بعمل آمد می‌توان از رکوردهای رادار نفوذ در زمین لوله های تاسیسات شهری را با دقت بیشتری شناسایی نمود. **واژه‌های کلیدی:** رادار نفوذ در زمین، *GPR*، نگرش فازی.

## *Interpretation of Ground Penetrating Radar data in order to detect buried pipes using fuzzy approach*

Alireza Hajian<sup>1</sup>  
Amir Fazelian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistance Professor, Faculty of Sciences, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>2</sup>Ms. Student, Civil Engineering Department, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

### Abstract

Detection of buried pipes is an important issue for most of geotechnical and civil engineers when digging for buildings and also roads beds. In this research, we have proposed a fuzzy approach to interpret GPR data to detect near surface buried pipes. The method is based on extracting if-then fuzzy rules using a Takagi-Sugeno fuzzy interference system.

The fuzzy system helps the interpreter for more accurate identification of buried pipes.

**Keywords:** Buried pipes, GPR, Interpretation, fuzzy.

### ۱ مقدمه

اخیراً روش‌های غیر مخرب برای اکتشاف و بازیابی اطلاعات سازندهای زیرسطحی در حوزه‌های مختلف از جمله اکتشاف نفت و گاز، زمین‌شناسی مهندسی، باستان‌شناسی و ژئوتکنیک (یافتن موقعیت کانال‌های مدفون و لوله‌ها) توسعه یافته‌اند. روش رادار نفوذی به زمین یکی از روش‌های با قدرت تفکیک بالای ژئوفیزیک می‌باشد. در این روش از امواج الکترومغناطیسی فرکانس بالا (12.5 تا 1000 مگاهرتز) برای آشکارسازی توده‌های زیرسطحی استفاده می‌شود [۱]. [۲]. کاربردهای *GPR* بسیار گسترده بوده و مقالات و مطالعات مختلفی در حوزه علوم‌زمین، مطالعات زیست-محیطی، آب‌شناسی، یخچال‌شناسی، باستان‌شناسی، فعالیت‌های عمرانی و غیره به چاپ رسیده است [۳، ۴]. کامکارروحانی وهمکاران (۱۳۹۱) روشی مبتنی بر پردازش پوش برای تفسیر داده های *GPR* به منظور شناسایی

حفره‌های زیرسطحی و بررسی لایه بندی، دانه بندی و برآورد میزان رس در رسوبات زیرسطحی کم عمق ارایه نمودند [۵]. استفان وهمکاران (۲۰۰۶) به روش پردازش تصویر دیجیتال راهکاری برای افزایش دقت تفسیر داده های GPR ارائه کردند [۶]. شیهاب وهمکاران (۲۰۱۲) روشی مبتنی بر ترکیب شبکه عصبی و پردازش تصویر برای تفسیر داده های GPR ابداع نمودند که تا روشی هوشمند بحساب می آمد [۷]. در این مقاله روشی فازی مبتنی بر استنتاج قوانین فازی از طریق سیستم تاکاگی-سوگنو به منظور تفسیر داده های GPR ارائه شده است.

## ۲ سیستم استنتاج فازی Takagi-Sugeno-Kang

در این سیستم که آن را TSK نیز می نامند، قسمت مقدم قواعد فازی است اما قسمت نتیجه غیرفازی و ترکیبی خطی از متغیرهای ورودی است. یک مدل فازی TSK به فرم زیر می باشد:

$$R_j : \text{if } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{2j} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{nj} \text{ Then } \quad (j=1,2,\dots,R)$$

$$y = g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

که در رابطه فوق،  $n$  تعداد متغیرهای ورودی،  $R$  تعداد قواعد فازی،  $A_{ij}$  مجموعه فازی متناظر با  $i$ -امین متغیر ورودی برای  $j$ -امین قانون فازی و  $g_j$  یک تابع ثابت از  $x_i$  می باشد که معمولاً دارای یک فرم خطی ساده به صورت

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = q_0 + q_1 x_1 + \dots + q_n x_n \quad (2)$$

