

## تصحیح و پردازش شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در زلزله

### حجت اله ترکیان

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

### چکیده

شتاب حرکت زمین در زلزله به وسیله دستگاه‌های شتاب‌نگار ثبت می‌شود. اگر شتاب‌نگار از نوع آنالوگ (SMA-1) باشد، شتاب‌نگاشت در طی فرایند ثبت و عددی شدن دچار خطاهای دستگاهی و انسانی می‌شود و اگر شتاب‌نگار از نوع دیجیتال (SSA2) باشد، اغتشاشات فرکانس پایین و فرکانس بالا همراه شتاب‌نگاشت ثبت می‌شوند که برای کاربردهای مهندسی این خطاها و اغتشاشات ناخواسته باید حذف شوند. هدف اساسی این مقاله شناخت انواع خطاها و اغتشاشات ناخواسته در شتاب‌نگاشت‌ها و ارائه روش‌های مناسب برای حذف آن‌ها است به گونه‌ای که خصوصیات زلزله ثبت شده حفظ شود. روش‌های تصحیح بر حذف مقدار میانگین، تصحیح خط مبنا شتاب‌نگاشت و حذف فرکانس‌های بالا و پایین به کمک فیلترهای پایین‌گذر و بالا‌گذر مبتنی است. در پردازش سیگنال‌های زلزله از تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی در حوزه زمان و از طیف فرکانس در حوزه فرکانس برای بیان محتوای فرکانسی زلزله‌ها استفاده شده است. همچنین برای یک شتاب‌نگاشت واقعی تمام موارد تصحیح و پردازش انجام گرفت. بررسی‌ها مبین آن است که تصحیح شتاب‌نگاشت‌ها قبل از استفاده اجتناب‌ناپذیر است و انتخاب فرکانس‌های قطع به جهت حفظ محتوای فرکانسی زلزله‌ها برای رکوردهای مختلف یکسان نبوده و از روی طیف دامنه فرکانس هر شتاب‌نگاشت، بهتر می‌توان عمل فیلتراسیون را انجام داد.

**واژگان کلیدی:** شتاب‌نگاشت، طیف فرکانس، فیلتر پایین‌گذر، فیلتر بالا‌گذر.

### مقدمه

تکان زمین شامل دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم را ثبت می‌کنند. شتاب‌نگارهای آنالوگ معمولاً روی یک فیلم حساس ثبت شده و برای استفاده رقمی می‌شوند که طی فرایند ثبت و عددی شدن، خطاهای وابسته به دستگاه نظیر حرکت جانبی فیلم، کشیدگی فیلم و غیره و همچنین خطاهای انسانی وابسته به عملیات رقمی کردن با شتاب‌نگاشت توأم می‌شوند. در شتاب‌نگارهای دیجیتال نیز شتاب حرکت زمین به صورت عددی در حافظه دستگاه انباشته شده و ورود خطاهای ناخواسته

در شبکه شتاب‌نگاری ایران دو نوع دستگاه شتاب‌نگار استفاده می‌شود که یکی از نوع آنالوگ (SAM-1) بوده و دیگری داده‌های شتاب‌نگاری را به صورت دیجیتال (SSA2) ثبت می‌کند. تاکنون در ایران تعداد دستگاه‌های فعال آنالوگ به ۱۵۰ عدد و تعداد دستگاه‌های دیجیتال به ۱۲۳۸ عدد می‌رسد [۱ و ۲]. این دستگاه‌ها با دریافت امواج لرزه‌ای طولی و بر اساس حداقل شتاب آستانه ثبت که بر روی آن‌ها قابل تنظیم است شروع به کار کرده و در هنگام زلزله سه مؤلفه

### حذف مقدار میانگین (Mean Removal)

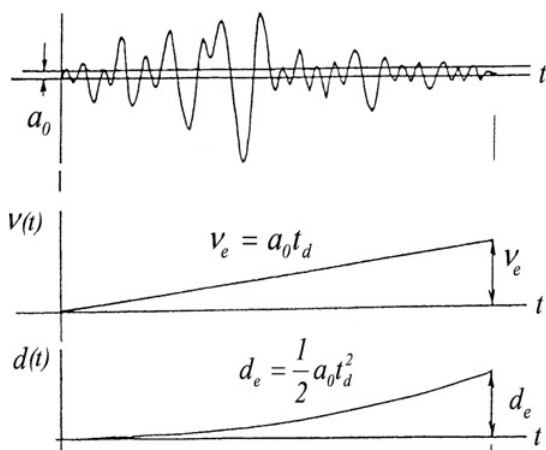
اگر فرض شود داده‌های شتابنگاری دارای مقدار میانگین  $a_0$  باشند با انتگرال گیری از شتاب‌نگاشت سرعت زمین در هر لحظه به دست می‌آید. لازم است سرعت زمین در انتهای زلزله صفر باشد ولیکن به دلیل وجود مقدار میانگین، خطای سرعت در انتهای زلزله برابر است با:

$$v_e = a_0 t_d \quad (1)$$

که  $t_d$  لحظه زمانی انتهای شتاب‌نگاشت است. با انتگرال‌گیری مجدد از سرعت مقدار تغییر مکان زمین در هر لحظه بدست می‌آید. در این حالت نیز خطای تغییر مکان زمین برابر است با:

$$d_e = \frac{1}{2} a_0 t_d^2 \quad (2)$$

شکل (۲) خطاهای فوق را نشان می‌دهد.



