

تحلیل اثر تشدید در دره های آبرفتی V شکل با استفاده از سیستم نوروبازی

شهرام وهدانی

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

کارولوکس

استاد گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

ایمان کریمی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۰/۱۱/۲۷، تاریخ تصویب ۸۱/۹/۱۶)

چکیده

تحلیل دو بعدی پاسخ دره های V شکل پر از رسوب نیاز به محاسبات عددی پیچیده ای دارد که معمولاً هر مورد خاص توسط برنامه هایی با امکانات احتساب اثر اندرکنش تحلیل می گردد. در این تحقیق روشی برای ترکیب سیستم نوروبازی و برنامه تحلیل اندرکنش به منظور تعیین پاسخ این دره ها و نیز قوانین حاکم بر رابطه بین مشخصات دره و پاسخ آن به تحریک به صورت قوانین فازی ارائه شده است. با استفاده از برنامه تحلیلی مجموعه ای از داده های طیف پاسخ دره های متفاوت بدست آمده و با تعلیم سیستم نوروبازی بوسیله این داده ها پاسخ برای موارد جدید بدون نیاز به مدل عددی محاسبه شده است. همچنین سعی شده است از قوانین فازی بدست آمده برای شناخت کلی از سیستم و تحصیل پاسخ در مواردی که اطلاعات قطعی در دست نیست استفاده شود.

واژه های کلیدی: تشدید امواج، دره های V شکل، روش های هوشمند، فازی، شبکه های عصبی

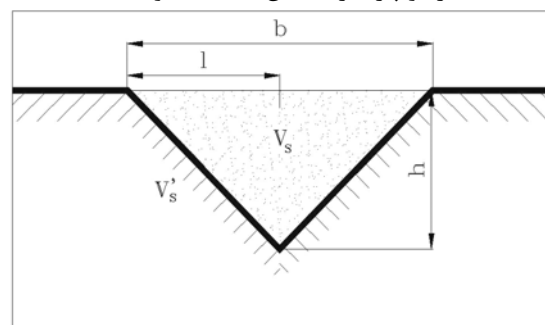
مقدمه

از کاربردها نتایج تقریبی تشدید موجهای ورودی از سنگ بستر دقت کافی را برای تصمیم گیریهای مهندسی دارا باشد و بتوان با تعلیم یک سیستم فازی از طریق شبکه های عصبی و با داده های تحلیل دره های با مشخصات هندسی و جنس رسوب متفاوت مجموعه ای از قوانین فازی بدست آورد. این قوانین بیان کننده رابطه بین مشخصات دره و پاسخ آن به تحریک به صورت فازی می باشند که از روی آنها نه تنها نتایج تقریبی فوق الذکر بدست می آید بلکه شناختی کلی و قابل قبول از سیستم نیز در مواردی که مشخصات مساله به طور دقیق در دست نیست قابل حصول می باشد. همچنین سیستم فازی قادر است در مواردی که اطلاعات ما از مساله دقیق نیست نیز، بر اساس سیستم استدلال تقریبی فازی جواب مناسب را ارائه دهد.

تعیین پاسخ در سطح آزاد یک دره V شکل و پر شده از رسوب بر اثر تحریک در سنگ بستر و محاسبه شرایط حدی در سطح آزاد از مسائل مهم مهندسی محسوب می گردد و تاکنون راه حل های عددی متنوعی مبتنی بر روش المانهای محدود و یا روشهای عددی دیگر برای حل این مساله پیشنهاد شده اند [۱-۳]. از جمله این روشها استفاده از تئوری اندرکنش خاک و سازه است که به جای خود با در نظر گرفتن مشخصات رسوب به جای سازه از طریق روش عددی قابل حل می باشد [۴]. این مسئله از دو جنبه قابل توجه و بررسی بیشتر است: اولاً راه حل های عددی و برنامه های مبتنی بر آنها معمولاً بسیار پیچیده و زمان بر بوده و نیاز به تخصص نسبی زیادی دارند؛ ثانیاً داده های ورودی به آنها از قطعیت کافی برخوردار نمی باشند. لذا به نظر می رسد در بسیاری

مدل عددی

تحلیل های مبنای مورد نیاز در این تحقیق توسط برنامه SASSI انجام گرفته است. نسخه اولیه برنامه در دانشگاه برکلی توسط تیمی متشکل از پنج دانشجوی دکترا تحت هدایت پروفیسور جان لایسمر^۱ نوشته شده است. نسخه حرفه ای برنامه متعاقباً تکمیل و مورد قبول کمیته بین المللی نیروگاههای اتمی (NRC) قرار گرفت. این برنامه برای حل اندرکنش خاک و سازه مساله را به یک سری زیر مساله تقسیم می کند و با حل این زیر مساله ها و بر هم نهی^۲ جوابها جواب نهایی به دست می آید. این روش به زیر سازه سازی^۳ معروف است و برنامه توانایی اعمال شتاب نگاشتهایی از امواج SH , P , SV ، لاو و رایلی و یا ترکیباتی از آنها را دارا می باشد که می توان در عمق دلخواه از سازه مورد نظر و با زاویه برخورد بین ۰ تا ۹۰ درجه اعمال شوند. همچنین می توان پاسخ سیستم را به تحریکات Single harmonic در حوزه فرکانسی بدست آورد که در این تحقیق نیز از همین امکان برنامه استفاده شده است. تمامی این تحلیلها می تواند به صورت دو بعدی یا سه بعدی انجام گیرد. برای مدل کردن مساله، آبرفت مانند یک سازه مدفون و با مشخصات ژئومکانیکی مناسب (V_s) به برنامه معرفی می شود. پاسخ در هر یک از گره های مدل اجزاء محدود ساخته شده، قابل تحصیل است. در شکل (۱) شکل شماتیک دره و پارامترهای آن دیده میشوند.



شکل ۱: شکل شماتیک یک دره آبرفتی V شکل و پارامترهای مربوطه.

با تحلیل یک دره با هندسه مشخص (b/h) و جنس رسوب معلوم (V_s) مقدار تابع تشدید در فرکانسهای متفاوت تحریک بدست می آید که معرف طیف پاسخ در گره مورد نظر می باشد.

مشخصات فیزیکی مدل

چنانچه رفتاری که توسط سیستم نوروفازی مدل می شود، دچار اغتشاشات شدید باشد، شاید بتوان به کمک تعلیم زیاد آنرا مجبور کرد که مجموعه داده های نمونه را فرا بگیرد، اما در این حالت سیستم به جای آنکه مساله را یاد بگیرد آنرا حفظ می کند و به ازای ورودیهای جدید، پاسخ مناسب ارائه نخواهد داد. علاوه بر این قوانین به دست آمده از این مجموعه داده ها نیز، چندان ارزشی ندارند. در چنین مواردی می توان دامنه تغییر متغیرها را بر اساس تعبیر فیزیکی مساله به چند قسمت که در هر کدام از آنها روال رفتار مشابه است، تقسیم کرد. از طرفی زیاد بودن ابعاد مساله باعث می شود که تعلیم مشکل و یا حتی غیر ممکن شود. یکی از راه حل های این مشکل، چند مرحله ای کردن راه حل به کمک تعریف پارامترهای جدید و متناسب با فیزیک مساله است. این ترفند باعث می شود که داده های مورد نیاز برای تعلیم و زمان آموزش به مقدار قابل توجهی کاهش یابد.

