



سنسورهای IIEES-HAT

آزمایش صحت سنجی عملکرد سنسورهای شتابنگاری HAT



پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

دی ماه ۱۳۹۴

فهرست مطالب

۱	آزمایش صحت سنجی عملکرد سنسورهای شتابنگاری IIEES-HAT
۱-۱	مقدمه
۲-۱	شرح آزمایشات
۱-۲-۱	مشخصات فنی دستگاه های شتابنگاری
۳-۱	نتایج آزمایشها به همراه تحلیل های مربوطه
۴-۱	جمع بندی و نتیجه گیری

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نمایی از میز لرزه و سنسورهای HAT، CMG-5DT، U5 و TML-ARF A ۲
- شکل ۲-۱: تاریخچه زمانی آزمایشهای با موج سینوسی انجام شده بر روی سنسورهای شتابنگاری ۳
- شکل ۳-۱: تاریخچه زمانی آزمایشهای انجام شده بر روی سنسورها که موج اعمالی به میز لرزه بصورت رکورد زلزله میباشد ۴
- شکل ۴-۱: نحوه ی قرارگیری سنسورهای HAT بر روی میز لرزه ۷
- شکل ۵-۱: نحوه ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری CMG-5DT ۸
- شکل ۶-۱: نحوه ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری CMG-5U ۱۰
- شکل ۷-۱: نحوه ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری TML-ARF A بر روی میز لرزه ۱۲
- شکل ۸-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 0.5 Hz و دامنه 15mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۱۴
- شکل ۹-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 0.5 Hz و دامنه 5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۱۵
- شکل ۱۰-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 1.0 Hz و دامنه 15mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۱۶
- شکل ۱۱-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 1.0 Hz و دامنه 5.0mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۱۷
- شکل ۱۲-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 2 Hz و دامنه 10mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۱۸
- شکل ۱۳-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 2 Hz و دامنه 5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۱۹
- شکل ۱۴-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 4 Hz و دامنه 5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۰
- شکل ۱۵-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 4 Hz و دامنه 2mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۱
- شکل ۱۶-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 8 Hz و دامنه 1.5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۲
- شکل ۱۷-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 8 Hz و دامنه 0.5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۳
- شکل ۱۸-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 16 Hz و دامنه 0.3mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۴
- شکل ۱۹-۱: آزمایش میز لرزه با فرکانس 16 Hz و دامنه 0.1mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۵
- شکل ۲۰-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Bam که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۶
- شکل ۲۱-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Bam که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است ۲۷

- شکل ۲۲-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Tabas که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است ۲۸
- شکل ۲۳-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Tabas که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است ۲۹
- شکل ۲۴-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Irpinia که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است ۳۰
- شکل ۲۵-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Irpinia که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است ۳۱
- شکل ۲۶-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Elcentro که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است ۳۲
- شکل ۲۷-۱: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Elcentro که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است ۳۳

فهرست جداول

جدول ۱-۱: مشخصات فرکانسی و دامنه های آزمایشهای انجام شده بر روی سنسورها.....	۴
جدول ۲-۱: ضرائب مقیاسهای اعمالی در رکوردهای زلزله ها.....	۵
جدول ۳-۱: مشخصات فنی سنسورهای HAT.....	۵
جدول ۴-۱: مشخصات فنی سنسورهای شتابنگاری CMG-5TD.....	۸
جدول ۵-۱: ضرائب Gain و vpc سنسورهای CMG-5DT.....	۹
جدول ۶-۱: مشخصات فنی سنسورهای شتابنگاری CMG-5U.....	۱۰
جدول ۷-۱: ضرائب Gain و vpc سنسورهای CMG-5DT.....	۱۱
جدول ۸-۱: مشخصات فنی سنسورهای شتابنگاری TML ARF A.....	۱۲

آزمایش صحت‌سنجی عملکرد سنسورهای شتابنگاری IIEES-HAT

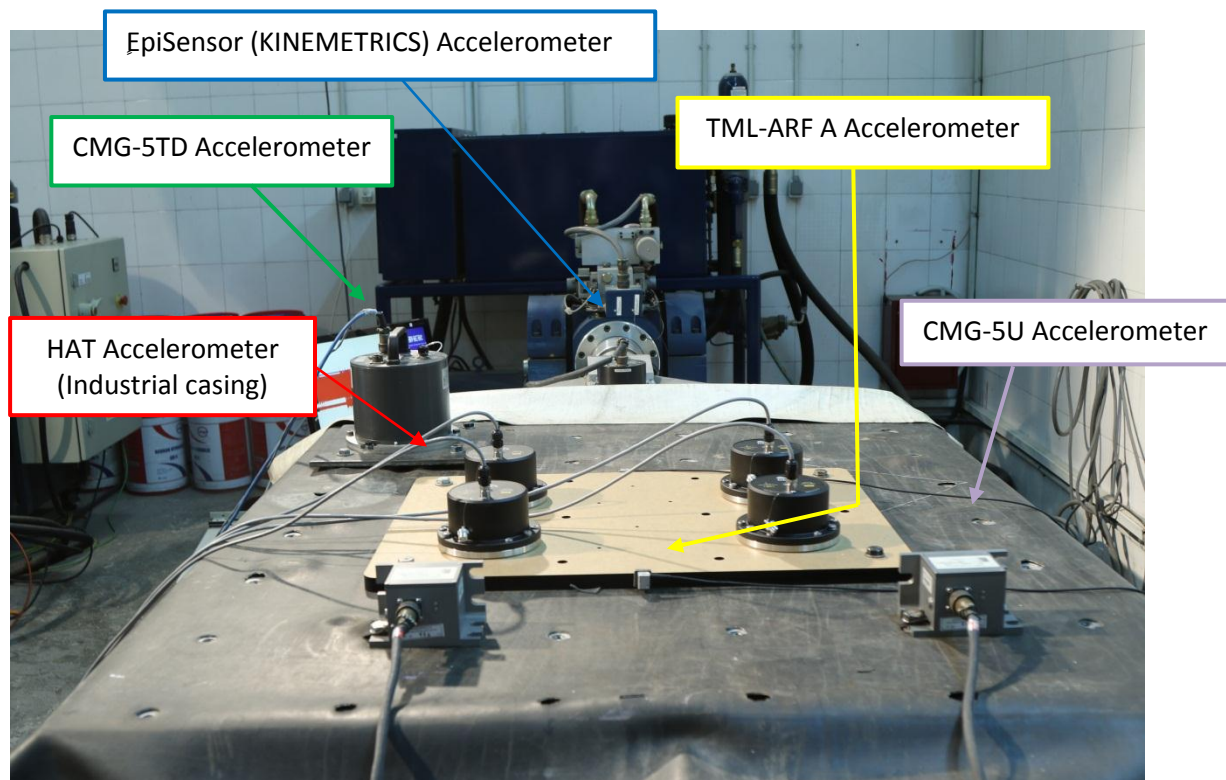
۱-۱) مقدمه

در این آزمایش نحوه‌ی عملکرد و میزان دقت شتاب‌های برداشت شده توسط سنسورهای HAT مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بر این اساس، برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها از آزمایش میز لرزه استفاده شده است که در آن شتاب‌های ثبت شده توسط شتابنگار HAT با شتاب‌های ثبت شده توسط سه شتابنگار CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A مقایسه و مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. لازم به ذکر است که آزمایش صحت‌سنجی عملکرد سنسور چندین مرتبه صورت پذیرفته است که در این گزارش نتایج مربوط به آخرین آزمایش ارائه خواهد شد. کلیه آزمایشات در آزمایشگاه سازه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله صورت پذیرفته است. برای بررسی نحوه‌ی عملکرد سنسورها، ۲۰ آزمایش مختلف با دامنه‌ها و فرکانس‌های متفاوت انجام شده است که در ۱۲ آزمایش، موج اعمالی به میز لرزه بصورت سینوسی و ۸ آزمایش توسط رکوردهای زلزله صورت پذیرفته است. نحوه‌ی عملکرد سنسورها در این آزمایش‌ها هم در حوزه زمانی و هم حوزه فرکانسی مورد بررسی قرار گرفته است. نحوه‌ی انجام آزمایشات و نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