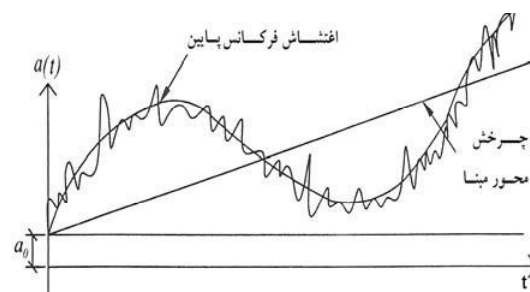
شکل ۲- خطاهای ناشی از وجود مقدار میانگین در داده‌های شتاب‌نگاشت [۳].

برای حذف مقدار میانگین از شتاب‌نگاشت تنها لازم است که این مقدار متوسط از کلیه مقادیر سیگنال کسر گردد.

نظیر انحراف خط مبنا شتاب‌نگاشت و فرکانس‌های بالا و پایین در داده‌های ثبت شده اجتناب‌ناپذیر است [۳]. تصحیح داده‌های خام شامل تصحیح خط مبنا، تصحیح دستگاهی و انتخاب فیلتر مناسب می‌باشد [۲]. کاربرد مهندسی رکوردهای خام و تصحیح نشده عملاً غیر ممکن است و برای حفظ خصوصیات زلزله نظیر مدت حرکت قوی زمین و محتوی فرکانسی زلزله باید با دقت تصحیح شوند [۴]. هدف از این پژوهش شناخت انواع خطاهای تحمیل شده بر این سیگنال‌ها و ارائه روش‌های مناسب و دقیق برای حذف آن‌ها است به گونه‌ای که شتاب‌نگاشت تصحیح شده خصوصیات زلزله اصلی را حفظ کند.

### روش تحقیق

شتاب‌نگاشت‌های خام از مرکز بانک اطلاعات شتاب‌نگاشت‌های مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه شده‌اند. مراحل تصحیح به ترتیب حذف مقدار میانگین از داده‌ها، اصلاح محور مبنا شتاب صفر و حذف اغتشاشات ناخواسته (Noise) فرکانس بالا و پایین به کمک فیلتر مناسب از شتاب‌نگاشت‌ها است. شکل (۱) برخی از خطاهای یک شتاب‌نگاشت خام را نشان می‌دهد.

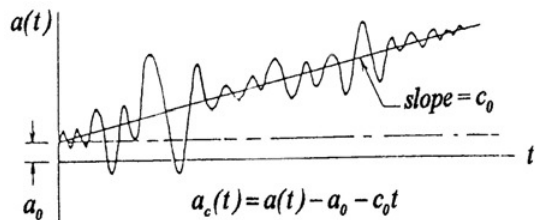


شکل ۱- وجود مقدار میانگین، انحراف از خط مبنا و اغتشاشات فرکانس پایین در شتاب‌نگاشت [۴].

### تصحیح محور مبنا (Base Line Correction)

در حین عملیات رقمی کردن فیلم‌های شتابنگاری وجود خطاهای فرکانس پایین و اعوجاج‌های خط پایه اجتناب‌ناپذیر است [۳]. شکل (۳-الف) یک شتاب‌نگاشت تصحیح شده را نشان می‌دهد در حالی که شتاب‌نگاشت خام آن در شکل (۳-ب) آمده است.

می‌کند از میان داده‌ها رسم شده و سپس این خط بر روی محور مبنا منطبق می‌شود. این روش اثراتی را که در انتقال و چرخش‌های جزئی خط مبنا به وجود آمده حذف می‌کند، بدون اینکه تأثیری در داده‌های اولیه داشته باشد. شکل (۴) این روش را به صورت ترسیمی نشان می‌دهد.



شکل ۴-تصحیح محور مبنا شتاب صفر به روش کمترین مربعات [۴].

اگر معادله بهترین خط برازش شده از میان داده‌ها به صورت

$$a(t) = c_0 t + a_0 \quad (3)$$

باشد. مقدار S یعنی مجموع مربعات خطا نسبت به این خط در رابطه زیر بایستی حداقل گردد.

$$S = \sum_{i=1}^n [a(t_i) - (a_0 + c_0 t_i)]^2 \quad (4)$$

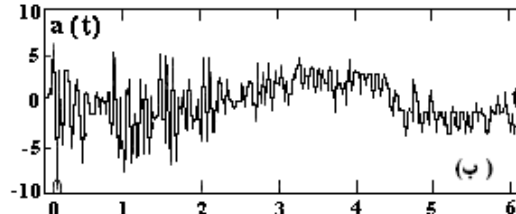
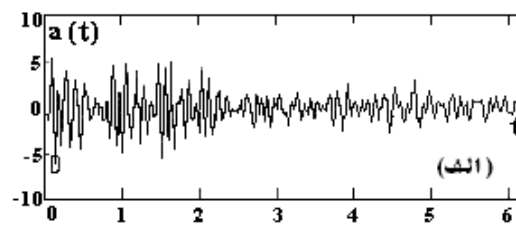
$$S = \sum_{i=1}^n [a(t_i) - a_0 - c_0 t_i]^2$$

که  $a(t_i)$  مقدار شتاب در لحظه  $t_i$  می‌باشد.

