

آنالیز برگشتی در آزمایش SASW با استفاده از

شبکه‌های عصبی مصنوعی

توحید اخلاقی

استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

پیمان اصلاح

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران خاک و پی، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

پست الکترونیکی: t.akhlaghi@mail.urmia.ac.ir

چکیده

آزمایش آنالیز طیفی امواج سطحی SASW روش صحرایی غیرمخرب برای شناسایی و تعیین پروفیل سختی لایه‌های خاک و سیستم‌های چند لایه‌ای مشابه می‌باشد. نتایج حاصل از انجام آزمایش SASW در قالب منحنی پراکندگی تجربی قابل ارائه می‌باشد. منحنی پراکندگی بدست آمده از آزمایش به وسیله روش‌های برگردان برای تعیین پروفیل خاک در محل بکار برده می‌شود.

در این مقاله از مدل‌های شبکه عصبی برای تخمین و تعیین پروفیل خاک استفاده شده است. شبکه‌های عصبی چند لایه با الگوریتم یادگیری انتشار برگشتی گزینه‌های مناسبی جهت انجام فرآیند معکوس‌سازی آزمایش SASW می‌باشند. تعدادی منحنی پراکندگی تئوریک که با استفاده از روش ماتریس سختی دینامیکی دقیق بدست آمده‌اند برای آموزش شبکه عصبی بکار برده شده‌اند. به عبارت دیگر این منحنی‌های پراکندگی به همراه پروفیل‌های خاک مربوطه به عنوان داده‌های آموزشی ورودی به شبکه در نظر گرفته شده‌اند. این داده‌های ورودی با سه الگوریتم یادگیری شامل پس‌انتشار خطای بیشترین شیب، گرادیان مزدوج و مارکوارت-لونبرگ به شبکه آموزش داده می‌شوند. مقایسه نتایج حاصل از این مطالعات با آزمایش‌های انجام یافته بوسیله روش SASW نشان می‌دهد که این شبکه‌ها جواب‌های مناسبی جهت تعیین پروفیل خاک در محل ارائه می‌دهند.

کلید واژه‌ها: آنالیز طیفی امواج سطحی، آنالیز برگشتی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه‌های انتشار برگشتی.

۱- مقدمه

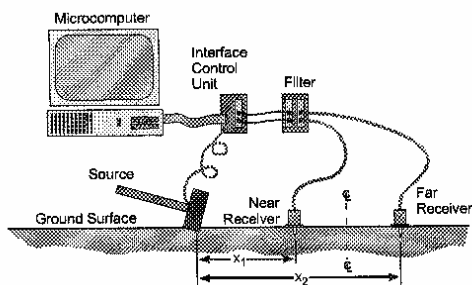
تکنیک‌های غیرمخرب در شناسایی‌های ژئوتکنیکی معرفی گردد.

آزمایش بر مبنای خاصیت پراکندگی امواج سطحی در محیط‌های لایه‌ای با سختی‌های متفاوت و همچنین فرض لایه‌بندی افقی تامسون-هسل استوار می‌باشد [۱] و [۲]. در نتیجه این آزمایش در مناطقی که شرایط لایه‌بندی افقی در آنها

آزمایش آنالیز طیفی امواج سطحی SASW (Spectral Analysis of Surface Wave) یک تکنیک غیرمخرب صحرایی جهت تعیین پروفیل سختی خاک در محل می‌باشد. سرعت و دقت بالای آزمایش و همچنین هزینه کم انجام آن باعث شده تا این روش به عنوان یکی از کارآمدترین

روش عملی جهت محاسبه برگردان منحنی پراکندگی معرفی کرد [۷]. روش‌های معکوس‌سازی بر مبنای تئوری انتشار امواج روش‌های مناسبی برای بدست آوردن پروفیل سرعت موج برشی هستند. در سالهای ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۲ یکی از محققین با استفاده از روش حدس و خطا تطابق داده‌های پراکندگی اندازه‌گیری شده با منحنی پراکندگی تئوریک را انجام داد [۸]. نظریان در سال ۱۹۸۴ با استفاده از ماتریس تبدیل محاسبه منحنی‌های پراکندگی مصنوعی را برای پروفیل‌های با لایه بیشتر مورد استفاده قرار داد [۳]. روش بهینه‌سازی غیرخطی مجموع مربعات نیز جهت برگردان منحنی پراکندگی تئوریک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. کاربر با تخمین اولیه پروفیل سرعت موج برشی و استفاده از یک الگوریتم حداقل مربعات نظیر نیوتن-رافسون، گرادیان مزدوج و ... مقادیر سرعت‌ها را طوری تنظیم می‌کند که تطابق با منحنی پراکندگی تجربی حاصل آید.