۱-۲) شرح آزمایشات

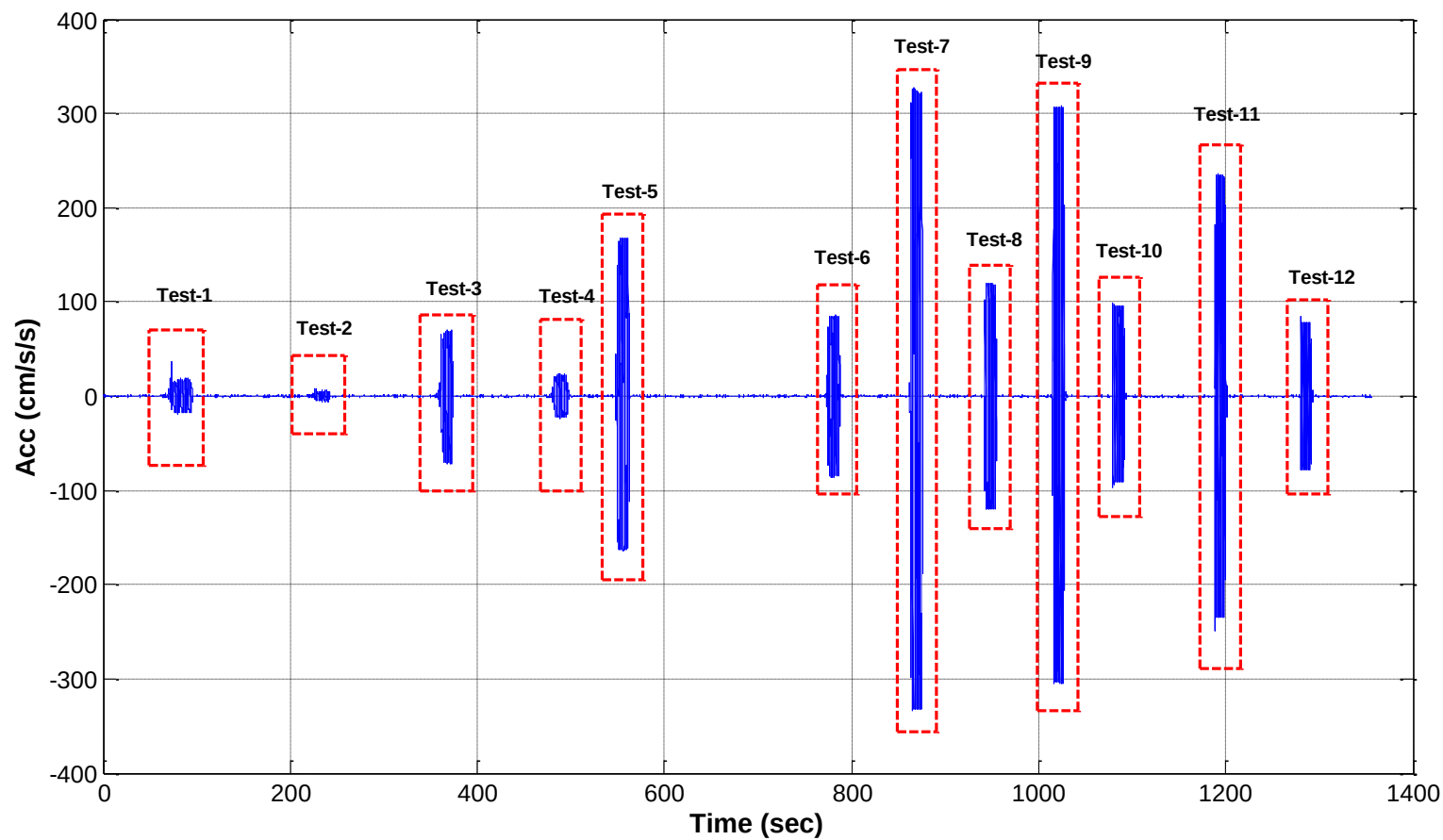
در این گزارش برای کنترل نحوه‌ی عملکرد و دقت سنسورهای شتابنگاری HAT، آزمایش میز لرزه با دامنه و فرکانس‌های مختلف صورت گرفته است. این آزمایش‌ها، در آزمایشگاه سازه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله صورت گرفته است. در شکل ۱-۰ نمایی از میز لرزه و سنسورهای HAT، CMG-5DT، CMG-5U و TML-

ARF A که بر روی میز لرزه نصب شده است، نمایش داده شده است. همانگونه که در تصاویر مشخص می‌باشد برای کنترل نتایج آزمایش از سنسورهای CMG-5DT، CMG-5U و TML-ARF A استفاده شده است. در ادامه مشخصات فنی هر کدام از دستگاه‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۱-۰: نمایی از میز لرزه و سنسورهای HAT، CMG-5DT، U5 و TML-ARF A

بطور کلی آزمایش‌های انجام شده بر روی دستگاه‌ها را می‌توان بر اساس نوع موج اعمالی به میز لرزه به دو دسته مجزا تقسیم می‌گردند. در دسته اول، موج اعمالی به میز لرزه تنها به صورت سینوسی در نظر گرفته شده است. در شکل ۲-۰ تاریخچه زمانی آزمایش‌های انجام شده نمایش داده شده است. در جدول ۱-۰ مشخصات دامنه‌ای و فرکانسی هر کدام از آزمایش‌های با موج سینوسی ارائه شده است. لازم به ذکر است که انتخاب دامنه و فرکانس آزمایش‌ها بگونه‌ای صورت گرفته است که نحوه عملکرد دستگاه در فرکانس‌ها و شتاب‌های پایین و بالا کنترل گردد.

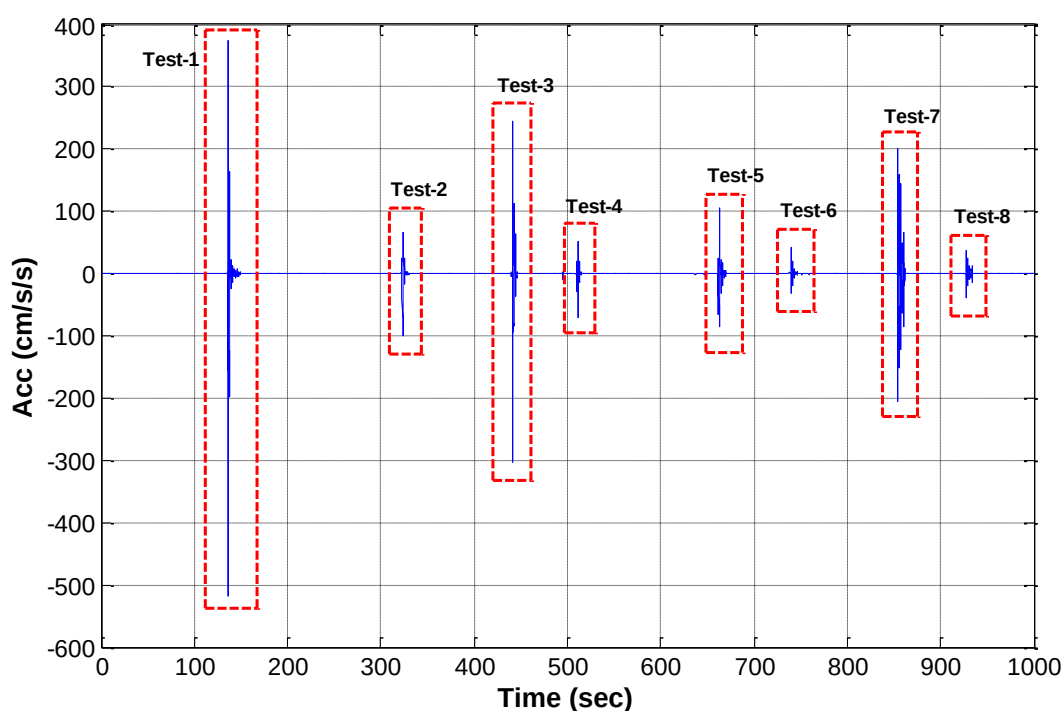


شکل ۲-۰: تاریخچه زمانی آزمایش‌های با موج سینوسی انجام شده بر روی سنسورهای شتابنگاری

جدول ۱-۰: مشخصات فرکانسی و دامنه‌ای آزمایش‌های انجام شده بر روی سنسورها

Num of test	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)
1	0.5	15.0
2	0.5	5.0
3	1.0	5.01
4	1.0	5.0
5	2.0	10.0
6	2.0	5.0
7	4.0	5.0
8	4.0	2.0
9	8.0	1.5
10	8.00	0.5
11	16.0	0.3
12	16.0	0.1

در دسته دوم آزمایش‌های صورت گرفته، موج اعمالی به میز لرزه رکوردهای زلزله‌های مختلف می‌باشد که با مقیاس مختلف اعمال گردیده‌اند. در شکل ۳-۰ تاریخچه زمانی رکورد زلزله‌های اعمالی به میز لرزه نمایش داده شده است. در جدول ۲-۰ نیز لیست زلزله‌های اعمالی به میز لرزه ارائه شده است.



شکل ۳-۰: تاریخچه زمانی آزمایش‌های انجام شده بر روی سنسورها که موج اعمالی به میز لرزه بصورت رکورد زلزله می‌باشد

جدول ۲-۰: ضرائب مقیاس‌های اعمالی در رکوردهای زلزله‌ها

Num of test	Earthquake time history	Scale factor
1	Bam	100 %
2	Bam	20 %
3	Tabas	20 %
4	Tabas	5 %
5	Irpinia	50 %
6	Irpinia	20 %
7	Elcentro	100 %
8	Elcentro	20 %

در ادامه، ابتدا مشخصات فنی دستگاه‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت و سپس نتایج آزمایش‌ها ارائه خواهند شد.

۱-۲-۱) مشخصات فنی دستگاه‌های شتابنگاری

در این بخش از گزارش مشخصات فنی دستگاه‌های شتابنگاری مورد استفاده در آزمایش بصورت اجمالی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

– سنسورهای شتابنگاری HAT

سنسورهای شتابنگاری HAT، سنسورهایی سه مولفه‌ای می‌باشند که با استفاده از تکنولوژی میکروالکترونیک (MEMS^۱) تهیه شده‌اند. به دلیل هزینه پایین، ابعاد کوچک و قابلیت اعتماد بالای شتاب‌نگارهای خازنی MEMS، این شتاب‌نگارها به عنوان گزینه ارجح برای ساخت شتاب‌نگار HAT مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این سنسورها با همکاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و زلزله شناسی (IIIES^۲) و شرکت ایران‌ترانیکس تهیه می‌گردد.

در ساخت سنسورهای شتابنگاری HAT از سنسورهای ADXL203 استفاده شده است که از خانواده سنسورهای ADXL103/ADXL203 ساخت شرکت Analog Device آمریکا می‌باشد. این سنسورها توانایی ثبت شتاب‌های حرکتی تا ۱/۷ برابر شتاب جاذبه را دارند. همچنین به منظور انجام پردازش‌های مختلف در داخل سنسور، یک عدد مایکروکنترلر استفاده شده است که وظیفه تبدیل سیگنال‌های آنالوگ دریافتی از شتاب‌نگارهای ADXL203 را بر عهده دارد. سیگنال‌های آنالوگ در ابتدا با نرخ ۲۵۰۰ هرتز نمونه برداری شده و پس از کاهش نرخ نمونه برداری در سطح ۵۰، ۱۰۰ و یا ۲۰۰ هرتز ارائه می‌گردد. در جدول ۳-۰ مشخصات فنی سنسورهای HAT ارائه شده است.