لذا بایستی مشتقات نسبی  $\frac{\partial S}{\partial a_0}$ ,  $\frac{\partial S}{\partial c_0}$  صفر شوند. در نهایت مقدار اصلاح شده شتاب زمین به شکل زیر خواهد بود.

$$a_c(t_i) = a_i(t) - (a_0 + c_0 t_i) \quad (5)$$

$$c_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i a_i - \bar{a} t_i)}{\sum_{i=1}^n (t_i^2 - \bar{t} t_i)} \quad (6)$$



شکل ۳-تصحیح محور مبنا شتاب صفر در شتاب‌نگاشت [۴].

از آنجایی که شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین قبل و بعد از وقوع زلزله صفر هستند، بنابراین انحرافات موجود در خط مبنا در شکل (۳-ب) واقعی نبوده و باید تصحیح شوند.

یک روش مناسب برای حذف این خطاها بکارگیری روش کمترین مربعات نسبت به یک خط پایه برای منحنی شتاب و سرعت است. یعنی باید مجموع مربعات انحرافات از خط مبنا حداقل گردد. مفهوم این روش این است که مجموع سطح محصور به منحنی شتاب عددی شده، صفر گردد تا سرعت زمین در پایان زلزله صفر باشد [۴].

عملیات این روش بدین ترتیب است که ابتدا بهترین خط که تمام داده‌های شتابنگاری را برازش (Fit)

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v(t_i) \quad (13)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

که  $v(t_i)$  سرعت در لحظه  $t_i$  است.

در این حالت سرعت تصحیح شده عبارت است از:

$$v_c(t_i) = v(t_i) - (a_1 t_i + v_0) \quad (14)$$

با توجه به رابطه (۱۴)،  $a_1$  شتاب اولیه حرکت زمین است که بایستی از داده‌های شتاب‌نگاشت کسر گردد.

$$a_c(t_i) = a(t_i) - a_0 - c_0 t - a_1 \quad (15)$$

در نهایت شتاب‌نگاشت تصحیح شده ناشی از کنترل اعوجاج‌های خط پایه به صورت رابطه (۱۵) خلاصه می‌شود.

### حذف اغتشاشات فرکانس بالا و فرکانس پایین

#### و عملیات فیلتر روی شتاب‌نگاشت‌ها

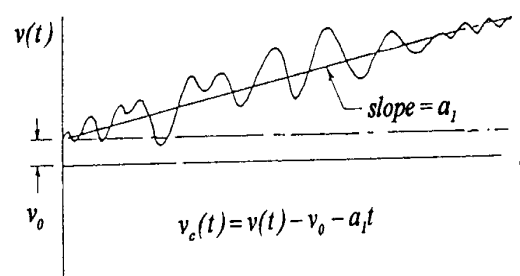
تأثیر خط‌هایی که در اثر وجود فرکانس‌های بالا ایجاد می‌شود در شکل (۶) نشان داده شده است. شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب) به ترتیب موج اصلی و اغتشاشات ناشی از فرکانس‌های بالاتر از موج اصلی را نشان می‌دهد. منحنی شکل (۶-ج) مجموعه موج اصلی همراه با اغتشاشات را بیان کرده و واضح است که وجود اغتشاشات در موج اصلی، اندازه‌گیری دقیق موج را در هر لحظه ناممکن می‌سازد. بنابراین در صورت وجود چنین اغتشاشات ناخواسته‌ای در یک سیگنال، لازم است مرز فرکانسی موج اصلی و اغتشاشات تعیین گردیده و فرکانس‌های بالاتر از آن و در نتیجه اغتشاشات ناخواسته حذف گردند. نکته قابل توجه در هنگام وجود خط‌های فرکانس بالا این است که همان طور که از شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب)

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a(t_i) \quad (7)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

$$a_0 = \bar{a} - c_0 \bar{t} \quad (8)$$

اگر از مقادیر  $a_c(t_i)$  جهت محاسبه سرعت زمین در هر لحظه انتگرال‌گیری شود برای نمودار تغییرات سرعت با زمان شکلی مشابه شکل (۵) بدست می‌آید.



شکل ۵- تصحیح محور مبنای سرعت صفر به روش کمترین مربعات [۴].

لذا انحرافات نسبت به خط مبنا در داده‌های سرعت نیز مشاهده می‌شود.