جهت تکمیل و جایگزینی روش حداقل مربعات، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برگردان منحنی پراکندگی مطرح می‌گردد [۱۰]، [۱۱]، [۱۲] و [۱۳]. از آنجا که روش شبکه‌های عصبی نسبت به کامل نبودن داده‌ها و عدم دقت آنها حساسیتی قابل توجه ندارد لذا می‌توان آنها را به صورت اتوماتیک به همراه روش‌های صحرایی بکار برد. البته چون روش شبکه عصبی مصنوعی منحنی پراکندگی را تخمین می‌زند (به صورت تقریبی)، لذا دقت نتایج آن به اندازه روش‌های الگوریتم تکراری نیست. در جائیکه زمان برای ما اهمیت نداشته و دقت مسئله مورد نظر است می‌توان از روش شبکه‌های عصبی به عنوان مکمل روش حداقل مربعات استفاده کرد. بدین شکل که تخمین اولیه پروفیل سرعت امواج برشی توسط شبکه عصبی بدست آمده و مابقی مراحل توسط روش حداقل مربعات انجام می‌گردد.



شکل ۱: تصویر شماتیک آزمایش SASW

صادق و یا به صورت تقریبی برقرار است قابل کاربرد می‌باشد. انجام آزمایش SASW شامل سه گام اساسی زیر می‌باشد:

الف- آزمایشات صحرایی، شامل تولید امواج الاستیک و دریافت آنها در سطح زمین،

ب- ارزیابی منحنی پراکندگی،

ج- برگردان منحنی پراکندگی برای بدست آوردن پروفیل سختی سیستم.

انجام آزمایشات صحرایی و ارزیابی منحنی پراکندگی نسبتاً ساده می‌باشد. برگردان منحنی پراکندگی تئوریک، یافتن یک سیستم لایه‌بندی شده تئوریک است که با منحنی پراکندگی تجربی بدست آمده از آزمایش مطابقت دارد.

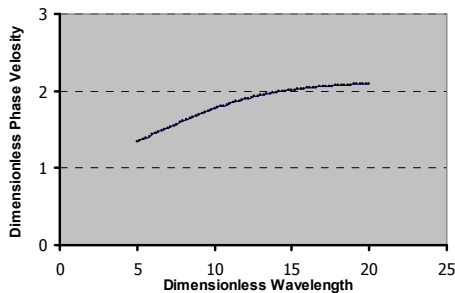
تشکیل منحنی پراکندگی تئوریک بر اساس تئوری انتشار امواج در محیط‌های لایه ای است [۳]. بر اساس این تئوری سرعت فاز انواع مختلف امواج و مودهایشان می‌تواند مشابه یک تابع غیرخطی (توابع پراکندگی) باشد. از آنجا که خصوصیات پروفیل مشابه یک تابع شناسایی پراکندگی سیستم نمی‌تواند فرموله شود بنابراین روش سعی و خطا یا تکنیک بهینه‌سازی باید بکار برده شود که پروسه‌های برگشتی را بطور خودکار محاسبه و از بروز مشکلات عددی جلوگیری نماید [۴].

۲- آزمایش آنالیز طیفی امواج سطحی (SASW)

روش آزمایش به این ترتیب است که بوسیله یک منبع تولید امواج لرزه‌ای، در یک نقطه از سطح زمین انرژی لرزه‌ای تولید شده و این انرژی در نقاط دیگری در سطح زمین بوسیله گیرنده‌های حساس به حرکات قائم، ثبت می‌شود. با استفاده از تبدیل فوریه سریع (FFT) رکوردهای فوق از حوزه زمانی به حوزه فرکانسی تبدیل و در نتیجه اختلاف فاز میان گیرنده‌ها محاسبه می‌شود. با استفاده از اختلاف فاز حاصل، سرعت فاز محاسبه شده و به کمک داده‌های فوق می‌توان منحنی پراکندگی تجربی را ترسیم نمود. منحنی تغییرات سرعت فاز در برابر تغییرات فرکانس یا طول موج، منحنی پراکندگی نامیده می‌شود. آخرین گام برای بدست آوردن پروفیل خاک به همراه خصوصیات هر لایه انجام پروسه‌های برگشتی می‌باشد. تکنیک‌های مختلف زیادی از آنالیز برگشتی برای بدست آوردن پروفیل‌های خاک و پارامتر سختی از منحنی پراکندگی وجود دارد [۵] و [۶] شکل ۱ تصویری شماتیک از آزمایش SASW را نشان می‌دهد.