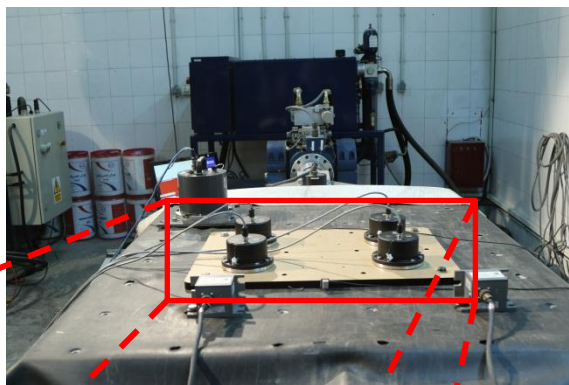
جدول ۳-۰: مشخصات فنی سنسورهای HAT

¹ Microelectromechanical system

² International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

No.	Performance Metric	Value
1	Number of Components/axes	3
2	Clip-level	$\pm 1.7g$
3	Sensor Dynamic Range	$> 85dB$
4	Generator Constant at Output	$\geq 1.0V/g$
5	Self-noise (RMS)	$< 13 \mu g / \sqrt{Hz}$
6	Sensitivity Accuracy	$< 1\% < 10Hz$
7	Cross axis coupling	$< -38 dB$
8	Linearity	$< -47 dB$
9	Temperature-Induced Sensitivity Errors	$< 0.5\%$ over -20 to $+40^{\circ}C$
10	Operational Temperature Range	$-20 \sim 60^{\circ}C$
11	Sensor output	Digital-RS485
12	Sampling rate	50-100-200 Hz
13	No of sensors per line	12 (sampling rate of 50 Hz)
14	Environmental protection	IP67

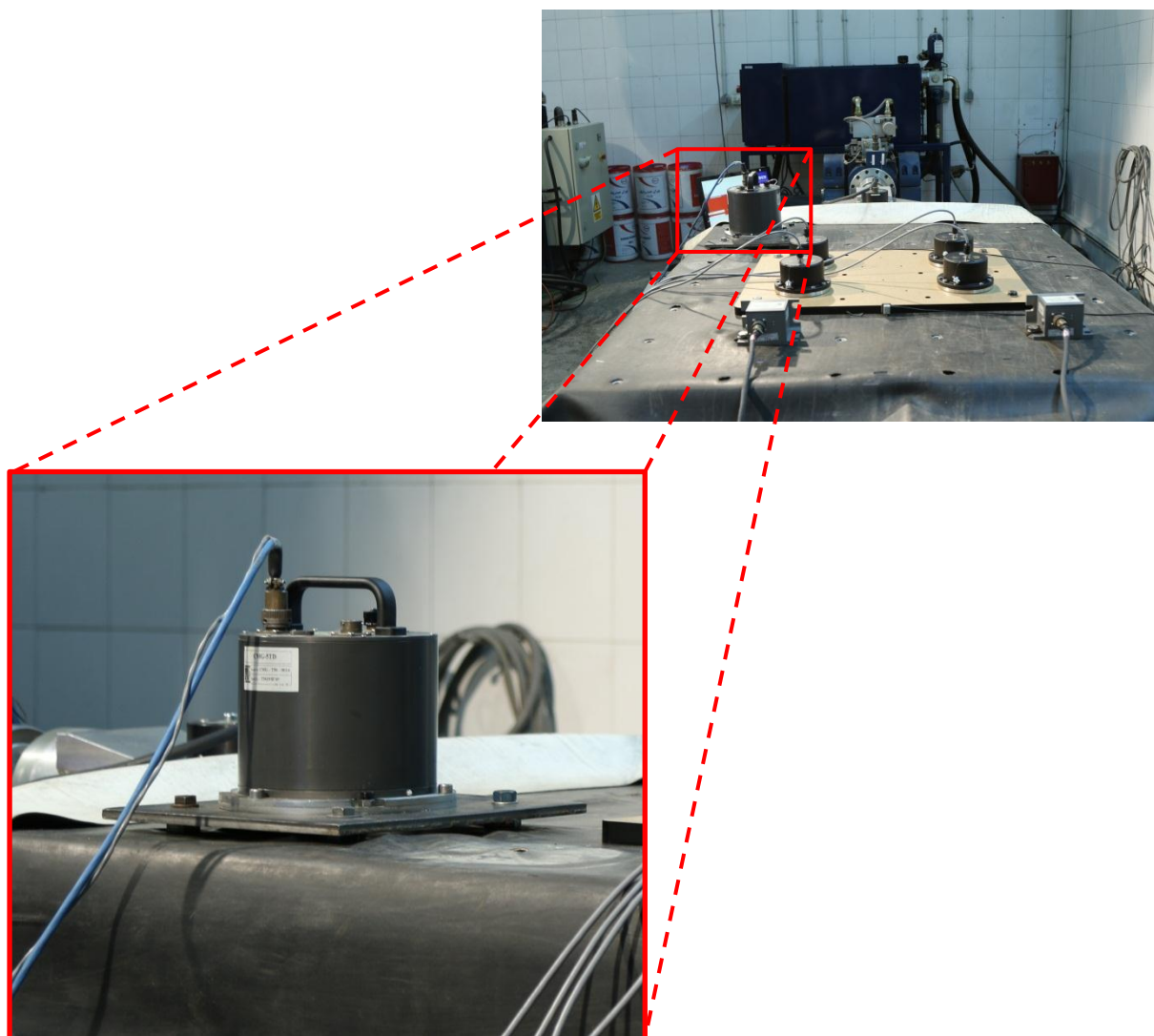
در شکل ۴-۰ نیز نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای HAT بر روی میز لرزه نمایش داده شده است.



شکل ۵-۰: نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای HAT بر روی میز لرزه

– دستگاه شتابنگاری CMG-5TD

دستگاه شتابنگار CMG-5TD یک شتابنگار دیجیتالی سه مولفه ساخت شرکت GURALP انگلستان می‌باشد که برای مطالعات زلزله‌شناسی، مهندسی زلزله کاربرد بسیار دارد. این شتابنگارها شامل یک سنسور شتاب‌سنج سه مولفه CMG-5TD، دیجیتایزر DM24 و نرم افزار راه انداز است که به صورت یک مجموعه کامل و مستقل عمل می‌کند. در شکل ۵-۰ نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای CMG-5TD بر روی میز لرزه به همراه تصویر آن نمایش داده شده است.



شکل ۵-۰: نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری CMG-5DT

برخی از مهمترین ویژگی‌های این سنسورها در جدول ۴-۰ ارائه شده است.

جدول ۵-۰: مشخصات فنی سنسورهای شتابنگاری CMG-5TD

System Parameters	
Configuration / Topology	Triaxial orthogonal
Feedback	Force feedback
Performance	
Standard acceleration output	DC – 100Hz
Output sensitivity / Clip Level	4 g, 2 g, 1 g, 0.5 g or 0.1 g
Peak / Full scale output	±10 V differential
Cross axis rejection	0.001 g/g
Linearity	0.1 % full scale
Lowest spurious resonance	>450Hz
Self-noise	1μg
Dynamic range	>165dB, >140dB for 0.005 – 0.05Hz, >127dB for 3 – 30Hz
Operational temperature	-20 to +70° C
Environmental protection (IP rating)	IP67

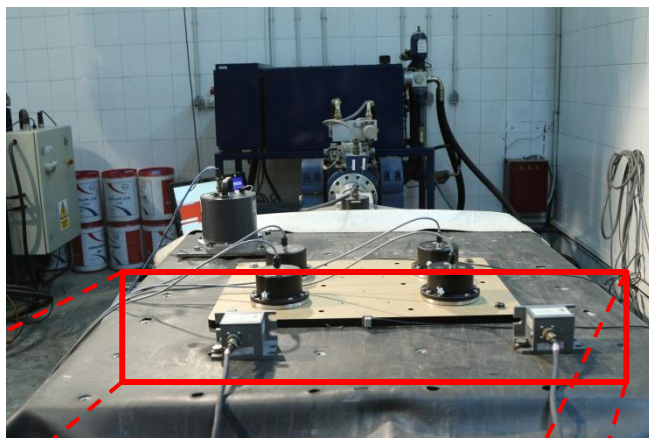
در جدول ۵-۰ ضرائب Gain و vpc (Volt Per Count) سنسورهای CMG-5DT برای راستاهای E، N و Z ارائه شده است.

جدول ۵-۰: ضرائب Gain و vpc سنسورهای CMG-5DT

Direction	G	VPC
E	0.508	3.197E-6
N	0.512	3.22E-6
z	0.510	3.20E-6

- دستگاه شتابنگاری CMG-5U

دستگاه شتابنگار CMG-5U یک شتابنگار دیجیتالی تک مولفه‌ای با ابعادی کوچکتر نسبت به شتابنگارهای CMG-5TD می‌باشد که ساخت شرکت GURALP انگلستان می‌باشد. این شتابنگار که با استفاده از تکنولوژی تعادل نیرویی (Force-Balance) ساخته شده است برای کارهای مهندسی و کاهش خطر زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۶-۰ نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای CMG-5U بر روی میز لرزه به همراه تصویر آن نمایش داده شده است.



شکل ۶-۰: نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری CMG-5U

برخی از مهمترین ویژگی‌های این سنسورها در جدول ۶-۱ ارائه شده است.