مجدداً به روش کمترین مربعات می‌توان بهترین خط با معادله

$$v(t) = v_0 + a_1 t \quad (9)$$

که داده‌های سرعت را برازش نماید به دست آورد. به طوری که:

$$Q = \sum_{i=1}^n (v(t_i) - v_0 - a_1 t_i)^2 \quad (10)$$

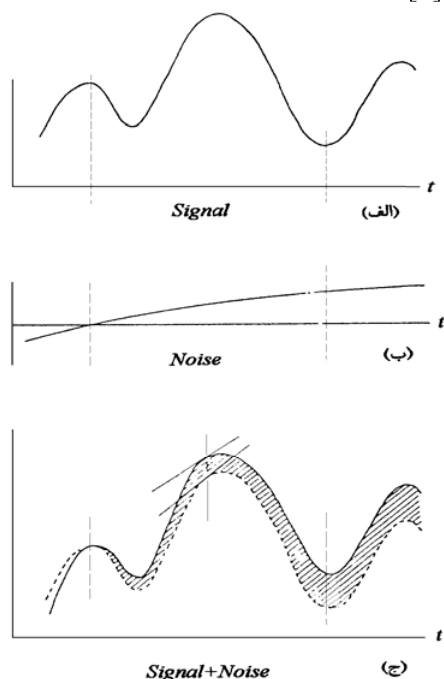
حداقل گردد. مشابه با رابطه‌های (۶) و (۸) ضرایب  $a_1, v_0$  به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i v_i - \bar{v} t_i)}{\sum_{i=1}^n (t_i^2 - \bar{t} t_i)} \quad (11)$$

$$v_0 = \bar{v} - a_1 \bar{t} \quad (12)$$

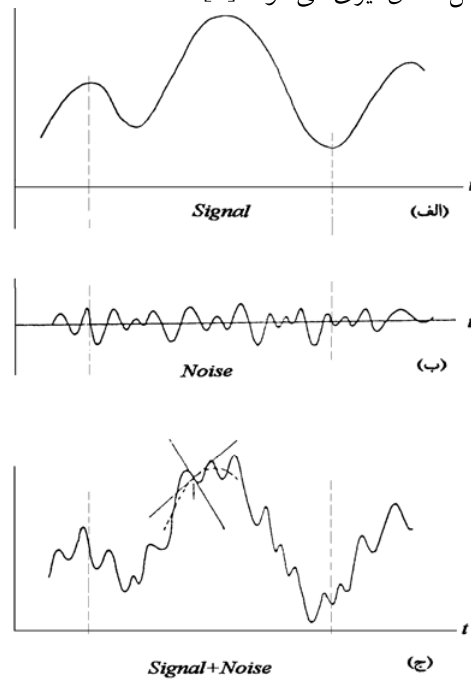
که

توجهی تحت تأثیر خطاهای فرکانس پایین واقع می‌شود. در صورتی که این خطاها در مورد شیب‌ها و مراحل مشتق‌گیری از شتاب‌نگاشت کمتر تعیین کننده و نتیجتاً اینکه برای تعیین سرعت و تغییر مکان زمین که به کمک انتگرال‌گیری از شتاب‌نگاشت به دست می‌آیند، لازم است خطاهای فرکانس پایین حداقل شوند [۴].



شکل ۷- تأثیر اغتشاشات فرکانس پایین در موج اصلی [۳].

نیز برمی‌آید سطح زیر منحنی موج اصلی و موج دارای اغتشاشات فرکانس بالا تقریباً یکسان است، زیرا سطوح مثبت و منفی موج فرکانس‌های بالا یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین اغتشاشات فرکانس بالا مراحل انتگرال‌گیری از شتاب‌نگاشت را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. اما باعث ایجاد خطاهای فاحش در مراحل مشتق‌گیری می‌شوند [۳].



شکل ۶- تأثیر اغتشاشات فرکانس بالا در موج اصلی [۳].

اگر  $F(\omega)$  طیف سیگنال ورودی  $f(t)$  در حوزه فرکانس باشد. ماهیت  $F(\omega)$  توسط دامنه  $|F(\omega)|$  و فاز نسبی  $\phi_F(\omega)$  تعریف می‌شود. سیگنال ورودی  $f(t)$  توسط فیلتر تغییر یافته و به سیگنال خروجی  $g(t)$  با طیف فرکانسی  $G(\omega)$  تبدیل می‌شود که  $G(\omega)$  نیز با دامنه  $|G(\omega)|$  و  $\phi_G(\omega)$  تعریف می‌شود. تابع فرکانسی مختلفی مانند  $H(\omega)$  می‌توان فرض کرد به طوری که:

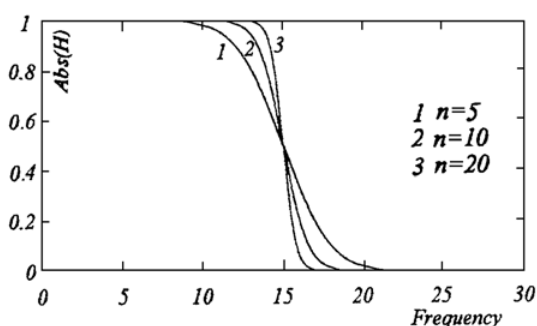
$$|G(\omega)| = |F(\omega)| |H(\omega)| \quad (16)$$

$$\phi_G(\omega) = \phi_F(\omega) + \phi_H(\omega) \quad (17)$$

شکل (۷) اثر وجود خطاهای ناشی از فرکانس پایین را نشان می‌دهد. شکل (۷-الف) موج اصلی، شکل (۷-ب) موجی با فرکانس‌های پایین تر از موج اصلی و نهایتاً شکل (۷-ج) ترکیب موج اصلی و خطاهای فرکانس پایین را نشان می‌دهد. وجود خطاهای فرکانس پایین نیز خصوصیات موج اصلی را تغییر داده و لازم است مرز فرکانسی موج اصلی و فرکانس‌های پایین تعیین شده و خطاهای فرکانس پایین از موج اصلی حذف گردند. همانگونه که از شکل (۷-ج) برمی‌آید سطح زیر منحنی و مراحل انتگرال‌گیری به میزان قابل