تا به حال چندین الگوریتم جهت معکوس‌کردن داده‌های پراکندگی امواج سطحی ارائه شده است [۴]. فوستر (۱۹۶۰) یک

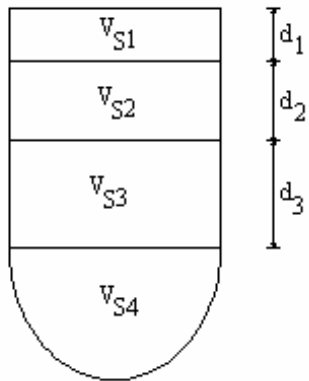
V_{s1} : سرعت موج برشی در لایه سطحی (لایه اول)
 d_1 : ضخامت لایه سطحی (لایه اول)
 λ_{phase} : طول موج در منحنی پراکندگی
 V_{phase} : سرعت فاز
 شکل ۲ یک منحنی تیپ از منحنی پراکندگی تئوریک نورمالتر شده را نشان می دهد.



شکل ۲: منحنی پراکندگی تئوریک نورمالتر شده

۵- مجموعه آموزش دهنده

مجموعه آموزش دهنده از روی مدل خاک چهار لایه با ضخامت‌های d_1, d_2, d_3 و بینهایت و نیز سرعت‌های موج برشی $V_{s1}, V_{s2}, V_{s3}, V_{s4}$ مطابق شکل ۳ در نظر گرفته شده است. نسبت‌های مختلفی با توجه به سرعت موج برشی در خاک‌های مختلف و نیز ضخامت‌های فرضی برای این مدل مد نظر قرار گرفته که تمام این مقادیر در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۳: پروفیل لایه های خاک

۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی

عنصر اساسی محاسب در سیستم‌های بیولوژیک، نرون نام دارد و با استفاده از این سیستم، مدل نرون مصنوعی معرفی گردید. با اجتماع سلول‌های عصبی شبکه‌های عصبی بوجود می‌آیند که این شبکه‌ها قابلیت یادگیری داشته و دارای توانایی شگرفی در شناسایی الگوها، تقریب توابع غیرخطی و ... می‌باشند. با ارائه داده‌های کافی و آموزش مناسب، شبکه می‌تواند رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را تشخیص داده و سپس برای داده‌های دیگر تعمیم دهد.

گام‌های اساسی در آموزش شبکه به قرار زیرند:

- ۱- ارائه زوج‌های آموزشی به شبکه،
- ۲- انجام محاسبات انتشار برگشتی در مسیرهای رفت و برگشت،
- ۳- اصلاح وزن‌ها در جهت کاهش خطای شبکه.

۴- آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی

منحنی‌های پراکندگی که برای آموزش شبکه بکار برده می‌شوند با استفاده از برنامه کامپیوتری نوشته شده بر مبنای روش ماتریس سختی دینامیکی دقیق می‌باشند [۱۴]. روش ماتریس سختی با استفاده از توسعه روش ماتریس انتقال کاسل-راست (۱۹۸۱) بدست آمده و نیز با کمی تفاوت توسط ولف (۱۹۸۵) ارائه گردیده است [۱۵] و [۱۶]. ماتریس سختی دینامیکی نیروها را در بالا و پائین هر لایه با تغییرمکان در همان نقاط و در حوزه طول موج- سرعت فاز (فرکانس- عدد موج) ارتباط می‌دهد.

منحنی‌های پراکندگی مورد استفاده در مجموعه آموزش-دهنده سرعت بدون بُعد در مقابل طول موج بدون بُعد می‌باشد. برای تبدیل منحنی‌های پراکندگی به منحنی‌های پراکندگی بدون بعد می‌توان سرعت‌ها را به یک سرعت و طول موج‌ها را به یک فاصله مشخص تقسیم نمود. این سرعت و فاصله مشخص را می‌توان سرعت و ضخامت لایه اول پروفیل خاک در نظر گرفت.