در ادبیات فنی [۵] دره های پر از رسوب به دو دسته دره های پهن و کم عمق و دره های کم عرض و عمیق تقسیم می شود که به ترتیب به دره های با بازشدگی بیشتر از ۴ و کمتر از ۴ اطلاق می شود. (جدول ۱). هر چند همانطور که ملاحظه می شود، اطلاعات موجود در این زمینه بسیار کم می باشد. کار حاضر دره های باریک با باز شدگی های بین ۲ تا ۴ را مورد بررسی قرار می دهد. بدیهی است روش توسعه یافته را می توان با تکرار مراحل آن برای بازه های دیگر نیز مورد استفاده قرار داد. موج بر خورنده نیز SV انتخاب شده است زیرا تحقیقات در مورد اثر این امواج بسیار قلیل می باشد.

در این دره ها پاسخها صرف نظر از مقادیر عددی، از لحاظ رفتار مشابه بوده و لذا برای معرفی به یک سیستم هوشمند برای فراگیری مناسب می باشند. همچنین از آنجائیکه پربوده های بیشتر سازه های مهندسی بین ۰/۱ - ۲ ثانیه قرار دارند. (فرکانس ۰.۵-۱۰ هرتز) دامنه تغییرات سرعت موج برشی در آبرفت نیز $150 - 220 m/s$ در نظر گرفته شده است؛ زیرا در این دامنه، فرکانس اساسی، فرکانسی که بیشترین تشدید در آن رخ می دهد، به ازاء تمامی بازشدگیها و جنس رسوب در داخل بازه

خاص، در یک دره مشخص ابتدا فرکانس اساسی دره یافت شود و سپس با داشتن رفتار عمومی، پاسخ را در فرکانس مورد نظر پیداکنیم.

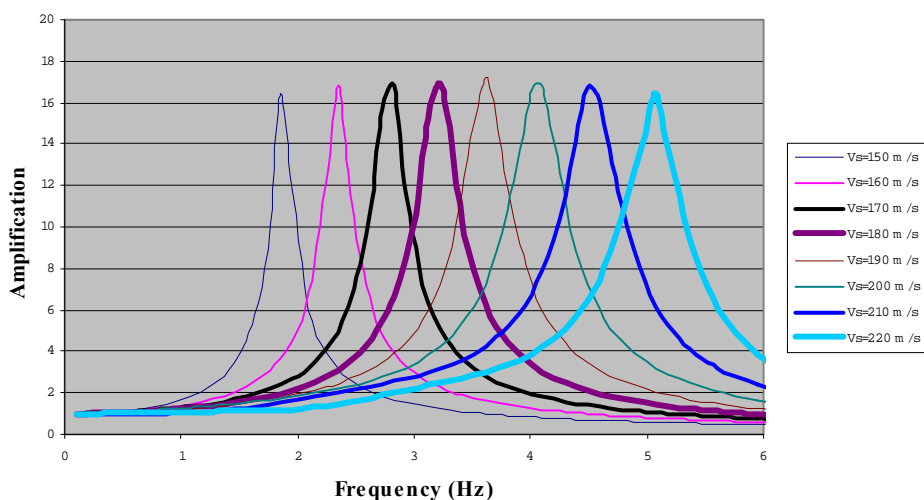
داده های نمونه مساله یادگیری برای یافتن فرکانس اساسی از حل عددی دره های با نسبت بازشدگی ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ برای سرعت موج برشی آبرفت ۱۵۰-۲۲۰ متر بر ثانیه بدست می آید(شکل ۴). اما همانطور که در شکل دیده می شود در نسبت بازشدگی ۴ برای سرعتهای ۱۵۰ و ۱۶۰ متر بر ثانیه و در نسبت بازشدگی ۳/۵ به ازای سرعت بازشدگی ۱۵۰ متر بر ثانیه نقطه ای نداریم. این بدان علت است که در این موارد تحلیل عددی هیچ تشدید را نشان نداد و لذا فرکانس اساسی بدست نیامد. این موضوع با برون یابی نقاط فوق توسط روشهای متداول نیز قابل تحقیق است و می بینیم که نتایج حاصله از آنها نیز فرکانسهای اساسی را منفی نشان می دهند

[0-10] هرتز قرار می گیرد. مقدار تشدید بیشینه برای این حوزه تغییرات که برای ۴۰ نمونه توسط مدل عددی حل شد، تقریباً ثابت بوده و حدود ۱۷ می باشد. فواصل فرکانسها مورد بررسی بسیار کوچک (0.1 Hz) انتخاب شد تا حتی الامکان پاسخ و به خصوص فرکانس اساسی دقیق باشند. نمونه این تحلیلها برای $150 m/s \leq V_s \leq 220 m/s$ و $b/h = 2.5$ در شکل (۲) دیده می شود.

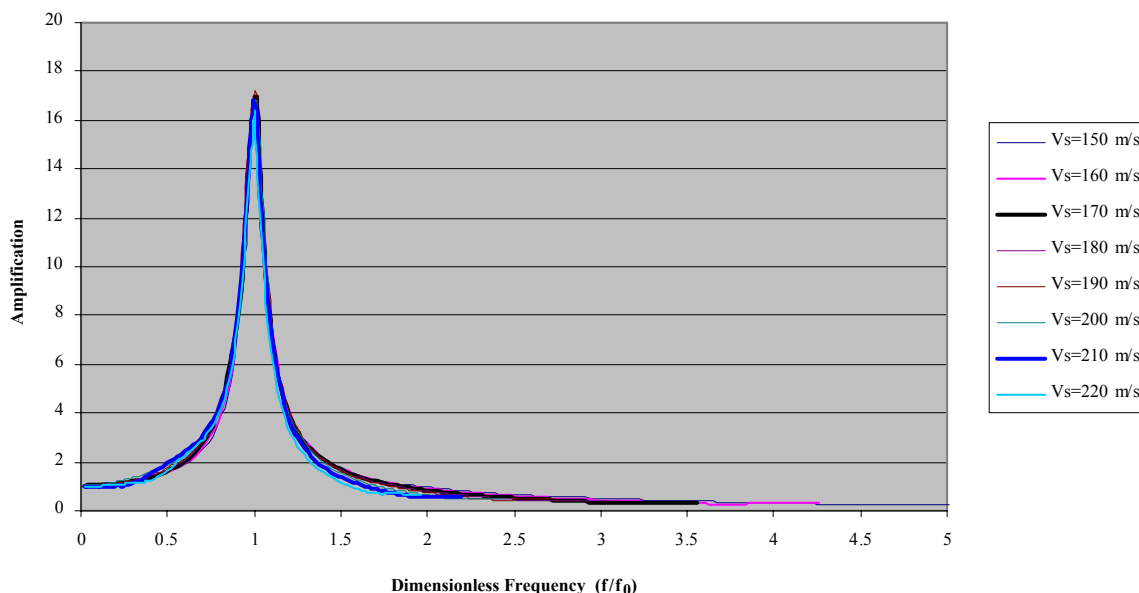
با بی بعد کردن فرکانس طیفها از طریق تقسیم فرکانس به فرکانس اساسی، می بینیم که نمودارهای (b/h) و (V_s) مختلف بر روی هم منطبق می شود. شکل (۳) نمایانگر پیاده شدن این روند در مورد شکل (۲) می باشد که در صورت تحقیق می بینیم که برای بازشدگی های دیگر در این محدوده نیز صادق می باشد. از اینجا به این ایده رسیده ایم که برای محاسبه پاسخ در یک فرکانس