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}\right]} \quad (19)$$

$\omega_c$  فرکانس قطع در فیلتر Low pass و  $n$  مرتبه فیلتر است [۵ و ۴]. شکل (۸) دامنه تابع تبدیل فرکانس مربوط به فیلتر باترورث در فیلتر Low pass را برای مرتبه‌های مختلف فیلتر نشان می‌دهد. در این شکل محدوده فرکانسی صفر تا ۳۰ Hz بوده و فرکانس قطع برابر با ۱۵ Hz فرض شده است.



شکل ۸- دامنه پاسخ فرکانس فیلتر باترورث در فیلتر Low pass با مرتبه‌های  $n=5, 10, 20$  [۴].

این شکل نشان می‌دهد که استفاده از فیلتر باترورث با مرتبه‌های بالاتر می‌تواند به یک فیلتر ایده آل تر نزدیک شده و فیلتر مناسبی جهت تصحیح داده‌های شتابنگاری است.

فیلترهای بالاگذر برای حذف مؤلفه‌های فرکانس پائین از یک سیگنال استفاده شده به این ترتیب که با تعریف فرکانس قطع تمامی هارمونیک‌های دارای فرکانس کمتر از این فرکانس از سیگنال ورودی حذف و هارمونیک‌های دارای فرکانس بیش از فرکانس قطع از فیلتر عبور نمی‌نمایند. نمونه ای از منحنی عملکرد یک فیلتر بالاگذر در شکل (۹) نشان داده شده است. دامنه تابع تبدیل فرکانس در فیلتر High pass به شکل زیر انتخاب شده است:

در واقع تابع فرکانسی مختلط  $H(\omega)$  معرف عملیات فیلتر روی طیف  $F(\omega)$  می‌باشد و لذا

$$G(\omega) = F(\omega)H(\omega) \quad (18)$$

تابع فرکانسی مختلطی که عملیات فیلتر را در حوزه فرکانس تعریف می‌کند تابع تبدیل فیلتر نامیده می‌شود. خاصیت مهم دیگر فیلترها عبارت از این است که طی عملیات فیلتر، فرکانس جدیدی ایجاد نمی‌شود بلکه دامنه بعضی از مؤلفه‌های فرکانسی سیگنال ورودی حذف می‌شود. از مهم‌ترین موارد تصحیح و پردازش سیگنال‌ها استفاده از فیلترهای دیجیتال می‌باشد. یک فیلتر با توجه به نوع و پارامترهای تعریف شده برای آن، توانایی حذف مجموعه‌ای از هارمونیک‌های موجود در یک سیگنال را دارد. محدوده فرکانسی هارمونیک‌هایی که حذف نمی‌گردند، به عنوان هارمونیک‌های متوقف شده در فیلتر تحت نام محدوده یا باند توقف شناخته می‌شوند. از این رو در اینجا فیلترهای پائین‌گذر (Low-Pass) و بالاگذر (High-Pass) استفاده شده است.

فیلترهای پائین‌گذر برای حذف مؤلفه‌های فرکانس بالا از یک سیگنال استفاده شده به این ترتیب که با تعریف یک فرکانس قطع (Cut-off Frequency) برای این فیلتر، تمامی هارمونیک‌هایی که فرکانسی کمتر از فرکانس تعریف شده را دارند از فیلتر عبور نموده و کلیه هارمونیک‌هایی که دارای فرکانس‌های بیشتر از فرکانس تعریف شده باشند، حذف می‌شوند. شکل (۸) حذف فرکانس‌های بالاتر از فرکانس قطع  $\omega_c$  را در یک فیلتر پائین‌گذر نشان می‌دهد.

برای فیلتر پائین‌گذر از فیلتر متداول باترورث (Butterworth Filter) استفاده شده که با رابطه زیر تعریف می‌شود:

بررسی قرار گرفته و سپس به کمک برنامه کامپیوتری به تصحیح شتاب‌نگاشت پرداخته شده است و در آخر نتایج حاصل با آنچه در مرکز بانک اطلاعاتی این شتاب‌نگاشت‌ها انجام می‌شود، مقایسه می‌گردند. فرکانس قطع در فیلتر Low-pass و High-pass در تصحیح این نگاشت از روی طیف دامنه فوریه انتخاب شده است [۸].