سرعت فاز بدون بعد:

$$V'_{\text{phase}} = V_{\text{phase}} / V_{s1} \quad (1)$$

و طول موج بدون بعد:

$$\lambda'_{\text{phase}} = \lambda_{\text{phase}} / d_1 \quad (2)$$

که در روابط بالا:

جدول ۱: پارامترهای آموزشی خروجی برای خاک لایه‌بندی شده

d_2 / d_1	d_3 / d_1	V_{s2} / V_{s1}	V_{s3} / V_{s1}	V_{s4} / V_{s1}
۱/۲	۱/۳	۱/۲	۱/۵	۲/۰
۱/۴	۱/۶	۱/۴	۱/۸	۲/۵
۱/۶	۱/۹	۱/۶	۲/۱	۳/۰
۱/۸	۲/۲	۱/۸	۲/۴	۳/۵
۲/۰	۲/۵	۲/۰	۲/۷	۴/۰
۲/۲	۲/۸	۲/۲	۳/۰	۴/۵

(لايه مخفی) مختلف از شاخص میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده گردید. پس از تعیین تعداد نرون‌های لایه مخفی و انتخاب شبکه بهینه از میان شبکه‌های ارزیابی شده نوبت به آزمون شبکه می‌رسد. در این تحقیق تعداد پنج منحنی پراکندگی به عنوان داده‌های آزمون شبکه در نظر گرفته شده است.

۷- نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی

مطالعه خروجی‌های شبکه‌های عصبی نشان می‌دهد که این مدل‌ها دارای نتایج منطبق بر منحنی‌های پراکندگی ورودی با پروفیل خاک می‌باشند. نتایج بررسی‌های به عمل آمده با توجه به معماری شبکه انتشار برگشتی و نوع الگوریتم یادگیری در جدول ۲ آورده شده است.

traingdx : تابع آموزشی پس انتشار خطای بیشترین شیب با

ضریب یادگیری متغیر به فرم دسته‌ای.

trainscg : تابع آموزشی گرادیان مزدوج مقیاس شده.

trainlm : تابع آموزشی مارکوآرت- لونیبرگ.

در آموزش شبکه با الگوریتم یادگیری گرادیان مزدوج از چهار تابع آموزشی برای ارزیابی بهتر شبکه استفاده شده است که از میان این توابع آموزشی کمترین خطا در الگوریتم گرادیان مزدوج مقیاس شده مشاهده شد. داده‌های ارزیابی با الگوریتم مارکوآرت- لونیبرگ نیز مورد بررسی قرار گرفته ولی به علت بزرگ بودن شبکه، کامپیوتر پیغام Run Out of Memory را نشان می‌داد. با توجه به روش‌های کاهش حافظه در الگوریتم مارکوآرت- لونیبرگ، این روش نیز بکار برده شد، اما بعلاوه بزرگ بودن ابعاد شبکه آموزش‌دهنده همچنان کامپیوتر توانایی تشکیل ماتریس‌ها و اجرای برنامه را نداشته و طبق توصیه نرم‌افزار Matlab استفاده

تعداد ۱۱۹ داده آموزشی از جدول ۱ استخراج گردیده که هر کدام از این ۵ پارامتر بیانگر یک پروفیل خاک می‌باشند ($d_2/d_1, d_3/d_1, V_{s2}/V_{s1}, V_{s3}/V_{s1}, V_{s4}/V_{s1}$). با توجه به مقادیر پروفیل خاک منحنی پراکندگی نظیر آن با استفاده از برنامه کامپیوتری به روش ماتریس سختی دینامیکی دقیق تعیین گردید. در محاسبه منحنی‌های پراکندگی که بر اساس طول موج بدون بعد (λ'_{phase}) در برابر سرعت برشی بدون بعد (V'_{phase}) ترسیم شده‌اند، مقادیر طول موج بدون بعد در بازه بین ۵ تا ۲۰ به فواصل ۰/۲ در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین منحنی‌های پراکندگی از ۷۶ زوج عدد (طول موج بدون بعد- سرعت موج برشی بدون بعد) تشکیل می‌گردند. منحنی‌های پراکندگی نرمالایز شده به عنوان ورودی شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرند و در نهایت شبکه عصبی خروجی خواهد داشت که مشخص‌کننده پروفیل خاک می‌باشد.