جدول ۱: اثرات توپوگرافی و بی قاعدگیهای زیر سطحی

| ساختار | شرایط | نوع | ابعاد و اندازه | قابلیت تخمین کمی |
|--|---|--|---|--|
| دره های پر شده از رسوبات | تغییرات محلی در ضخامتهای کم رسوب. ایجاد امواج سطحی پیروید بلند ناشی از امواج حجمی در زوایای برخورد کم عمق | افزایش مدت افزایش تشدید و مدت ناشی از امواج سطحی حبس شده | مدت حرکات مهم می تواند دو برابر شود. مدت و تشدید حرکات مهم ممکن است بصورت تصویر یک بعدی افزایش یابد. | معمولی در پیرودهای بیش از ۱ ثانیه خوب است. |
| دره های کم عمق و پهن ($0.25 < \text{عرض} / \text{عمق}$) پر شده از رسوبات | اثرات، اغلب در نزدیکی لبه ها بیشتر محسوس می باشد، انتشار زیاد قائم امواج برشی از لبه ها | تشدید با نوار وسیع در نزدیکی لبه ها ناشی از ایجاد امواج سطحی | در فرکانسهای بالاتر حدود ۲، مدلهای یک بعدی جوابی پایین تر از حد انتظار در نزدیکی لبه ها خواهند داشت. | خوب، به دور از لبه ها، مدل یک بعدی خوب عمل می کند، نزدیکی لبه ها جهت فرکانسهای بالا یک بعد به مدل اضافه شود. |
| دره های عمیق و باریک ($0.25 > \text{عرض} / \text{عمق}$) پر شده از رسوبات | اثرات در سراسر عرض دره | تشدید با نوار وسیع در عرض دره، ناشی از تمامی مودهای دره | مدلهای یک بعدی ممکنست برای یک پهنای باند وسیع حدود ۲ تا ۴، کمتر از واقعیت را تخمین زنند، فرکانسهای تشدید از یک جهت جابجا می شوند. | معمولی، توصیف تفصیلی از تغییرات قائم و افقی در خواص مصالح داده شده است. |



شکل ۲: تابع تشدید در حالت $b/h = 2.5$.



شکل ۳: تابع تشدید در حالت $b/h = 2.5$ بر حسب فرکانس بی بعد (f/f_0) .

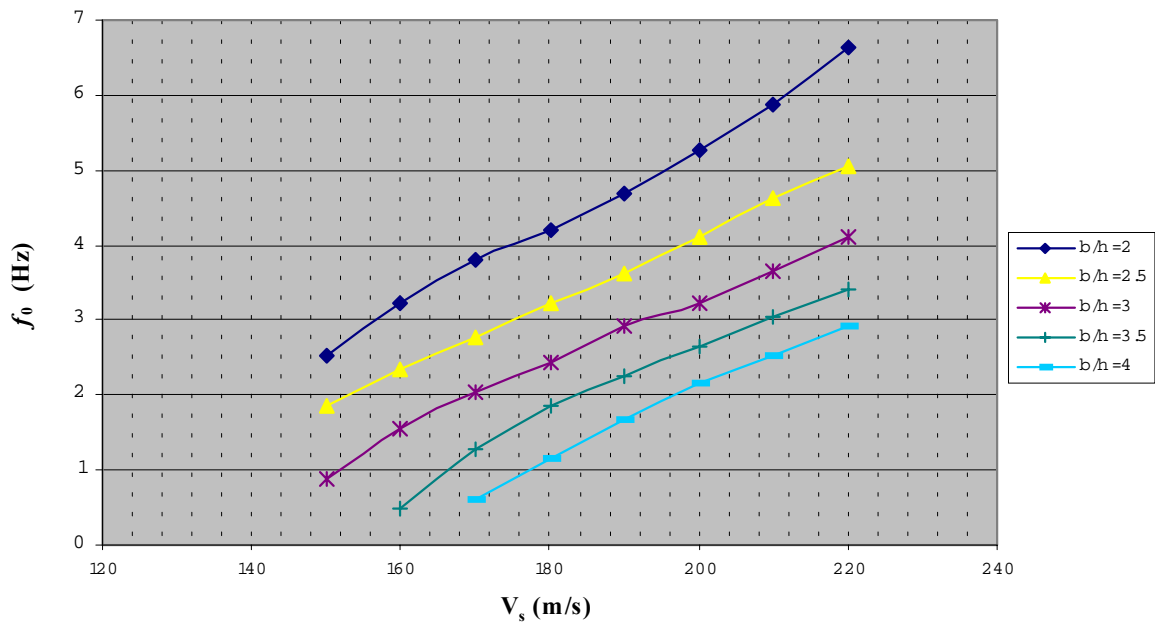
بیش از اندازه زیاد است؛ بخصوص اینکه مقادیر بعضی از این یکتاهای فازی بسیار نزدیک به هم می باشند. می دانیم که اگر برای دیفازی کردن از روش مرکز ماکزیمم ها (CoM) ^۶ استفاده شود [۷]، مدل ممدانی و سوگنو درجه صفر [۴] معادل هستند. لذا به راحتی می توانیم با همین مجموعه داده ها، توابع عضویت نتیجه شده از ANFIS را با استفاده به صورت مقید از رهیافت FAM^۷ [۷]، بهینه کنیم. اگر در حین یادگیری هسته^۸ توابع عضویت خروجی بر هم منطبق شد، یکی از

مدل فازی فرکانس اساسی

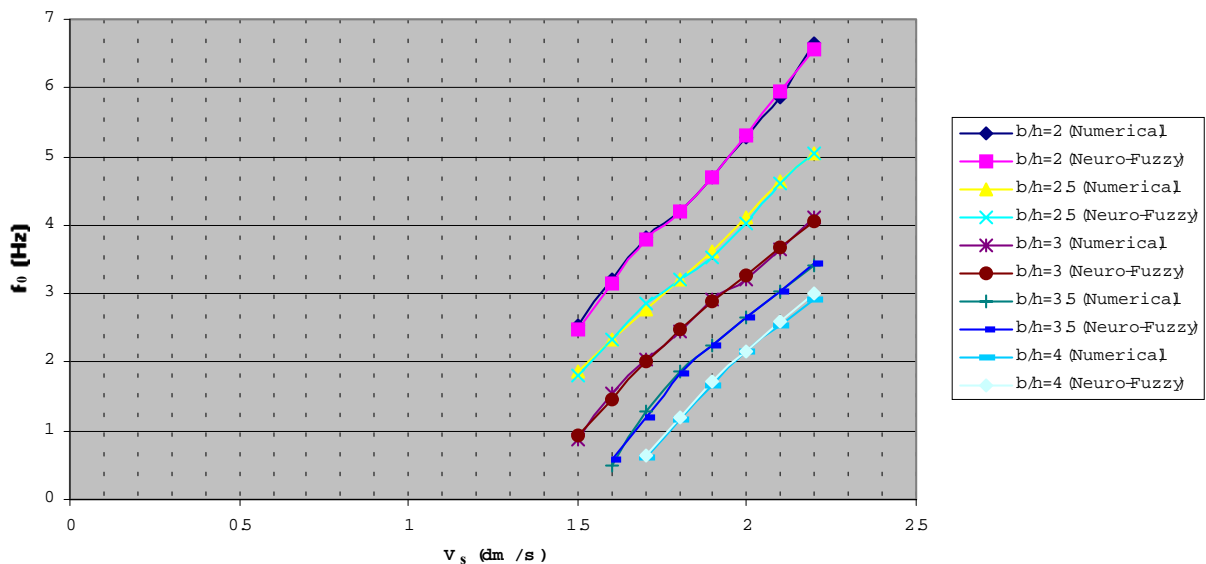
داده های نمونه شکل (۴) ابتدا توسط رهیافت ANFIS^۴ [۶] در نرم افزار MATLAB در تعلیم یک مدل سوگنو درجه صفر بکار می روند. مدل با فرض ۴ عبارت زبانی برای نسبت بازشدگی و سرعت موج برشی در آبرفت و احتساب یک قانون برای هر حالت ترکیب ممکن ساخته میشود و نتیجتاً^{۱۶} قانون با وزن یک بدست می آید که هر یک در حکم قانون یکتای فازی^۵ و بیانگر فرکانس اساسی است. اما این تعداد عبارت زبانی خروجی