### شتاب‌نگاشت زلزله ۲۶ ژانویه سال ۱۹۹۶ م. در منطقه فیروز آباد

مرکز این زلزله در موقعیت  $28/80^{\circ}N$  و  $52/44^{\circ}E$  و در منطقه فیروز آباد گزارش شده و ایستگاه ثبت که این شتاب‌نگاشت بر اساس آن ارائه گردیده در موقعیت  $28/83^{\circ}N$  و  $52/56^{\circ}E$  قرار دارد. بزرگی این زلزله در مقیاس امواج درونی زمین  $4/5$  ریشتر اعلام شده است. این شتاب‌نگاشت با کد نگاشت شماره ۱-۱۵۹۹ در بانک اطلاعاتی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن موجود است [۷].

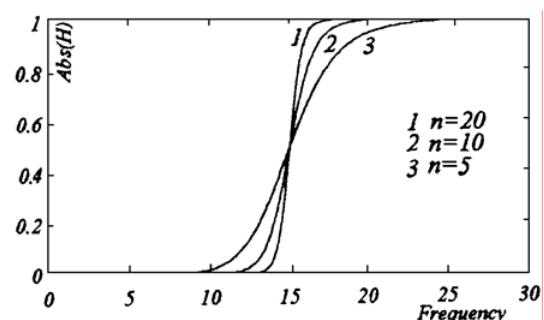
در شکل (۱۰) تاریخچه زمانی مؤلفه‌های شتاب، سرعت و جابجایی زمین برای شتاب‌نگاشت خام و تصحیح نشده اولیه ارائه گردیده است. وجود اغتشاشات و انحراف محور مبنا در نمودار تغییرات سرعت و جابجایی زمین به خوبی مشهود است. شکل (۱۱) طیف دامنه فوریه را برای این نگاشت نشان می‌دهد وجود اغتشاشات فرکانس بالا در این طیف به خوبی نمایان است [۸].

تصحیح این نگاشت و حذف فرکانس‌های خارج از محدوده فرکانسی  $0/3$  Hz تا  $23$  Hz در این تحقیق انجام گرفته است و طیف دامنه فوریه برای شتاب‌نگاشت اصلاح شده در شکل (۱۲) نشان داده

$$|H(\omega)| = 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}\right]} \quad (20)$$

که  $\omega_c$  فرکانس قطع در فیلتر High pass و  $n$  مرتبه فیلتر است [۹ و ۵].

شکل (۹) دامنه تابع تبدیل فرکانس مربوط به فیلتر باترورت در فیلتر High pass را برای مرتبه‌های مختلف فیلتر نشان می‌دهد.



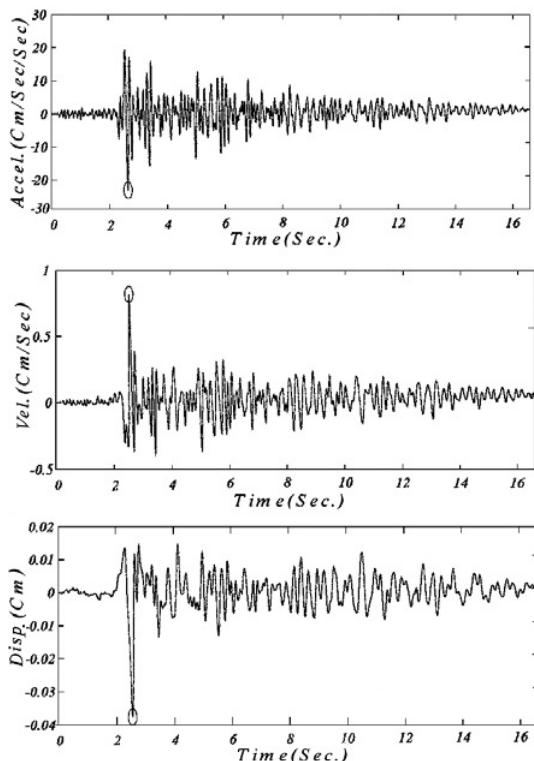
شکل ۹- دامنه پاسخ فرکانس فیلتر باترورت در فیلتر

High pass با مرتبه‌های  $n=5, 10, 20$  [۴].

چون طیف فرکانس داده‌های شتاب‌نگاری در واقع طیف یک سیگنال نمونه‌گیری شده می‌باشد لذا یک تابع فرکانسی پریودیک با تناوب  $\frac{2\pi}{T}$  (rad/s) می‌باشد که  $T$  بازه زمانی نمونه‌گیری است. لذا محدوده فرکانسی  $0 \leq \omega \leq \frac{\pi}{T}$  برای نمایش فیلتر کفایت می‌کند. برای داده‌های شتاب‌نگاری کلیه اصلاحات اعم از حذف مقدار میانگین، تصحیح خط مبنا و فیلتر اغتشاشات فرکانس بالا و فرکانس پایین به کمک برنامه‌های رایانه‌ای انجام شده است [۶].