۶- شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی

برای آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه از نرم‌افزار Matlab 6.5 استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم انتشار برگشتی و روش‌های یادگیری گوناگون، داده‌های آموزشی توسط نرم‌افزار مورد ارزیابی قرار گرفتند. شبکه‌های انتشار برگشتی سه، چهار و پنج لایه به همراه الگوریتم‌های یادگیری پس انتشار خطای بیشترین شیب، گرادیان مزدوج و مارکوآرت- لونیبرگ برای ارزیابی داده‌های آموزشی بکار برده شدند [۱۷].

برای ارزیابی شبکه‌های انتشار برگشتی تعداد ۳۵ منحنی پراکندگی نرمالایز شده به همراه پروفیل خاک ایجاد شده، بکار برده می‌شود. برای مقایسه کارکرد شبکه با تعداد نرون‌های میانی

منحنی پراکندگی و ترسیم پروفیل خاک را در شبکه پنج لایه (5-90-80-70-119) با الگوریتم گرادیان مزدوج در داده آزمون TEST_1 نشان می‌دهد.

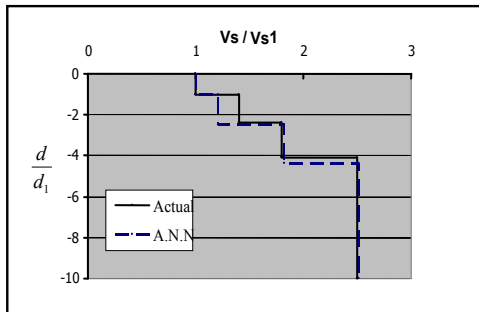
از سایر الگوریتم‌ها پیشنهاد می‌گردد. در جدول ۳ مقایسه نتایج بین محاسبات شبکه عصبی و مقدار واقعی آورده شده است. اشکال ۴ و ۵، برای نمونه، نتایج شبکه عصبی با مقادیر واقعی در

جدول ۲: نتایج شبکه‌های عصبی برای داده‌های ارزیابی

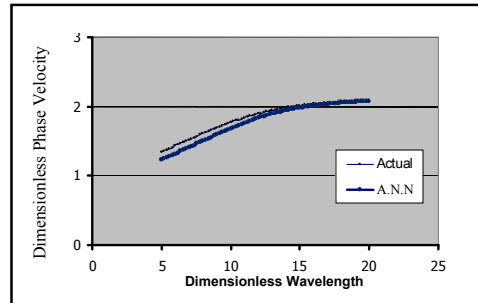
\hat{y}_i	نوع شبکه انتشار برگشتی	نوع الگوریتم یادگیری	نوع تابع آموزشی شبکه	تعداد تکرار (Epochs)	مقدار خطا (MSE)
۱	سه لایه	پس‌انتشار خطای بیشترین شیب	traingdx	۲۸۷۵۰	۰/۳۸۸۲۳۴
۲	چهار لایه	پس‌انتشار خطای بیشترین شیب	traingdx	۲۱۷۵۰	۰/۲۹۴۰۵
۳	پنج لایه	پس‌انتشار خطای بیشترین شیب	traingdx	۱۹۲۵۰	۰/۲۵۵۰۴
۴	سه لایه	گرادیان مزدوج	trainscg	۴۳۸۰	۰/۰۹۹۹۸۵
۵	چهار لایه	گرادیان مزدوج	trainscg	۱۵۹۲	۰/۰۹۹۹۰۰
۶	پنج لایه	گرادیان مزدوج	trainscg	۱۲۴۳	۰/۰۹۹۹۶۶
۷	سه لایه	مارکوارت-لونیبرگ	trainlm	----	----
۸	چهار لایه	مارکوارت-لونیبرگ	trainlm	----	----
۹	پنج لایه	مارکوارت-لونیبرگ	trainlm	----	----