معادل خطای ماکزیمم ۰/۰۹ Hz و خطای متوسط Hz ۰/۴۳ خواهد شد. در شکل (۵) دیده می شود که سیستم تا چه اندازه مساله یادگیری را فرا گرفته است.

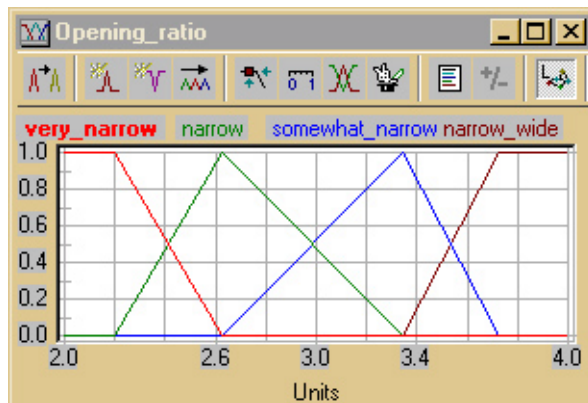
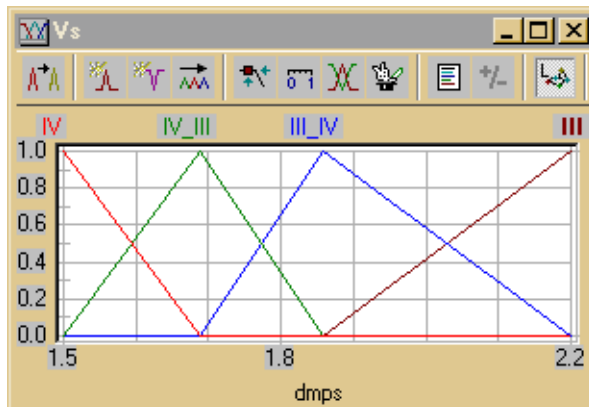
آنها را حذف کرده و در قانون مربوطه نیز تابع عضویت معادل آنرا قرار می دهیم. به این ترتیب می توان توابع عضویت خروجی را از ۱۶ به ۹ کاهش داد و نهایتا به خطای ماکزیمم ۱/۰۶٪ و خطای متوسط ۰/۴۹٪ می رسد که با توجه به دامنه تغییرات فرکانس اساسی



شکل ۴ : فرکانسهای اساسی دره های اُبرفتی بر حسب V_s و b/h .



شکل ۵ : فرکانسهای اساسی بدست آمده از نوروفازی در مقایسه با نتایج تحلیل عددی .

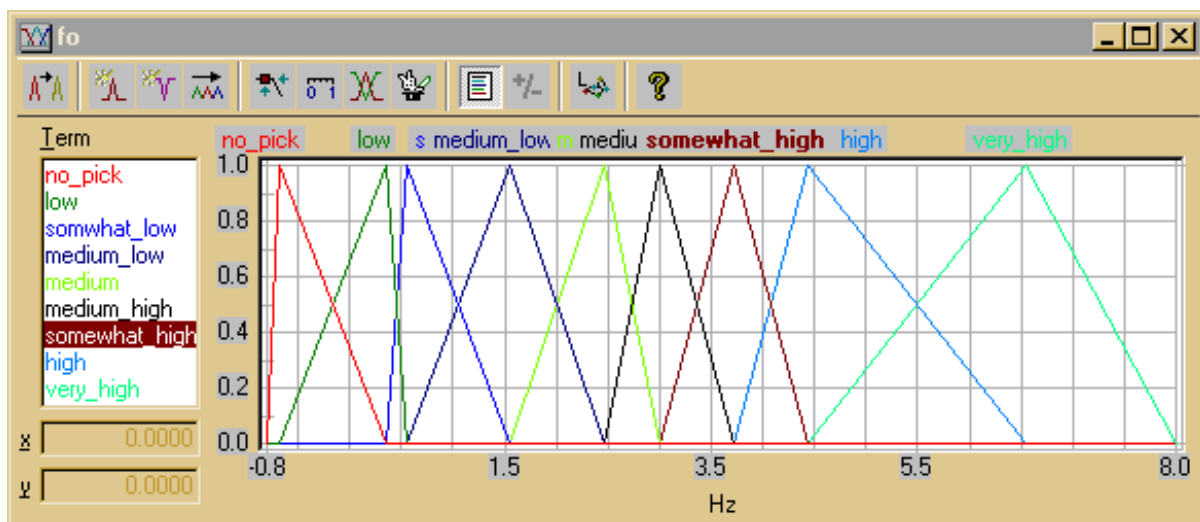


شکل ۷: توابع عضویت سرعت موج برشی در اُبرفت.

شکل ۶: توابع عضویت نسبت بازشدگی [۴].

IV : Z (1.5012,1.6876)
 IV_III : Λ (1.5012,1.6876,1.8582)
 III-IV : Λ (1.6876,1.8582,2.1993)
 III : S (1.8582,2.1993)

Z (2.1989,2.6275) Very narrow:
 Λ (2.1989,2.6275,3.3430) Narrow:
 Somewhat_narrow: Λ (2.6275,3.3430,3.7263)
 S (3.3430,3.7263) Narrow_wide:



شکل ۸: توابع عضویت فرکانس اساسی.