### نتایج

در اینجا به تصحیح یک شتاب‌نگاشت نمونه و مقایسه نتایج پرداخته شده است. ابتدا مؤلفه‌های حرکت زمین اعم از شتاب، سرعت و جابجایی و نیز طیف دامنه فوریه برای نگاشت خام و اولیه شتاب‌نگاشت مورد

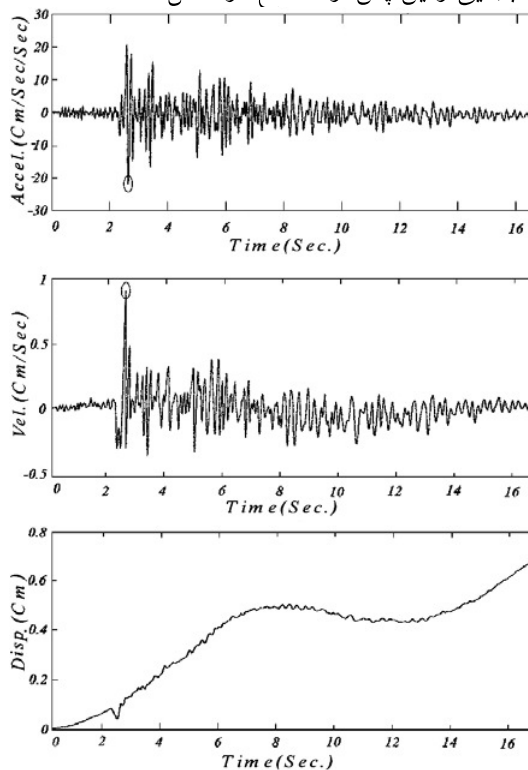


شکل ۱۳- تاریخچه زمانی مؤلفه‌های حرکت زمین برای شتاب‌نگاشت تصحیح شده

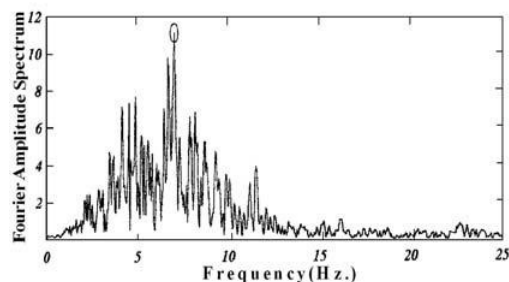
### بحث

در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که خطاهای موجود در شتاب‌نگاشت خام، نمودار تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی زمین را تحت تاثیر قرار داده است و نیز می‌توان خطاهای فرکانس پایین و فرکانس بالا را در طیف فرکانس شکل (۱۱) مشاهده نمود. این‌ها نشان می‌دهند که شتاب‌نگاشت خام قابل استفاده نمی‌باشد. در شکل (۱۲) حذف فرکانس‌های بالا و پایین به خوبی در طیف دامنه فوریه نمایان است و اثر حذف این خطاها در تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی زمین در شکل (۱۳) به وضوح مشخص است. شکل (۱۴) نمودار تغییرات شتاب اصلاح شده در محدوده فرکانسی  $0.3 \text{ Hz}$  تا  $23 \text{ Hz}$ ، توسط نرم‌افزار موجود در مرکز بانک اطلاعاتی شتاب‌نگاشت‌ها و نیز نمودار تغییرات سرعت و جابجایی، که با انتگرال‌گیری

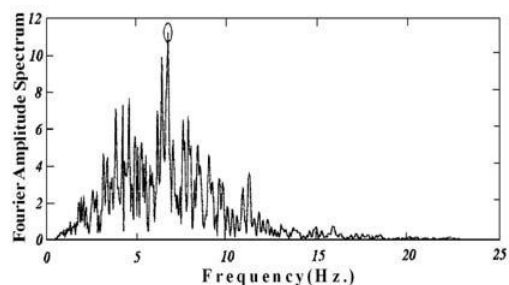
شده است. همچنین نمودار تغییرات شتاب، سرعت و جابجایی زمین پس از اصلاح در شکل (۱۳) آمده است.



شکل ۱۰- تاریخچه زمانی مؤلفه‌های حرکت زمین برای شتاب‌نگاشت خام و تصحیح نشده اولیه [۸].



شکل ۱۱- طیف دامنه فوریه برای شتاب‌نگاشت خام و تصحیح نشده اولیه [۸].



شکل ۱۲- طیف دامنه فوریه برای شتاب‌نگاشت تصحیح شده



## نتیجه‌گیری

وجود مقدار میانگین، چرخش محور مبنا و اغتشاشات فرکانس بالا و پایین در زمان ثبت و رقمی نمودن فیلم‌های شتابنگاری آنالوگ وارد شتابنگاشت شده و در شتابنگارهای دیجیتال نیز اغتشاشات فرکانس پایین و بالا همراه شتابنگاشت ثبت می‌شوند بنابراین شتابنگاشت خام در کاربردهای مهندسی قابل استفاده نیست و باید اصلاحات لازم روی آن انجام شود.