جدول ۳: مقادیر خطای بدست آمده برای پارامترهای خروجی توسط شبکه‌های عصبی

ردیف	داده آزمون	d_2/d_1	d_3/d_1	V_{S2}/V_{S1}	V_{S3}/V_{S1}	V_{S4}/V_{S1}
۱	TEST_1	-۰/۰۷۳۵	-۰/۱۷۹۶	۰/۱۸۶۷	-۰/۰۲۰۴	-۰/۰۱۴۹
۲	TEST_2	۰/۰۲۳۵	۰/۲۸۲۶	-۰/۱۲۵۷	۰/۰۶۷۷	-۰/۰۳۴۸
۳	TEST_3	-۰/۱۹۷۲	۰/۰۵۸۳	۰/۰۸۱۳	۰/۰۹۸۰	-۰/۱۳۴۸
۴	TEST_4	۰/۲۴۴۵	-۱/۱۵۸۵	-۰/۱۳۲۰	-۰/۱۵۴۱	۰/۰۴۶۳
۵	TEST_5	-۰/۳۱۴۸	۰/۲۲۱۸	-۰/۰۶۸۱	۰/۳۹۷۶	-۰/۱۴۵۰



شکل ۵: پروفیل خاک و مقایسه نتایج شبکه عصبی با مقادیر واقعی



شکل ۴: تطابق منحنی پراکندگی و مقایسه نتایج شبکه عصبی با مقادیر واقعی

۹- مراجع

- 1- Thomson, W.T., 1950, "Transmission of Elastic Waves Through a Stratified Solid Medium", J.Appl. Physics, 21(1), 89-93.
- 2- Haskell, N.A., 1953, "The Dispersion of Surface Waves In Multi Layered Media", Bull. of the Seismological Soc. of Am., 55(2), 335-358.
- 3- Nazarian, S. and Stokoe, K.H., 1984, "In Situ Shear Wave Velocity from Spectral Analysis of Surface Waves", Proc. of The 8th World Conference On Earthquake Engineering, Vol.3, pp.31-38.
- 4- Ganji, V., Gucunski, N. and Nazarian, S., 1998, "Automated Inversion Procedure for Spectral Analysis of Surface Wave", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.128, No.8, pp.757-770.
- 5- Nazarian, S. and Desai, M.R., 1993, "Automated Surface Wave Method: Field Testing", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.119, No.7, pp.1094-1111.
- 6- Yuan, D. and Nazarian, S., 1993, "Automated Surface Wave Method: Inversion Technique", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.119, No.7, pp.1113-1126.
- 7- Heukelom, W. and Foster, C.R., 1960, "Dynamic Testing of Pavements", J. Struct. Div., ASCE, 86(1), 1-28.
- 8- Jones, R., 1958, "In Situ Measurement of the Dynamic Properties of Soil by Vibration Methods", Geotechnique, Vol.8, No.1, pp.21-29.
- 9- Hossain, M.M. and Drenevich, V.P., 1989, "Numerical and Optimization Technique Applied to Surface Waves for Backcalculation of the Layered Media", Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation Moduli, STP 1026, A.J. Bush and G.Y. Baladi, Eds., ASTM, Philadelphia, pp. 649-669.
- 10- Meier, R.W. and Rix, G.J., 1993, "An Initial Study of Surface Wave Inversion Using Artificial Neural Network", Geotechnical Testing Journal, Vol.16, No.4, pp.425-431.
- 11- Gucunski, N., and Krstic, V., 1996, "Back Calculation of Pavement Profiles from Spectral Analysis of Surface Waves Test by Neural Networks Using Individual Receiver Spacing Approach", Transportation Research Record 1526, National Research Council, Washington, D.C., pp.6-13.
- 12- Trefor, P.W. and Gucunski, N., 1995, "Neural Networks for Back Calculation of Moduli from SASW Test, Journal Of Computing In Civil Engineering", Vol.9, No.1, pp.1-8.
- 13- Gucunski, N., Krstic, V., and Maher, M.H., 1998, "Back Calculation of Pavement Profiles

۸- خلاصه و نتیجه گیری

نتایج و بررسی‌های انجام شده بر روی شبکه‌های عصبی انتشار برگشتی نشان می‌دهد که این شبکه‌ها در تمامی موارد مثال‌های حل شده در این مقاله قابلیت تخمین و تقریب پروفیل خاک را دارند. این شبکه‌ها عمل معکوس‌سازی امواج سطحی را روی منحنی‌های پراکندگی مصنوعی متناظر با خاک مدل شده چهار لایه انجام می‌دهند.