no_pick : Λ (-0.80,-0.6722,0.3618)
 low : Λ (-0.6722,0.3618,0.559)
 somewhat_low : Λ (0.3618,0.559,1.5464)
 medium_low : Λ (0.559,1.5464,2.4668)
 medium : Λ (1.5464,2.4668,3.0026)
 smewhat_high: Λ (2.4668,3.0026,3.7280)
 medium_high: Λ (3.0026,3.7280,4.4288)
 high : Λ (3.7280,4.4288,6.5536)
 very_high: Λ (4.4288,6.5536,8.0000)

| | IF | | THEN |
|----|-----------------|--------|--------------------|
| | b_h | Vs | DoS fo |
| 1 | very_narrow | IV | 1.00 medium |
| 2 | very_narrow | IV_III | 1.00 somewhat_high |
| 3 | very_narrow | III_IV | 1.00 high |
| 4 | very_narrow | III | 1.00 very_high |
| 5 | narrow | IV | 1.00 medium_low |
| 6 | narrow | IV_III | 1.00 medium |
| 7 | narrow | III_IV | 1.00 medium_high |
| 8 | narrow | III | 1.00 high |
| 9 | somewhat_narrow | IV | 1.00 low |
| 10 | somewhat_narrow | IV_III | 1.00 medium_low |
| 11 | somewhat_narrow | III_IV | 1.00 medium |
| 12 | somewhat_narrow | III | 1.00 somewhat_high |
| 13 | narrow_wide | IV | 1.00 no_pick |
| 14 | narrow_wide | IV_III | 1.00 somewhat_low |
| 15 | narrow_wide | III_IV | 1.00 medium_low |
| 16 | narrow_wide | III | 1.00 medium_high |

شکل ۹: مجموعه قوانین یافتن فرکانس اساسی f_0 از روی بازشدگی (b_h) و سرعت موج برشی در آبرفت (V_s).

جنس آبرفت آنها خاک نوع IV است و در این حوزه از فرکانس ها، پیک پاسخ رخ نمی دهد. یا به عبارت دیگر فرکانس اساسی به قدری به صفر نزدیک است که می توان از آن صرف نظر کرد.

تابع تشدید بر حسب فرکانس بی بعد

هرچند که توابع تشدید بر حسب فرکانس بی بعد (f/f_0) تقریباً بر هم منطبق می باشند، اما اختلافاتی جزئی نیز دارند. بنابراین برای مدل کردن پاسخ عمومی، ابتدا میانگینی از پاسخهای چندین دره با b/h و V_s های مختلف به دست می آوریم. با کاهش مناسب داده ها از طریق خوشه بندی فازی می توان این پاسخ عمومی را با ۴۱ نقطه بیان نمود [۱۱]. این نقاط مجموعه داده های نمونه برای آموزش را تشکیل می دهند. برای مدلسازی یک سیستم نوروفازی و تعلیم آن توسط این داده ها از دو راهکار استفاده شده است:

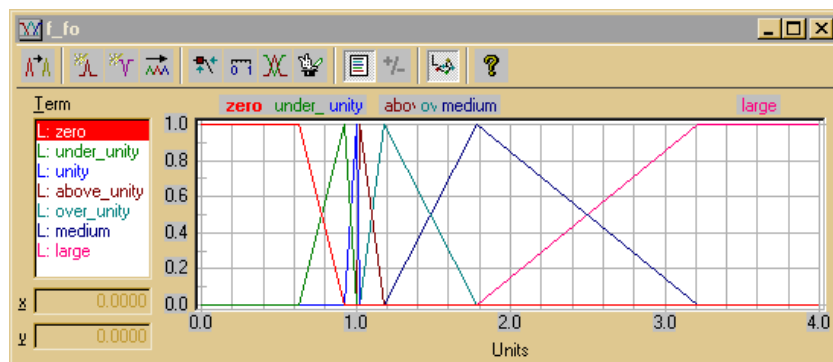
۱- استفاده توأم از رهیافتهای ANFIS و FAM

در این قسمت ۹ عبارت زبانی برای ورودی که نسبت فرکانس به فرکانس اساسی (f/f_0) می باشد فرض کرده و به ازای هر عبارت زبانی ورود یک قانون و یک عبارت زبانی خروجی به صورت یکتای فازی در نظر می گیریم تا یک مدل سوگنو درجه صفر بدست آید. رهیافت FAM می تواند توابع عضویت بهینه شده ورودی

عبارت زبانی توصیف کننده بازشدگی دره عبارتند از: {very_narrow, narrow, somewhat_narrow, narrow_wide} که به ترتیب به معنی خیلی باریک، باریک، کمابیش باریک و باریک و پهن می باشند. در شکل (۶) عبارت زبانی آخر که به دره های با بازشدگی حول و حوش ۴ اشاره دارد، از آنجا باریک-پهن نامیده شده که سیلوا بازشدگی ۴ را مرز بین دره های باریک و عریض می داند. می دانیم که آیین نامه ۲۸۰۰ [۱۰] خاکها را بر اساس سرعت موج برشی در آنها به ۴ دسته تقسیم می کند که مرز بین خاک نوع III و IV سرعت برشی ۱۷۵ m/s است. بر این اساس ما خاکهایی که سرعت موج برشی در آن بیشتر از ۲۲۰ m/s و کمتر از ۱۵۰ m/s است، به ترتیب III و IV نامیده و خاکهایی که V_s آنها نزدیک به ۱۷۵ m/s است را بسته به اینکه به خاک نوع III نزدیک است و یا نوع IV، به ترتیب III-IV و IV-III نامگذاری می کنیم (شکل ۷). در شکل (۵) همچنین نتایج برآورد فرکانس اساسی توسط سیستم نوروفازی در کنار نقاط بدست آمده از تحلیل عددی نشان داده شده است. نکته جالب این است که در این موارد سیستم نوروفازی مقدار فرکانس اساسی را منفی می دهد که می توان این موضوع را به عدم وجود فرکانس اساسی در حوزه مورد نظر تعبیر کرد. در قانون ۱۳ پایگاه قوانین (شکل ۸) نیز، عبارت زبانی no_pick بیان می دارد که در دره های باریک و پهن که

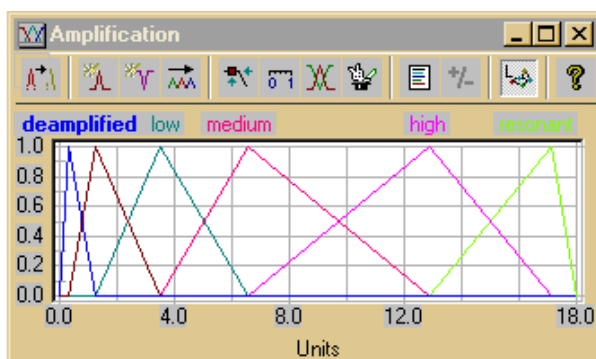
کنیم می بینیم که سیستم از لحاظ معنایی بسیار مفید می باشد که می توان در آن به این نکات اشاره کرد: سومین عبارت زبانی f/f_0 ، Unity، که بیانگر فرکانس بی بعد ۱ است، در قانون ۳ به عبارت زبانی Resonance اشاره می کند که مطابق انتظار ما می باشد. از طرف دیگر این تابع عضویت بسیار لاغر و کشیده می باشد که دقیقاً مطابق با طبیعت رفتار است، زیرا تنها قسمت کوچکی از رفتار به تشدید کامل اشاره دارد. تابع عضویت zero نیز که برای فرکانس بی بعد نزدیک به صفر است، تشدید است و لذا با رفتار سیستم همخوانی کامل دارد. همچنین فرکانسهای بی بعد بزرگ (عبارت زبانی Large) تشدید Deamplified را نتیجه می دهد و ما نیز انتظار داریم که بجای تشدید زوال داشته باشیم (اشکال ۱۰-۱۲).