جدول ۷-۰: مشخصات فنی سنسورهای شتابنگاری CMG-5U

System Parameters	
Configuration / Topology	Uniaxial orthogonal
Feedback	Force feedback
Performance	
Standard acceleration output	DC – 100Hz
Output sensitivity / Clip Level	2 g, 1 g, 0.5 g or 0.1 g
Cross axis rejection	0.001 g/g
Linearity	0.1 % full scale
Lowest spurious resonance	>450Hz
Self-noise	1µg
Dynamic range at 2g	Standard
Operational temperature	-20 to +70° C
Environmental protection (IP rating)	IP67

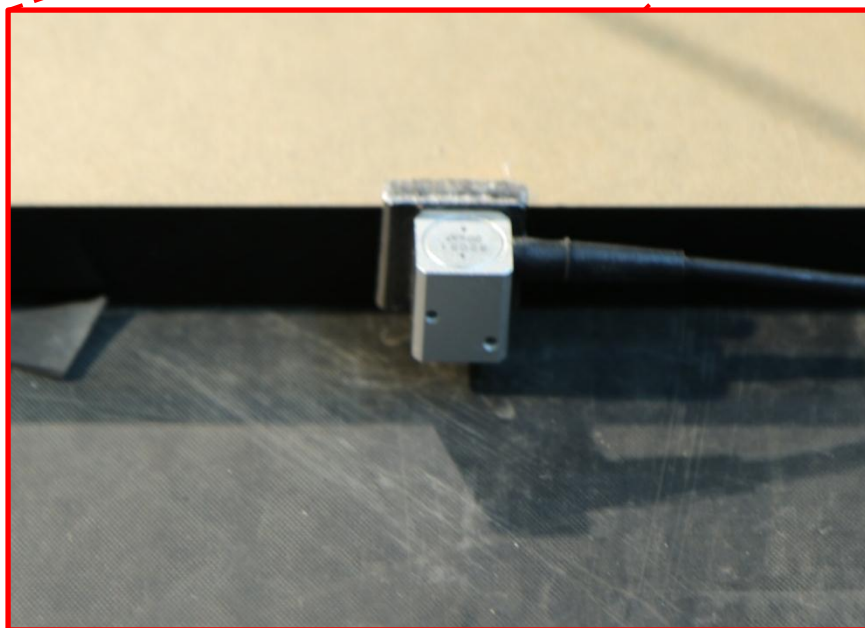
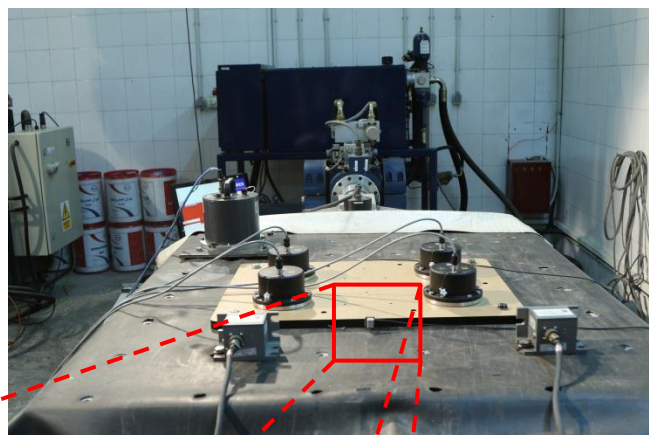
در جدول ۷-۰ ضرائب Gain و vpc (Volt Per Count) سنسورهای CMG-5DT برای راستاهای E، N و Z ارائه شده است.

جدول ۷-۰: ضرائب Gain و vpc سنسورهای CMG-5DT

Direction	G	VPC
E	0.508	3.197E-6
N	0.512	3.22E-6
z	0.510	3.20E-6

– دستگاه شتابنگاری TML-ARF A

سنسورهای TML-ARF A سنسورهایی تک مولفه‌ای و با ابعاد بسیار کوچک و وزن بسیار اندک می‌باشد، این سنسورها ساخت شرکت Tokoyo Sokki Kenkyujo ژاپن می‌باشد و بیشتر در بخش صنعت از جمله اتومبیل سازی و یا فعالیت پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۷-۰ نمایی از این سنسور و نحوه‌ی قرارگیری آن بر روی میز لرزه نمایش داده شده است.



شکل ۷-۰: نحوه‌ی قرارگیری سنسورهای شتابنگاری TML-ARF A بر روی میز لرزه

برخی از مهمترین ویژگی‌های این سنسورها در جدول ۸-۰ ارائه شده است.

جدول ۸-۰: مشخصات فنی سنسورهای شتابنگاری TML ARF A

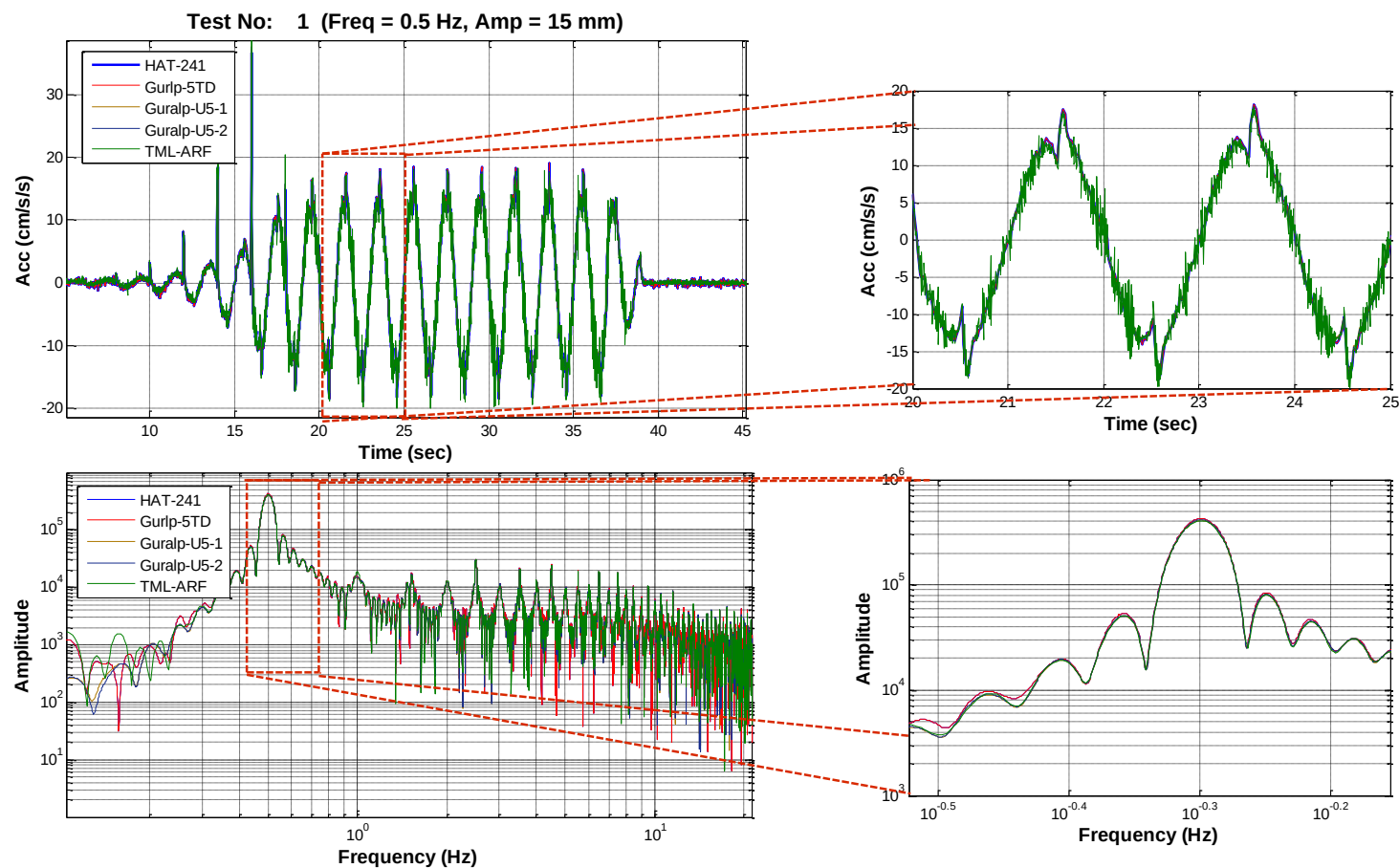
Sensor Specification	
Configuration / Topology	Uniaxial orthogonal
Rated Output	0.5mV/V(1000×10 ⁻⁶ strain)
Non-linearity	1%RO
Frequency response range	DC~80Hz
Natural frequency	150Hz
Allowable temperature range	-10 ~ +50°C
Over load	300%
Input/Output resistance	120Ω
Recommended exciting voltage	Less than 2V
Allowable exciting voltage	5V
Weight	13g