مطابق نتایج مشاهده‌شده از میان شبکه‌های انتشار برگشتی بکار رفته در این تحقیق شبکه انتشار برگشتی پنج لایه با الگوریتم یادگیری گرادینان مزدوج مقیاس شده (SCG) بهترین تخمین را در خصوص این منحنی‌های پراکندگی انجام می‌دهد. استفاده از منحنی‌های پراکندگی حاصل از آزمایش بر روی خاک‌های واقعی برای آموزش داده‌های شبکه عصبی امکان استفاده از این روش را برای سایت‌های واقعی مقدور می‌سازد.

از مزایای استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، معکوس‌سازی منحنی‌های پراکندگی سه بعدی است. شبکه‌های عصبی آموزش دیده نیاز به انجام محاسبات پیچیده و زمان‌بر روش‌های حداقل مربعات و حدس و خطا را ندارد و مطابق آنچه آموزش دیده است می‌تواند پروفیل خاک را تخمین بزند.

یکی از معایب روش شبکه‌های عصبی برای معکوس‌سازی منحنی‌های پراکندگی عدم تشخیص تعداد لایه‌ها در خاک می‌باشد و رفع این عیب زمانی محقق می‌شود که آموزش شبکه‌های عصبی مطابق با داده‌های آموزشی باشد. این بدان معناست که نمی‌توان یک شبکه عصبی آموزش دیده برای خاک چهار لایه را برای پروفیل‌های خاک پنج لایه بکار برد. استفاده از شبکه‌های عصبی برای پروفیل‌های خاک با لایه‌های بیشتر نیازمند افزایش داده‌های آموزشی متناسب با آن پروفیل می‌باشد. با توسعه محدوده مسئله، شبکه نیازمند یادگیری مسائل پیچیده‌تری خواهد بود که همین امر باعث تولید شبکه‌ای بزرگتر و مثال‌های متعدد بیشتر جهت آموزش دادن شبکه می‌گردد. لذا الگوریتم‌های آموزشی سریعتری مورد نیاز خواهد بود تا عمل آموزش دادن را در مدت زمان مطلوبی انجام دهد و نیز الگوریتم‌های انتشار امواج سریعتری مورد نیاز خواهد بود تا مجموعه داده‌های آموزشی را کامل نماید.

from the SASW Test by Neural Networks",
Manuals and Reports In Engineering Practice,
ASCE, pp. 191–222.

۱۴- منوچهری، علیرضا، ۱۳۸۲، "بررسی عوامل موثر بر روی منحنی
پراکندگی تئوریک در یک محیط چند لایه‌ای"، پایان‌نامه دوره
کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

15- Kausel, E. and Roesset, J.M., 1981,
"Stiffness Matrices for Layered Soils", Bull. of
The Seismological Soc. of America, Vol.54,
No.1, pp.431-438.

16- Wolf, J.P., 1985, "Dynamics of Soil-
Structure Interaction", Prentice-Hall Inc.,
Englewood, N.J.

17- Demuth, H.B. and Beale, M., 2002,
"Neural Network Toolbox, user's guide".
Natick, MA: The MathWork, Inc.

Backcalculation Analysis of SASW Test Using Artificial Neural Networks

T. Akhlaghi

Assistant Professor, Civil Engineering faculty, Urmia University

P. Eslah

Postgraduate Student, Civil Engineering faculty, Urmia University

t.akhlaghi@mail.urmia.ac.ir

Spectral analysis of surface wave method is an in-situ nondestructive testing technique for site exploration and determination of soil layers stiffness profile and similar systems. The results of SASW measurements are presented in the form of experimental dispersion curve. This curve is used for determining the soil profile by means of one of the available backcalculation procedures.

In this paper, artificial neural networks have been used for estimation and determination of soil profile. Multi layer neural networks along with back propagation training procedure are suitable choices to carry out the required inversion process. A number of theoretical dispersion curves, which have been obtained using the exact dynamic stiffness matrix method, are used for training the networks. In other words, these curves along with the relevant soil profiles are used as input data for training the networks by means of three training algorithms. These algorithms are the Steepest Descent Gradient Algorithm, Conjugate Gradient Algorithm and Levenberg–Marquardt Algorithm. The comparisons made between the results obtained from this study and those resulted from other backcalculation procedures show very good match indicating that the method employed in this study can be effectively used for determination of soil site profiles.

Keywords: Spectral Analysis, Surface Wave, Backcalculation Analysis, Artificial Networks.