و پارامترهای مناسب خروجی را بدست دهد. همانطور که در قسمت یافتن فرکانس اساسی گفته شد، می توانیم نتایج بدست آمده از ANFIS را به صورت یک مدل ممدانی با روش دیفازی کردن CoM در نظر بگیریم. سپس با استفاده از رهیافت FAM بصورت مقید (ثابت نگاه داشتن وزن قوانین و تغییر توابع عضویت) و حذف آن تعداد از توابع عضویت خروجی که هسته آنها در حین یادگیری بر هم منطبق می شوند و همچنین حذف قوانین تکراری، نهایتاً به سیستمی با خطای حداکثر ۳/۰۸٪ و ۱/۱۴٪ می رسیم که با توجه به دامنه تابع تشدید (۰-۱۸) و خطای مطلق ماکزیمم در تخمین تابع تشدید برابر ۰/۵۵ و خطای متوسط ۰/۲۱ خواهد شد. چنانچه به توابع عضویت ورودی، خروجی و مجموعه قوانین توجه



شکل ۱۰: توابع عضویت فرکانس بی بعد (f/f_0).

zero: Z (0.6351,0.9292), under_unity: Λ (0.6351,0.9292,1.0000), unity: Λ (0.9292,1.0000,1.0225)
 above_unity: Λ (2.6275,3.3430,1.1865), over_unity: Λ (3.3430,1.1865,1.7824), medium: Λ (1.1865,1.7824,3.2104)
 large: S (1.7824,3.2104)



شکل ۱۲: توابع عضویت تابع تشدید.

| | IF | THEN |
|---|-------------|--------------------|
| | f_{fo} | DoS Amplification |
| 1 | zero | 1.00 not_amplified |
| 2 | under_unity | 1.00 medium |
| 3 | unity | 1.00 resonant |
| 4 | above_unity | 1.00 high |
| 5 | over_unity | 1.00 low |
| 6 | medium | 1.00 not_amplified |
| 7 | large | 1.00 deamplified |

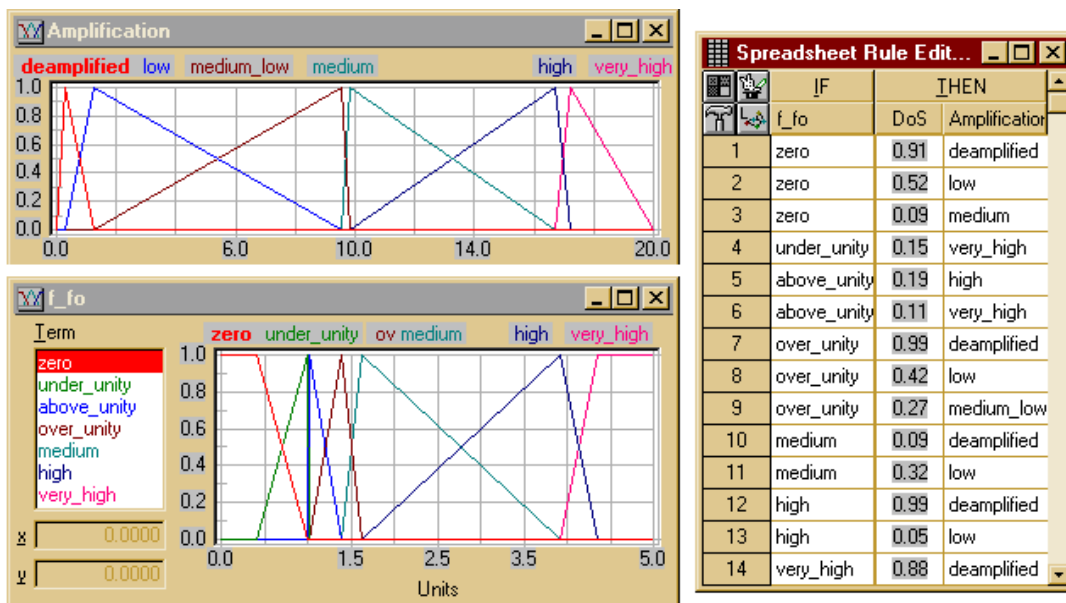
شکل ۱۱: مجموعه قوانین برای یافتن تشدید.

Deamplified: Λ (0.0000,0.3025,1.2260), Very low: Λ (0.3025,1.2260,3.4835), Low: Λ (1.2260,3.4835,6.5455)
 Medium: Λ (3.4835,6.5455,12.861), High: Λ (6.5455,12.861,17.109), Resonant: Λ (12.861,17.109,18.000)

۲- استفاده از رهیافت FAM

رزونانس هستند، از درجه حمایت پایینی برخوردارند. اگر درجه حمایت را به اهمیت^۱ تعبیر کنیم در اینصورت می توان نتیجه گرفت که قوانین با درجات حمایت کم، قوانین کم اهمیتی هستند که می توان از آنها چشم پوشی کرد و حال آنکه مهمترین بخش این سیستم قسمت رفتار بحرانی آن در حول و حوش فرکانس اساسی است و حذف این قوانین سیستم را به کلی از ارزش خواهد انداخت. تعبیر درجه حمایت به/اعتبار^{۱۱} قوانین نیز مشکل معنایی این سیستم را حل نخواهد کرد، زیرا انتظار ما این است که مجموع قابلیت اعتماد قوانین با فروض مشابه و احکام متفاوت برابر یک باشد که چنین نیست. مثلاً عبارت زبانی Over_unity سه عبارت زبانی deamplified, low, medium را به ترتیب با درجات حمایت ۰/۹۹، ۰/۴۲، ۰/۲۷ نتیجه می دهد. همچنین توابع عضویت توصیف کننده متغیرهای ورودی و خروجی به طور مناسب پخش نشده اند. مثلاً هسته های آنها در چندین مورد بیش از اندازه به هم نزدیک بوده و در عوض زیر برد وسیعی دارند.

این بار با فرض هفت عبارت زبانی برای نسبت فرکانس به فرکانس اساسی (f/f_0) به عنوان ورودی و هفت عبارت زبانی برای مقدار تشدید^۹ و ساختن تمامی قوانین ممکنه از این عبارات زبانی، پایگاه قواعدی با ۴۹ قانون بدست می آوریم. با استفاده کامل از رهیافت FAM، یعنی امکان تفسیر درجات حمایت قوانین توابع عضویت، و حذف قوانینی که درجه حمایت صفر دارند و همچنین توابع عضویت خروجی که هسته های آنها بر هم منطبق شده اند نهایتاً به خطای ماکزیمم ۰،۹۳٪ و خطای متوسط ۰/۳۲٪ می رسیم که خطای بسیار اندکی بوده و در شکل تابع تشدید برآورده شده توسط سیستم فازی در تطابق مناسب با رفتار بدست آمده از تحلیل عددی می باشد. توابع عضویت ورودی و خروجی و مجموعه قوانین در شکل (۱۳) ارائه شده اند. هر چند دقت سیستم در برآورد رفتار بهتر از راهکار قبلی است، اما مجموعه قوانین و توابع عضویت از لحاظ معنایی دچار ضعف است. مشکل اصلی این است. قوانین ۴ و ۵ و ۶ که بیانگر حالت