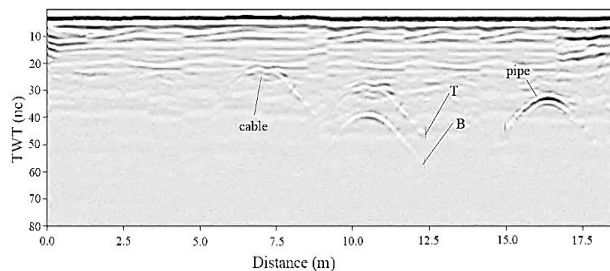
می باشد. خروجی نهایی سیستم فازی فوق به صورت زیر قابل بیان است:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^R g_j(0) T_{i=1}^{m_j} u_{ij}(x_i)}{\sum_{j=1}^R T_{i=1}^{m_j} u_{ij}(x_i)} \quad (3)$$

که در آن  $u_{ij}$  تابع تعلق برای مجموعه فازی  $A_{ij}$  است،  $m_j$  ( $1 \leq m_j \leq n$ ) تعداد متغیرهای ورودی در بخش مقدم قوانین فازی است و  $T$  یک عملگر  $T$ -norm فازی می باشد. سیستم فازی TSK یک سیستم منفرد فازی می باشد.

## ۳ شناسایی اثر لوله های مدفون زیرسطحی با استفاده از روش نگرش فازی

برای یک فرآیند مشخص منظور از ساخت سیستم های استنتاج فازی تعیین قواعد فازی حاکم بر آن فرآیند است. خواه در مورد طراحی یک کنترل گر یا در مورد تخمین، برآورد یا شناسایی یک متغیر باشد. برداشتهای GPR در یک شبکه طی تعداد ۸ پروفیل در منطقه امیرآباد شمالی تهران انجام شد (شکل ۱). از بین پروفیل های برداشت شده در منطقه امیرآباد شمالی مقطع شماره ۸ به دلیل احتمال بیشتر وجود لوله تاسیسات انتخاب و با اعمال فیلتر Dewow بهره Autogain به ازای ضریب اتلاف 3 و مقدار بیشینه بهره 100 تهیه شده است. همچنین برای حذف نوفه های بسامد زیاد ناشی از اثر بهره مورد استفاده، از فیلتر پایین گذر با بسامد قطع 628 مگاهرتز استفاده شده است (شکل ۲).



شکل ۱ برداشت داده در منطقه امیرآباد شمالی تهران توسط فاضلیان (نگارنده دوم مقاله) شکل ۲- مقطع زمانی پروفیل شماره ۸ با اعمال فیلتر Dewow و استفاده از بهره Autogain

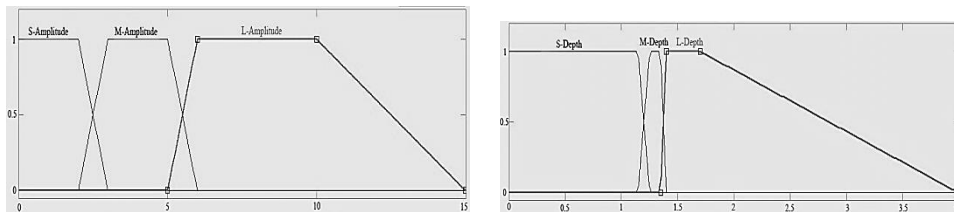
برای شناسایی اثر ساختارهای زیرسطحی از یک سیستم فازی با دو متغیر ورودی و یک متغیر خروجی استفاده می کنیم: متغیرهای ورودی شامل: عمق مقطع مورد نظر ( $Depth$ ) و زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج

الکترومغناطیس (*Time*) متغیر خروجی شامل: دامنه یا تپ بازتابی از اثر حفره زیرسطحی (*Amplitude*) برای شناسایی اثر ساختارهای زیرسطحی در پروفیل‌های یاد شده از پایگاه قواعد فازی زیر (جدول ۱) استفاده می‌کنیم.