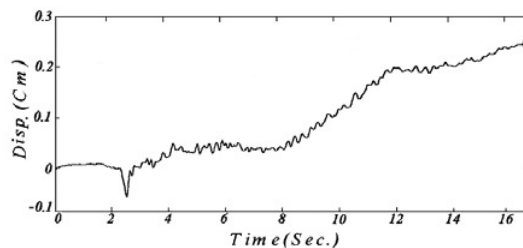
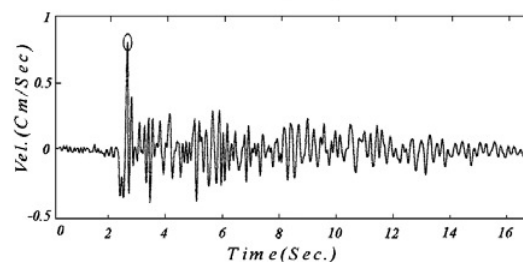
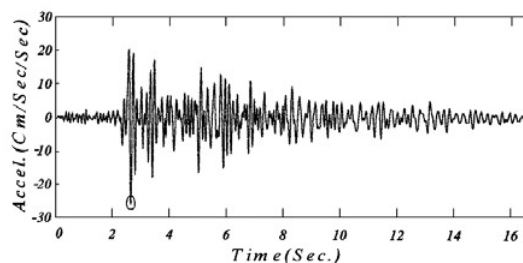
مولفه فرکانس صفر در شتابنگاشت زلزله معادل مقدار میانگین در داده‌های شتابنگاری است و لذا با حذف فرکانس‌های پایین تر از فرکانس قطع، مقدار میانگین خود به خود از شتابنگاشت حذف می‌شود.

انتخاب فرکانس‌های قطع در فیلتر Low-pass و High-pass در نگاشت‌های مختلف زلزله متفاوت می‌باشند و انتخاب آن‌ها احتیاج به دقت بالایی دارد تا اینکه از یک سو دقت داده‌های شتابنگاری حفظ شود و اطلاعات مفید سنجش حرکت زمین از دست نرود و از سوی دیگر اغتشاشات نیز از شتابنگاشت حذف شوند.

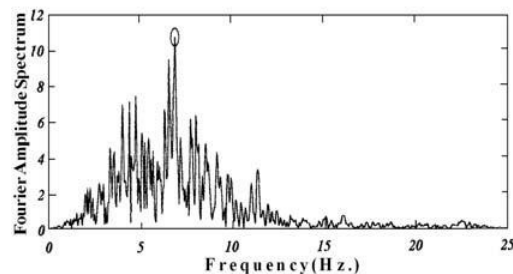
استفاده از فیلتر باترورث با مرتبه‌های بالاتر می‌تواند به یک فیلتر ایده آل تر نزدیک شده و جهت تصحیح داده‌های شتابنگاری فیلتر مناسبی است.

حذف خطاها در شتابنگاشت باید به گونه‌ای انجام شود که سرعت و جابجایی زمین در پایان زلزله به صفر برسد.

از داده‌های شتابنگاشت اصلاح شده بدست آمده است را نشان می‌دهد. در شکل (۱۵) طیف دامنه فوریه برای شتابنگاشت اصلاح شده شکل (۱۴) نشان داده شده است. دقت فیلتر استفاده شده در این تحقیق، در قیاس با فیلتر استفاده شده در شکل (۱۴) برای حذف فرکانس‌های خارج از محدوده  $0.3\text{Hz}$  تا  $23\text{Hz}$  به خوبی با مقایسه سه شکل (۱۱)، (۱۲) و (۱۵) قابل بیان است.



شکل ۱۴- مؤلفه‌های حرکت زمین برای شتابنگاشت تصحیح شده در مرکز بانک اطلاعاتی داده‌ها [۸].



شکل ۱۵- طیف دامنه فوریه برای شتابنگاشت تصحیح شده در مرکز بانک اطلاعاتی شتابنگاشت‌ها [۸].

## منابع

- ۱- میرزایی علویجه، ح، (۱۳۸۵)، بانک اطلاعاتی زمین لرزه‌های ایران در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ میلادی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۱۸ ص.
- ۲- شکیب، ح، (۱۳۸۶)، طیف طرح زلزله برای ایران، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۰۸ ص.
- ۳- مبینی پور، ا، (۱۳۷۰)، تهیه برنامه کامپیوتری برای پردازش همه جانبه داده‌های شتاب‌نگاشت با استفاده از کامپیوترهای شخصی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۵۰ ص.
- ۴- ترکیان، ح، (۱۳۷۷)، تهیه طیف‌های طراحی برای مناطق استان فارس جهت طراحی لرزه ای سازه‌ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۴۷ ص.
- ۵- ماهری، م، (۱۳۸۱)، مدلسازی و آزمایش‌های دینامیکی در مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۲۸۵ ص.
- ۶- تابش پور، م، (۱۳۸۵)، تفسیر مفهومی کاربردی آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، انتشارات گنج‌هنر، ۳۷۰ ص.
- ۷- رمضی، ح، (۱۳۷۶)، داده‌های پایه شتاب‌نگاشت‌های شبکه شتاب‌نگاری کشور، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۰۰ ص.
- ۸- ترکیان، ح، (۱۳۸۸)، تصحیح و پردازش شتاب‌نگاشت‌های زلزله به عنوان سیگنال‌های ثبت شده، طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، ۱۸۱ ص.
- 9- Lynn, P., (1982). An Introduction to the Analysis and Processing of Signals, London, The Macmillan Press, 255 p.