۳-۱) نتایج آزمایش‌ها به همراه تحلیل‌های مربوطه

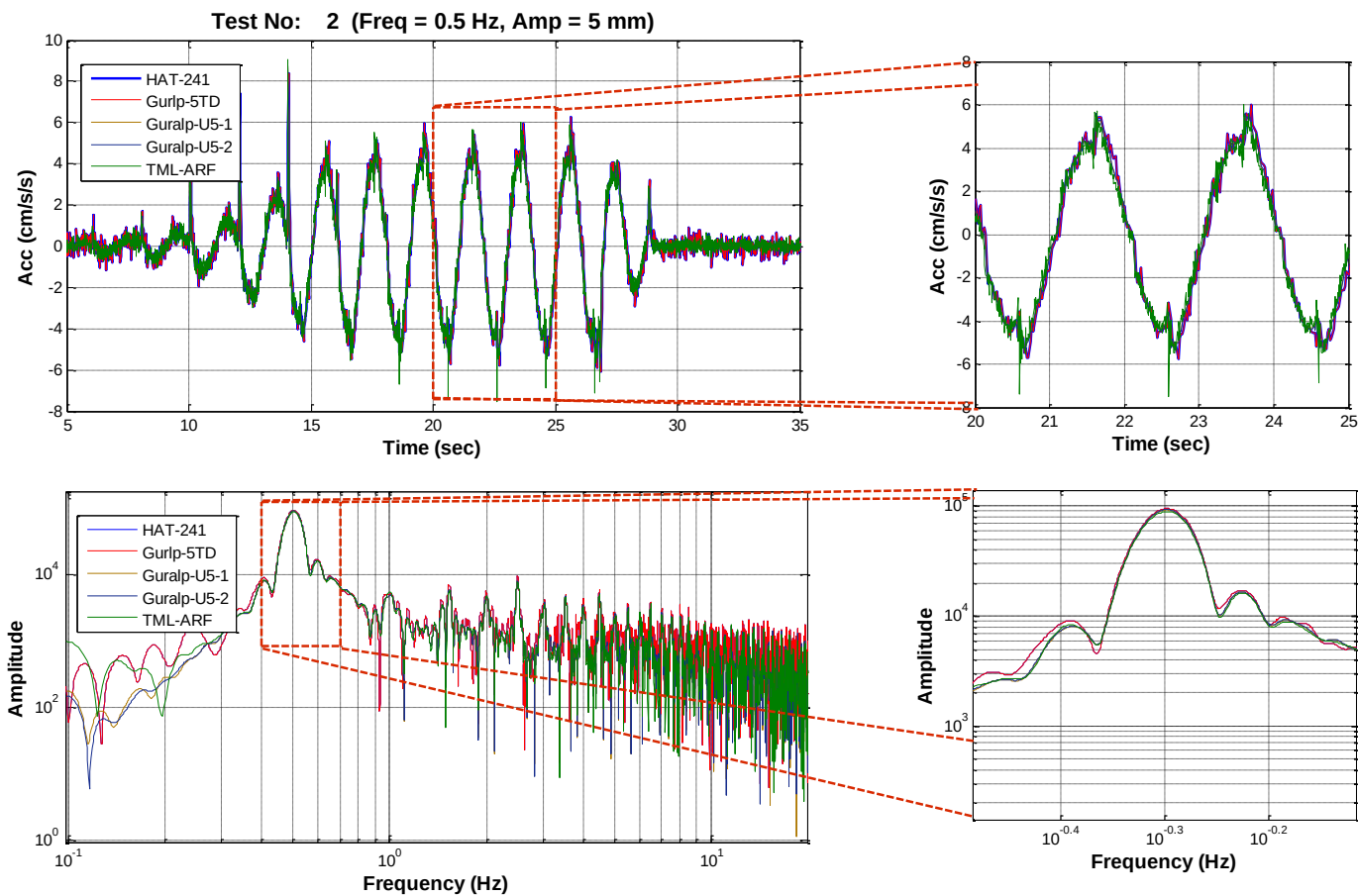
همانطور که در بخش شرح آزمایشات اشاره گردید، بر روی سنسورها ۲۰ آزمایش مختلف صورت گرفته است که در ۱۲ آزمایش موج اعمالی به میز لرزه بصورت سینوسی با دامنه و فرکانس‌های مختلف اعمال شده است و در ۸ آزمایش از رکوردهای زلزله استفاده است. در جدول ۱-۰ و جدول ۲-۰ مشخصات این آزمایش ارائه شده است. همچنین در شکل ۲-۰ و شکل ۳-۰ تاریخچه زمانی آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سنسورهای نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است که در آزمایش‌های صورت گرفته نرخ نمونه‌برداری سنسورهای HAT برابر ۵۰ نمونه در ثانیه و نرخ نمونه‌برداری سنسورهای CMG-5DT، U5 و TML-ARF A به ترتیب برابر ۵۰، ۵۰ و ۱۵۰ نمونه در ثانیه تنظیم شده است.

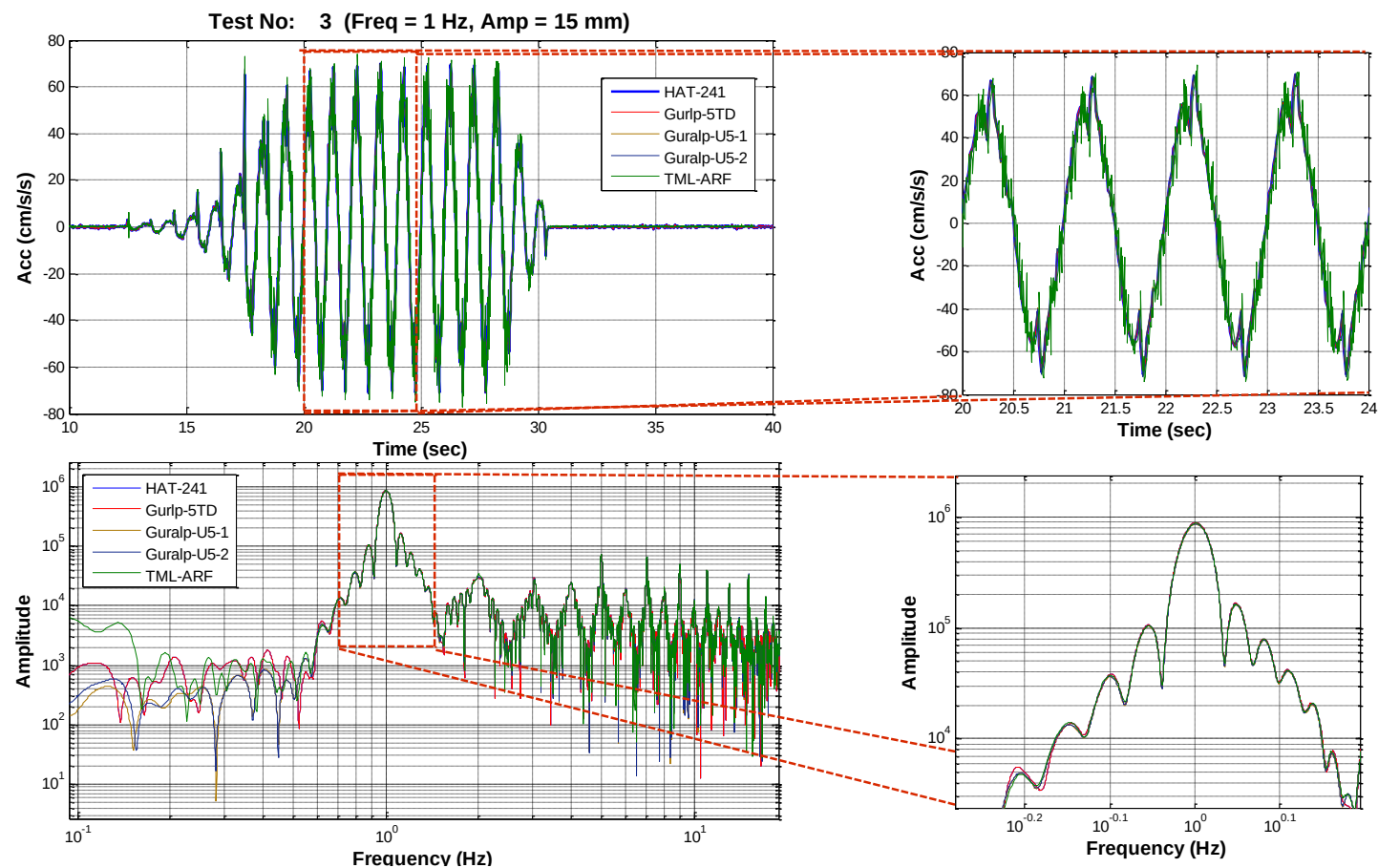
در شکل ۸-۰ الی شکل ۲۷-۰ تاریخچه زمانی شتاب‌ها (حوزه زمانی) و طیف دامنه فوری (حوزه فرکانس) هر یک از آزمایش‌ها بصورت جداگانه ارائه شده است.



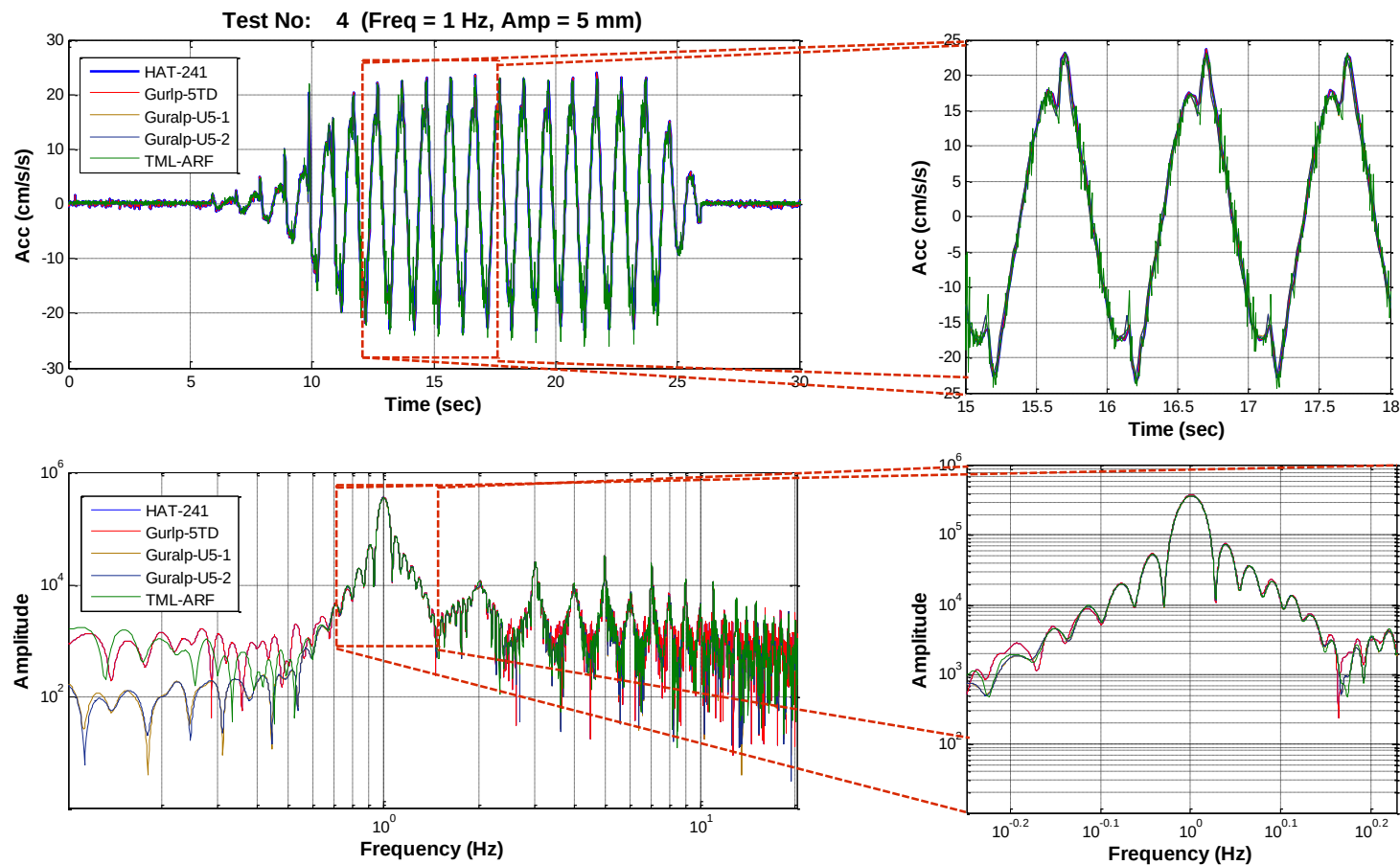
شکل ۸-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 0.5 Hz و دامنه 15mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