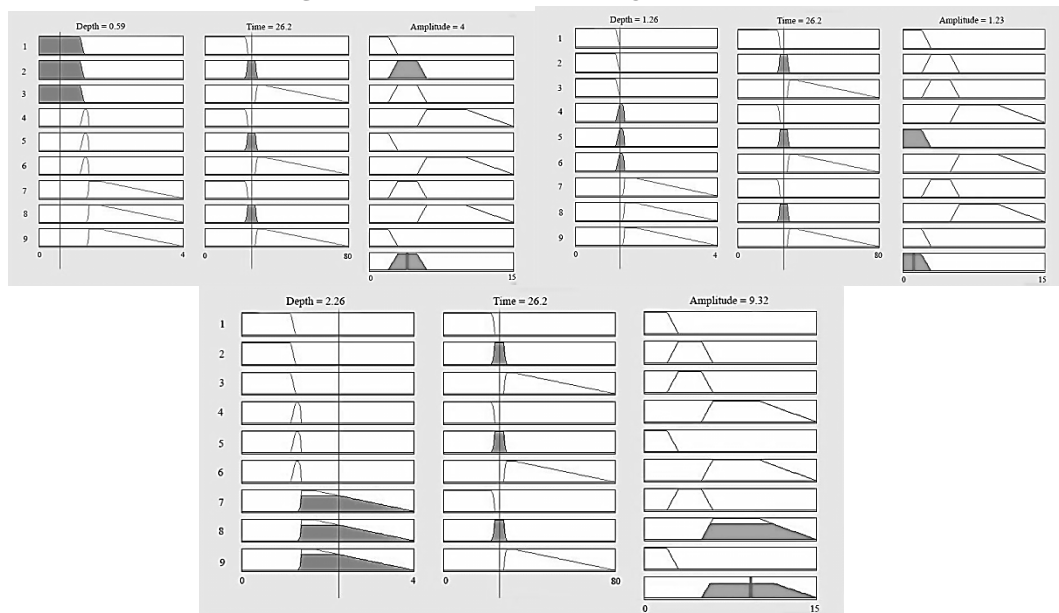
جدول (۱) پایگاه قواعد فازی تفسیر پروفیل‌های *GPR*

<i>Det</i> <i>h</i>	<i>Time</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>L</i>
<i>S</i> (small)		<i>S-Amplitude</i>	<i>M-Amplitude</i>	<i>M-Amplitude</i>
<i>M</i> (Medium)		<i>L-Amplitude</i>	<i>S-Amplitude</i>	<i>L-Amplitude</i>
<i>L</i> (Large)		<i>M-Amplitude</i>	<i>L-Amplitude</i>	<i>S-Amplitude</i>

برای انجام تحلیل به روش فازی در این پژوهش از مدل *Takagi-Sugeno-Kang* استفاده شده است. همچنین در این پژوهش از نرم افزار *MATLAB* برای ایجاد سیستم فازی در داده های ورودی و خروجی استفاده شده است و بهترین ترکیب برای پارامترهای ارائه شده در بالا مد نظر قرار گرفته است. توابع عضویت خوشه های ورودی و خروجی و نیز قواعد فازی مستخرج از سیستم تاکاگی-سوگنو برای اعماق متوسط در شکل های ۳ و ۴ آورده شده است.



شکل ۳- توابع عضویت خوشه‌های ورودی و خروجی



شکل ۴- قواعد فازی مستخرج از سیستم تاکاگی - سوگنو برای عمق متوسط

همان‌طور که مشخص شده است، سیستم فازی یک سیستم هوشمند است که می‌تواند با یک سری قواعد همه حالت‌های ممکن را پوشش دهد. شکلهای بالا نشان می‌دهد که با داشتن ورودی‌های عمق و زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج، می‌توانیم حفره‌های زیرسطحی بدست آمده در این پژوهش، با دستگاه *GPR* را طبقه بندی و با توجه به میزان دامنه بازتابی (تپ بازتاب) از اثر هر حفره در خروجی برنامه، به شناسایی نوع آن حفره دست یافت. در پنجره‌های فازی بالا حالت‌های فازی زیر استنتاج شد [۸]:

- اگر به ازای عمق‌های کم، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس کم باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد کمتر از ۲ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره لوله آریستی است.
- اگر به ازای عمق‌های متوسط، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس کم باشد، آن‌گاه

- حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد بیشتر از ۵ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره لوله فلزی می‌باشد.
  - اگر به ازای عمق‌های زیاد، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس کم باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد بیشتر از ۲ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره کابل برق می‌باشد.
  - اگر به ازای عمق‌های کم، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس متوسط باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد بیشتر از ۲ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره کابل برق است.
  - اگر به ازای عمق‌های متوسط، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس متوسط باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد کمتر از ۲ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره لوله آرزستی می‌باشد.
  - اگر به ازای عمق‌های زیاد، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس متوسط باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد بیشتر از ۵ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره لوله فلزی می‌باشد.
  - اگر به ازای عمق‌های کم، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس زیاد باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد بیشتر از ۲ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره کابل برق است.
  - اگر به ازای عمق‌های متوسط، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس زیاد باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد بیشتر از ۵ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره لوله فلزی می‌باشد.
- اگر به ازای عمق‌های زیاد، زمان رفت (تابش) و برگشت (بازتاب) موج الکترومغناطیس زیاد باشد، آن‌گاه حفره بدست آمده دارای دامنه‌ایی با عدد کمتر از ۲ می‌باشد و نشان دهنده اثر حفره لوله آرزستی می‌باشد.
- در مورد پروفیل ۸ برداشت شده قواعد فازی بالا نشان می‌دهد که عمق لوله مدفون در خوشه عمق متوسط و اثر حفره لوله فلزی تاسیسات گازی شهری می‌باشد که با نقشه‌های موجود تاسیسات زیرسطحی مجاور این پروفیل همخوانی خوبی دارد.

#### ۵- نتیجه و جمع بندی

در راستای تفسیر داده‌های رادار نفوذ در زمین به منظور شناسایی لوله‌های مدفون تاسیسات شهری از روشی فازی مبتنی بر سیستم استنتاج فازی تاکاگی سوگنو استفاده شد که این روش قادر به استخراج قوانین فازی مناسب و بهینه برای تفسیر داده‌ها می‌باشد. خروجیهای سیستم برای پروفیلی برداشت شده در منطقه امیرآباد شمالی تهران نشان داد این قوانین فازی تا حد زیادی یاریگر مفسر در تفسیر بهتر داده‌هاست به طوری که او را بین انتخابهای لوله فلزی، کابل و لوله آرزستی راهنمایی نموده واز ابهامی که در تفسیرهای کلاسیک در این موارد وجود دارد تا حدود قابل قبولی می‌کاهد.

#### ۶- مراجع

- [1] Van Dam, R. L. and Schlager, W., 2000, *Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analyses*, *Sedimentology*, 47, 435-449.
- [2] Neal, A *Ground penetrating radar and its use in sedimentology*, 2004. *principles, problems and progress*, *Earth-science reviews*, 66: 261-330,
- [3] Reynolds, J. M, *An introduction to applied end environmental geophysics*, 1997 John Wiley & Sons Ltd .
- [4] Knight, R., *Ground penetrating radar for environmental applications*, 2001, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 29, 229-255.
- [6] Stephan M., Rosemary J., Harry M., 2006, *Texture-based classification of ground-penetrating radar images* *GEOPHYSICS*, VOL. 71, NO. 6 NOVEMBER-DECEMBER 2006 ;P. K111-K118, 10.1190/1.2356114
- [7] S. Shihab, 2012, *Image Processing and neural network technique for automatic detection and interpretation of GPR data*, Ms. Thesis, University of Liverpool, Brownlow Hill Liverpool L69 3GJ, U.K.

[8] فاضلیان ا.، پردازش و تفسیر داده‌های رادار نفوذ در زمین (GPR) به منظور شناسایی و تعیین حفره‌های احتمالی زیر سطحی خاک بستر راه آسفالت در یکی از مناطق شهر تهران با نگرش فازی، ۱۳۹۴، پایان نامه ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد (به راهنمایی دکتر علیرضا حاجیان).