شکل ۱۳: توابع عضویت فرکانس بی بعد (f/f_0)، تشدید و مجموعه قوانین مربوطه در راهکار دوم

Amplification

deamplified : Λ (0.0000,0.2795,1.2765)
 low : Λ (0.2795,1.2765,3.3430)
 medium_low : Λ (2.1989,2.6275,9.5195)
 medium : Λ (2.6275,9.5195,9.8515)
 high : Λ (9.5195,9.8515,16.7015)
 very_high : Λ (9.8515,16.7015,17.2055)

f/f₀

zero : Z (0.4141,0.9905)
 under_unity : Λ (0.4141,0.9905,1.0191)
 above_unity : Λ (0.9905,1.0191,1.3839)
 over_unity : Λ (1.0191,1.3839,1.6321)
 medium : Λ (1.3839,1.6321,3.9309)
 high : Λ (1.6321,3.9309,4.3573)
 Very_high : S (3.9309,4.3573)

تحلیل کلی سیستم

از آنجاییکه برای مدلسازی تابع تشدید بر حسب فرکانس بی بعد دو راهکار پیشنهاد شده برای ترکیب دو قسمت نیز دو انتخاب موجود است. همانطور که دیدیم در راهکار دوم خطای کمتری داشتیم اما سیستم از لحاظ معنایی مشکل داشت و در راهکار اول هر چند از لحاظ معنایی قابل قبول بود ولی خطای آن در برآورد تابع تشدید پیش از حالت دوم بود.

اینکه ملاحظات معنایی تا چه اندازه مهم است بحثی مهم می باشد. عده ای معتقدند که اگر یک سیستم فازی عملکرد خوبی داشته باشد ملاحظات معنایی آن هیچ اهمیتی ندارد. در مقابل عده ای اعتقاد دارند که ملاحظات معنایی به ما کمک می کند که ببینیم راه حل کشف شده توسط سیستم نوروفازی تا چه حد معقول است. علاوه بر این یکی از نکات مثبت سیستمهای نوروفازی شناخت راه حل آن می باشد و اگر معنای سیستم از دست برود به نوعی نقض غرض شده است.

اما با یک دید فازی می توان گفت که هر کدام از این دو عقیده در جای خود صحیح است، بسته به اینکه کاربرد مورد نظر چه باشد. اگر از سیستم فازی به عنوان یک ابزار استفاده کنیم و تنها عملکرد آن مورد نظر باشد، بدون اینکه علاقه داشته باشیم بدانیم راه حل آن چیست، رعایت ملاحظات معنایی بیهوده است. اما وقتی از رهیافت نوروفازی برای کشف قوانین حاکم بر یک سیستم و یا کند و کاو در داده ها استفاده کنیم ملاحظات معنایی بسیار مهم است. با توجه به مباحث فوق دو راه حل پیشنهاد شده است. اول، برآورد تابع تشدید دره ای با نسبت بازشدگی مشخص و جنس رسوب معین، با استفاده از یک نرم افزار مدلسازی فازی که به کمک آن می توانیم به صورت فعال با تغییر مشخصات توپوگرافیک تابع تشدید را بدست آورده و علاوه بر آن در هر فرکانس مشخص نیز مقدار آنرا بدانیم. در اینجا از راهکار اول برای برآورد تابع تشدید بر حسب فرکانس بی بعد استفاده شده است در شکل (۱۴) چنین راه حلی با کمک نرم افزار Excel برای ترکیب دو قسمت راه حل که هر یک جداگانه توسط نرم افزار fuzzyTECH مدل شده اند، به همراه تابع تشدید بدست آمده از تحلیل عددی نشان داده

شده است.

باید توجه داشت که $V_s = 175 \text{ m/s}$ جزء داده های آموزشی نبوده است و انحراف میانگین به دست آمده در ۱۰۰ نقطه ای که پاسخ را از تحلیل عددی داریم، برابر 0.3 و انحراف استاندارد برابر 0.7 به دست می آیند. دوم بررسی رفتار سیستم به کمک قوانین و عبارات زبانی به دست آمده و تحصیل پاسخ به ازای ورودیهای فازی است که در این جا راهکار دوم، بخصوص برای استفاده از قوانین زبانی مثلاً در قضاوت مهندسی و یا در صورت وجود عدم قطعیت در داده ها، مناسبتر می باشد. در مثال زیر خواهیم دید که چگونه سیستم فازی می تواند عدم قطعیتهای موجود در اطلاعات اولیه را لحاظ کرده و جواب مناسبی ارائه دهد.

مثال: از آزمایشات، سرعت موج برشی در آبرفت دره ای 220 m/s بدست آمده است، اما بازشدگی آن 3 ± 0.2 تخمین زده می شود و فرکانسی که مایلیم مقدار تشدید را در آن بدانیم $4 \pm 0.2 \text{ Hz}$ است.

اگر بخواهیم به کمک ریاضیات کلاسیک مقدار تشدید را پیدا کنیم دچار مشکل هستیم زیرا دو پارامتر از ۳ پارامتر مساله دارای عدم قطعیت است. اگر فرض کنیم، تابعی داشته باشیم که به ازای b/h ، V_s و f مقدار تشدید را به ما بدهد، با روشهای عادی فقط می توانیم یک حد بالا و یک حد پایین بدست آوریم که جواب هر جایی در بین آنها می تواند باشد. مثلاً راهکار اول ترکیب، به چهار جواب زیر می رسد:

$$\begin{cases} b/h = 2.8 & V_s = 220 & f_0 = 3.8 & \Rightarrow \text{Amplification} = 6.3 \\ b/h = 2.8 & V_s = 220 & f_0 = 4.2 & \Rightarrow \text{Amplification} = 15.9 \\ b/h = 3.2 & V_s = 220 & f_0 = 3.8 & \Rightarrow \text{Amplification} = 15.3 \\ b/h = 3.2 & V_s = 220 & f_0 = 4.2 & \Rightarrow \text{Amplification} = 8.5 \end{cases} \quad (1)$$

و همچنین در حالتی که عدم قطعیت در داده ها وجود ندارد:

$$b/h = 3 \quad V_s = 220 \quad f_0 = 4 \Rightarrow \text{Amplification} = 13.5 \quad (2)$$

آنچه که به کمک ریاضیات کلاسیک می توانیم نتیجه بگیریم، این است که مقدار تشدید در بازه [6.3, 15.9] قرار دارد و نه چیزی بیشتر. با به کار گیری تئوری احتمالات نیز شاید بتوان گفت احتمال وجود پاسخ واقعی در کدام

$$f_0 = \frac{3.728 \times 0.63 + 4.488 \times 0.58}{0.63 + 0.58} = 4.06 \quad (3)$$

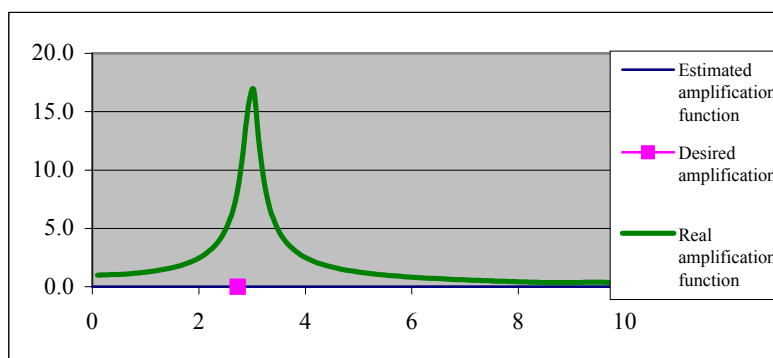
با همین استدلال برای (f/f_0) می توان تابع عضویت مثلثی برای

$$\frac{f}{f_0} = \frac{4}{4.06} \pm \frac{0.2}{4.06} = 0.99 \pm 0.05 \quad (4)$$