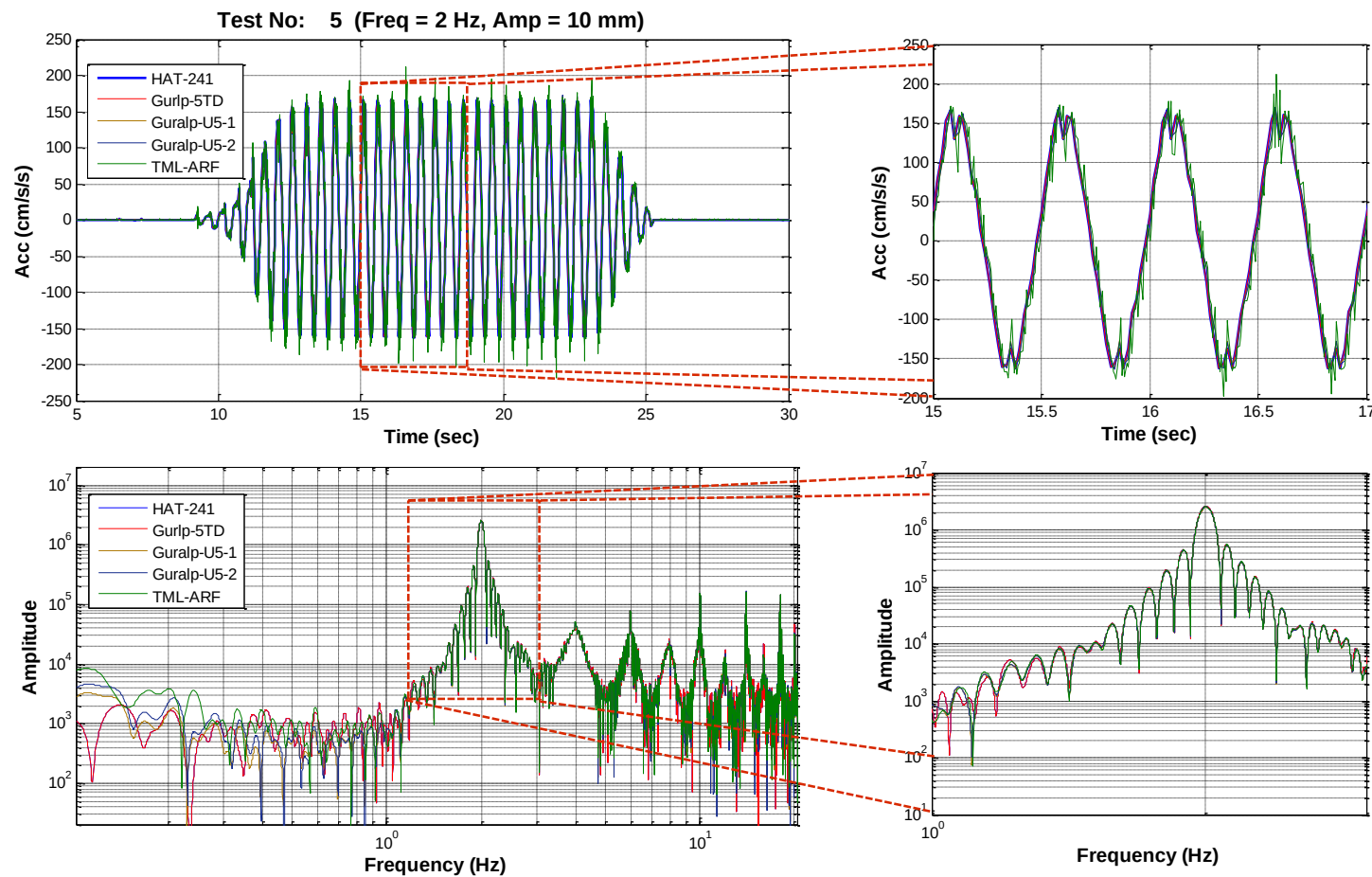
شکل ۹-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 0.5 Hz و دامنه 5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



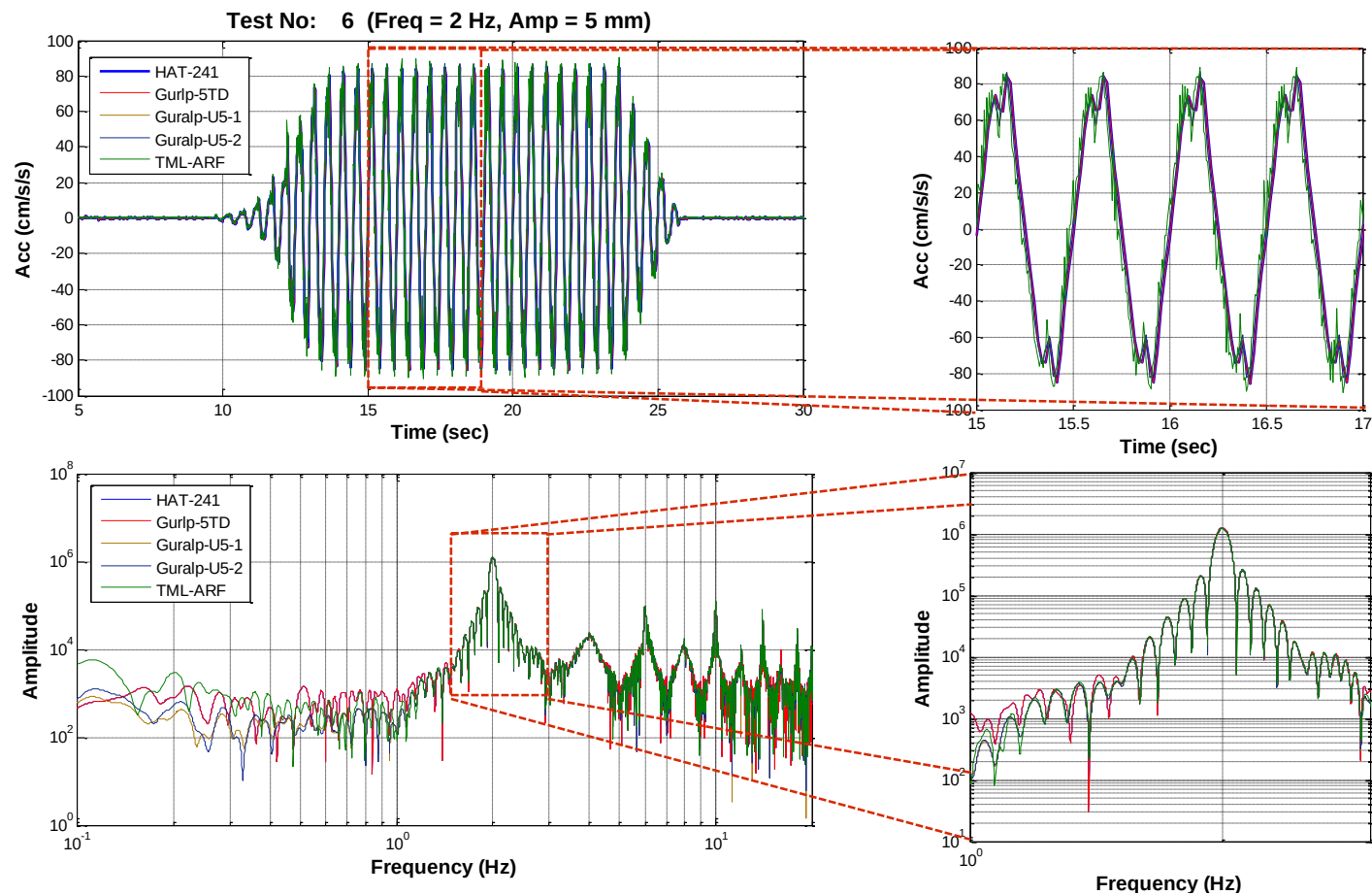
شکل ۱۰-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 1.0 Hz و دامنه 15mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



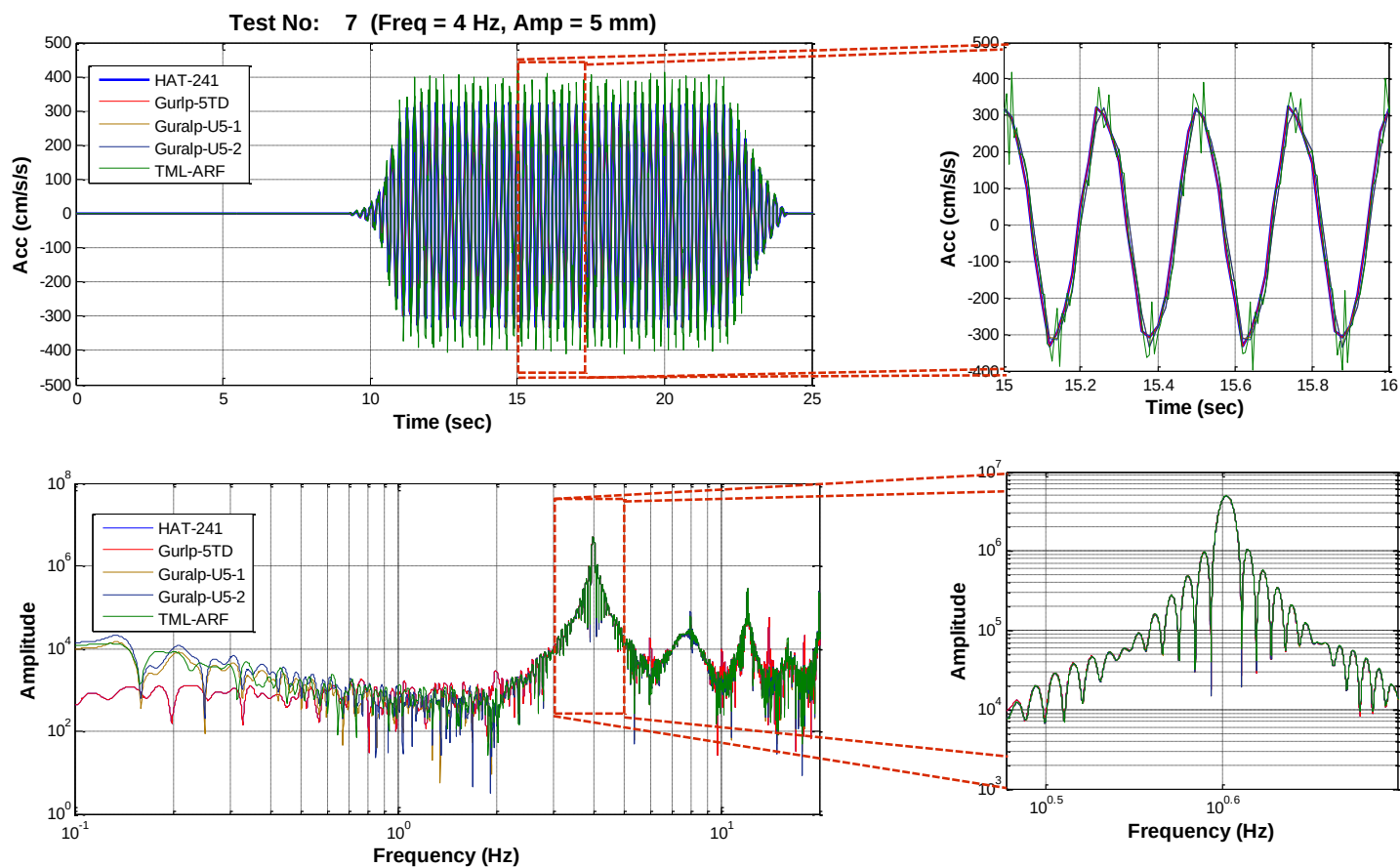
شکل ۱۱-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 1.0 Hz و دامنه 5.0mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



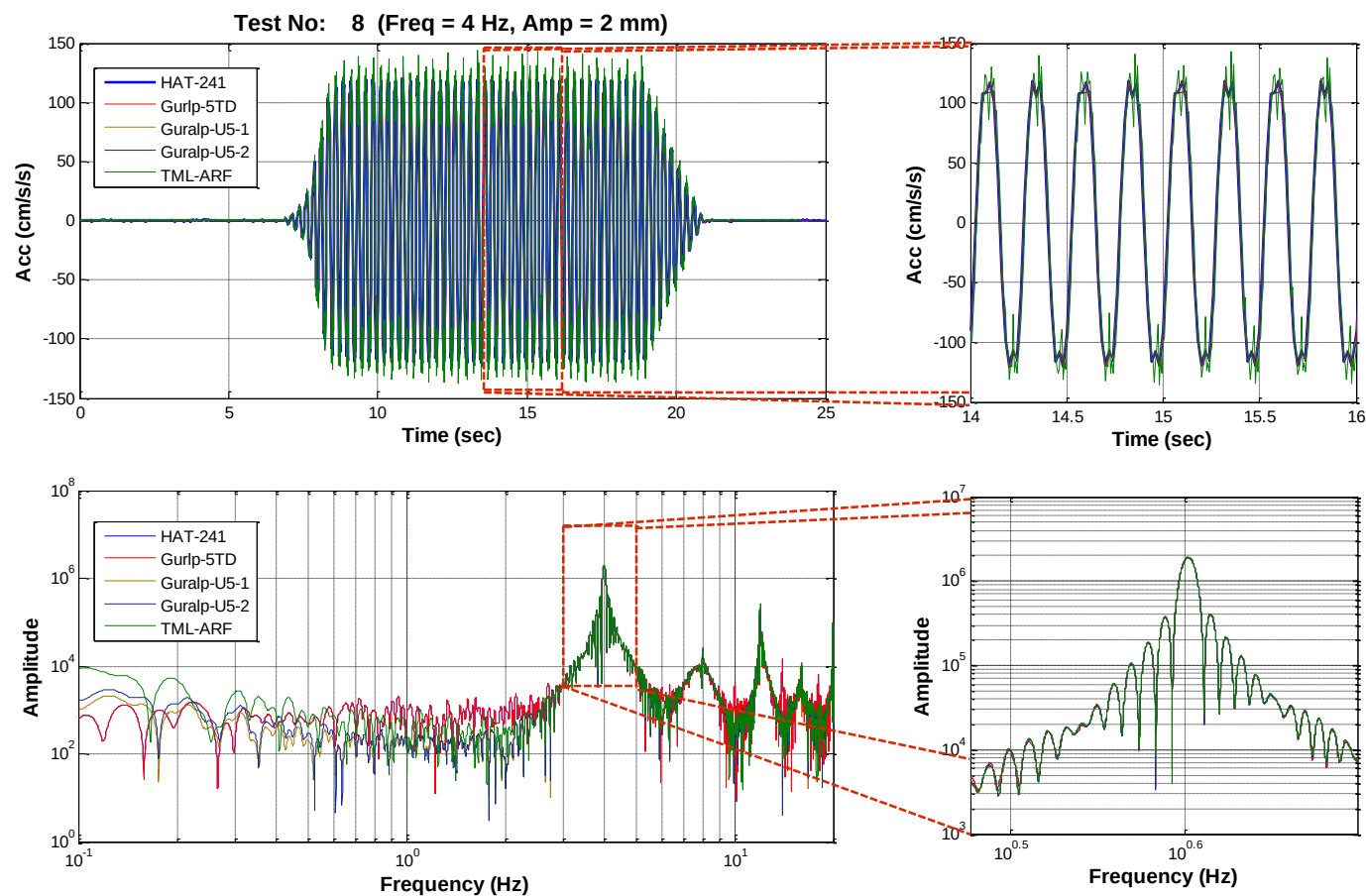
شکل ۱۲-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 2 Hz و دامنه 10mm که توسط سنسورهای HAT, CMG-5TD, CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است