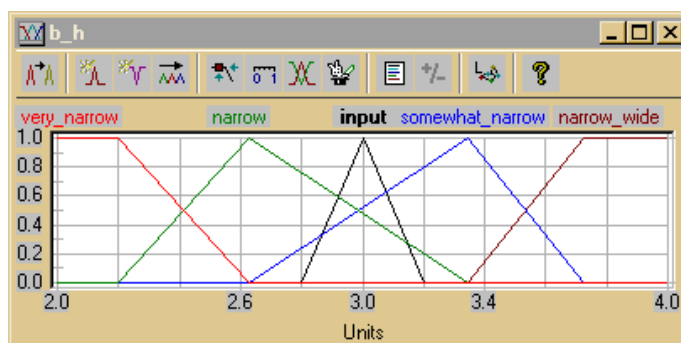
درجات سازگاری این الگو با هر کدام از این عبارات زبانی به ترتیب برابر 0.50، 0.92 و 0.55 بدست می آید که چون تنها یک متغیر زبانی در فرض قوانین داریم همان مقادیر قوانین ۲، ۳، ۴ و نتیجتاً درجات تحقق عبارات زبانی، medium، resonant و high خواهد شد. حاصل دیفازی شده از روش CoM بصورت زیر به دست می آید:

$$\frac{0.55 \times 6.5455 + .92 \times 17.109 + 0.5 \times 12.861}{0.55 + 0.92 + .5} = 13.08 \quad (5)$$

قسمت بازه بیشتر است. اما تئوری فازی می تواند این عدم قطعیت ها را لحاظ کرده و پاسخ مناسب را ارائه دهد. هنگامی که میگوییم بازشدگی را 3 ± 0.2 تخمین می زنیم منظور ما این است که بیشترین درجه درستی را برای بازشدگی 3 قائل هستیم. این درجه درستی برای 2.8 و 3.2 کمترین مقدار و برابر صفر است. این موضوع به وضوح تداعی کننده تابع عضویت یک مجموعه فازی است. منتها بسته به روش تخمین ما شکل تابع عضویت می تواند به صورت توابع مختلف باشد. اگر فرض کنیم که تابع عضویت را، مثلاً مثلثی به صورت $\Lambda(2.8, 3, 3.2)$ در نظر بگیریم، می بینیم که این تابع عضویت الگویی است که بین عبارات زبانی narrow و somewhat-narrow قرار می گیرد (شکل ۱۵) و درجه سازگاری باریک بودن و کمابیش باریک بودن به ترتیب 0.58 و 0.63 بدست می آید. با توجه به یک بودن درجه سازگاری خاک ما با خاک III، مطابق استدلال تقریبی فازی، قوانین ۴ و ۱۲ با این درجات تحقق آتش می شوند و نتیجتاً توابع عضویت high و somewhat-high را تعدیل می کنند. پاسخ دیفازی شده f_0 از روش CoM به صورت زیر خواهد بود.

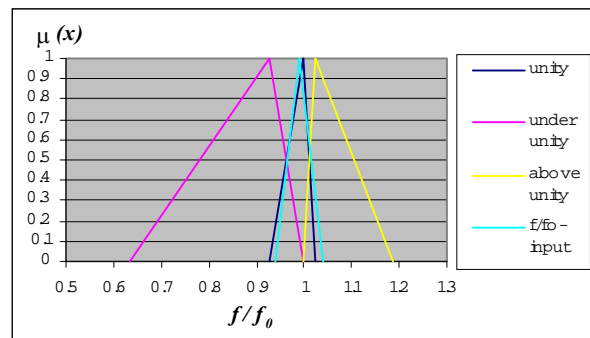


شکل ۱۴: پاسخ برآورد شده توسط نوروفازی در مقایسه با پاسخ بدست آمده از تحلیل عددی برای $b/h = 2.5$ و $V_s = 175$ m/s.



شکل ۱۵: تابع عضویت نسبت بازشدگی ورودی (input).

میتواند پاسخ دره های آبرفتی V شکل را در دامنه مشخصی از تغییرات پارامترها، پیش بینی نماید. فرکانس اساسی به عنوان مشخصه اصلی پاسخ این دره ها دریافت شده و با استفاده از آن به جای استفاده از مجموعه ای با $۱۵۱۷=۳۷ \times ۴۱$ نمونه برای آموزش یک سیستم، دو مجموعه متشکل از ۳۷ و ۴۱ نمونه برای آموزش سیستم بکار گرفته می شود. قوانین و مجموعه های فازی نتیجه شده برای استفاده دستی یا به کمک نرم افزار، ارائه شده است. همچنین نشان داده شد که سیستم نوروفازی می تواند قوانین حاکم بر مساله را به شکل خوب و معنی دار کشف نماید و علاوه بر این در صورت وجود عدم قطعیت نیز می تواند پاسخ مناسب را ارائه دهد.



شکل ۱۶: تابع عضویت فرکانس بی بعد ورودی (f/f_0 -input).

می بینیم که پاسخ در میان بازه مورد انتظار ما از جواب قرار دارد و در عین حال فاصله نزدیک به جواب (۲) که به ازای اطلاعات دقیق بدست آمده است، می باشد.

نتیجه گیری

نشان داده شد که سیستم نوروفازی به خوبی

مراجع

- 1 - Sanchez-Sesma, F. J. and J. A. Esquivel (1979). "ground motion on alluvial valleys under incident plane SH waves." *Bull. Seism. Soc. Am.* 61, 1755-1770.
- 2 - Bard, P.-Y. and M Bouchon (1980a). "The seismic response of sediment-filled valleys. Part I. The case of incident SH waves." *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 1263-1286.
- 3 - Bard, P.-Y. and M Bouchon (1980b). "The seismic response of sediment-filled valleys. Part II. The case of incident P and SV waves." *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 1921-1941.
- ۴ - کریمی، آ. "کاربرد سیستمهای نوروفازی در برآورد پاسخ دره های آبرفتی." پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۸۰).
- 5 - Silva, W. J. (1988). "Soil response to earthquake ground motion." *EPRI Report NP-5747*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California
- 6 - Jang, J. S. R., Sun, C. T. and Mizutani E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing*. Prentice-Hall Inc., Englewood cliffs, N.J.
- 7 - N. N. (1995). *fuzzyTECH 4.0 neuro-fuzzy module manual*. INFORM GmbH Aachen /Inform software Corp. Chicago.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1 - John Lysmer | 2 - Superposition |
| 3 - Sub structuring | 4 - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System |
| 5 - Fuzzy Singleton | 6 - Center of Maxima |
| 7 - Fuzzy Associative Memories | 8 - Core |
| 9 - Amplification | 10 - Importance |
| 11 - Reliability | |