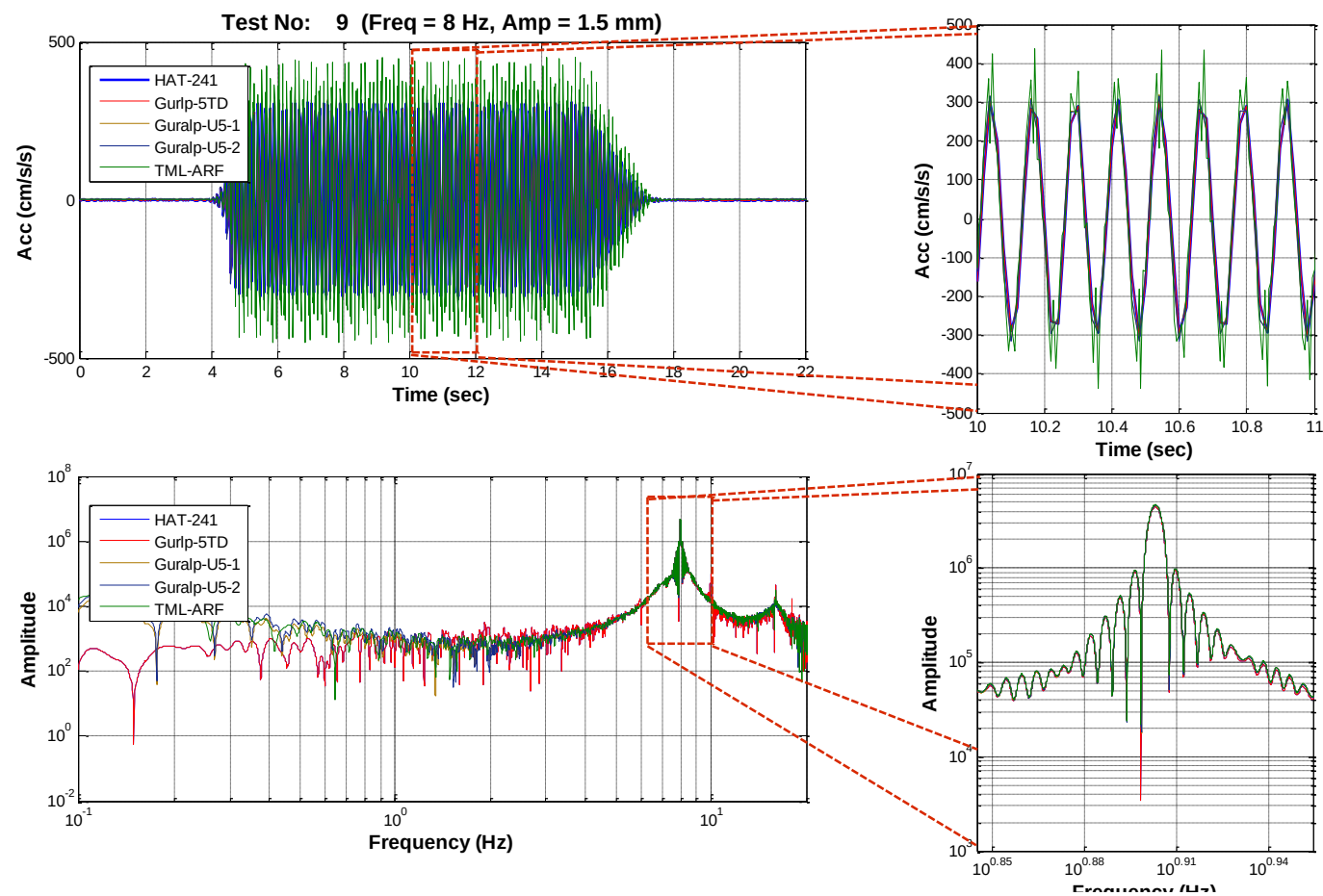
شکل ۱۳-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 2 Hz و دامنه 5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



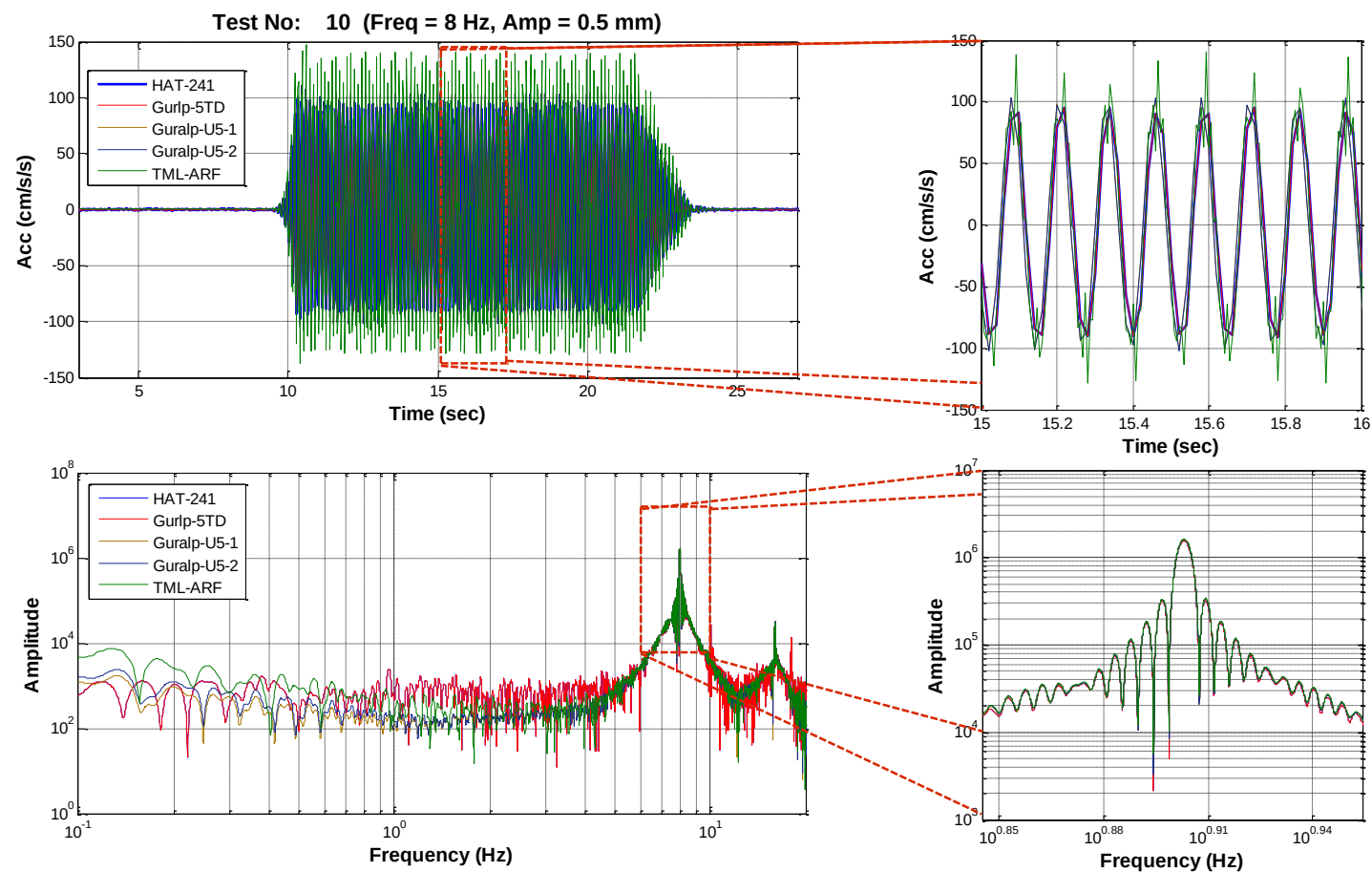
شکل ۱۴-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 4 Hz و دامنه 5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



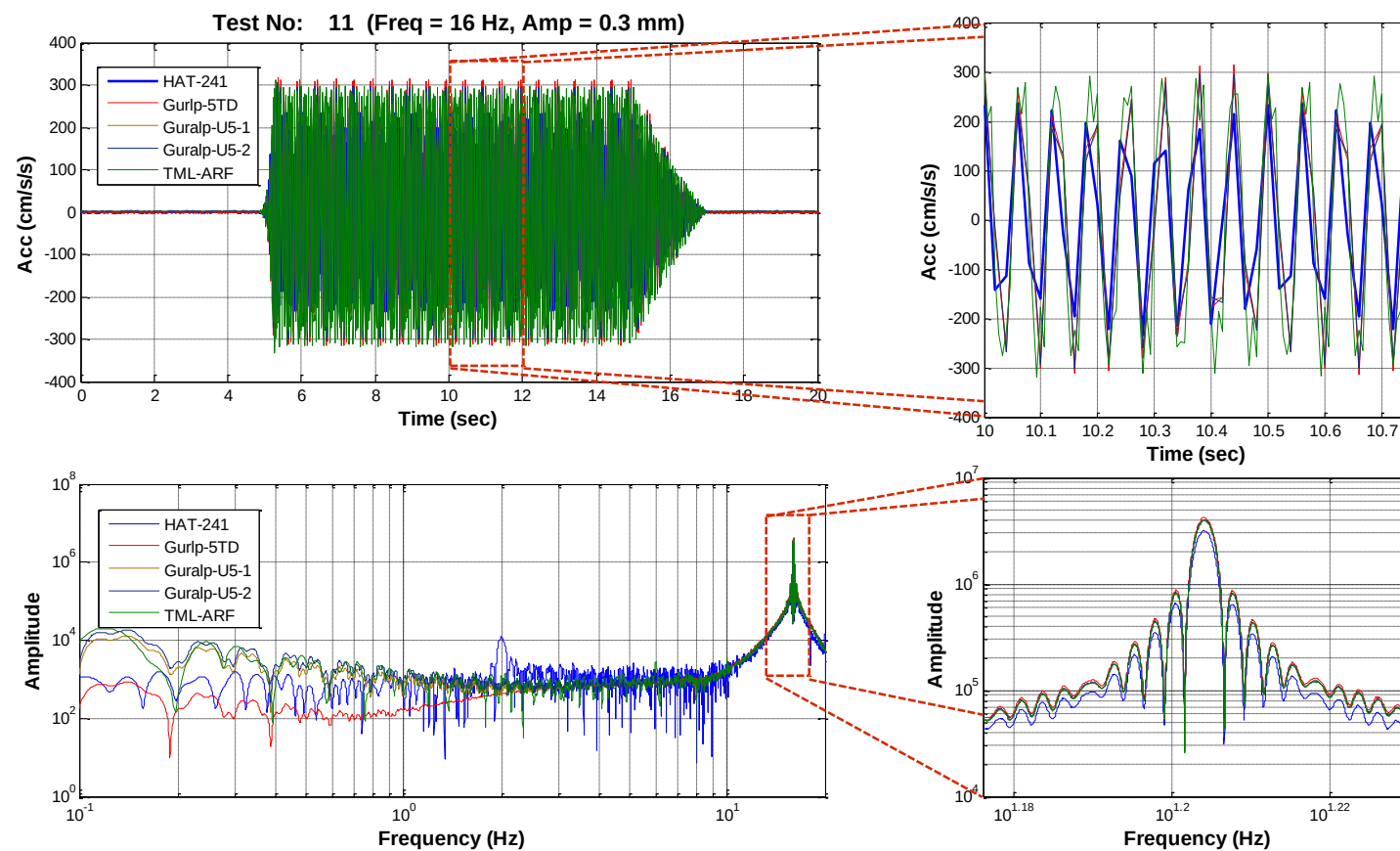
شکل ۱۵-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 4 Hz و دامنه 2mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



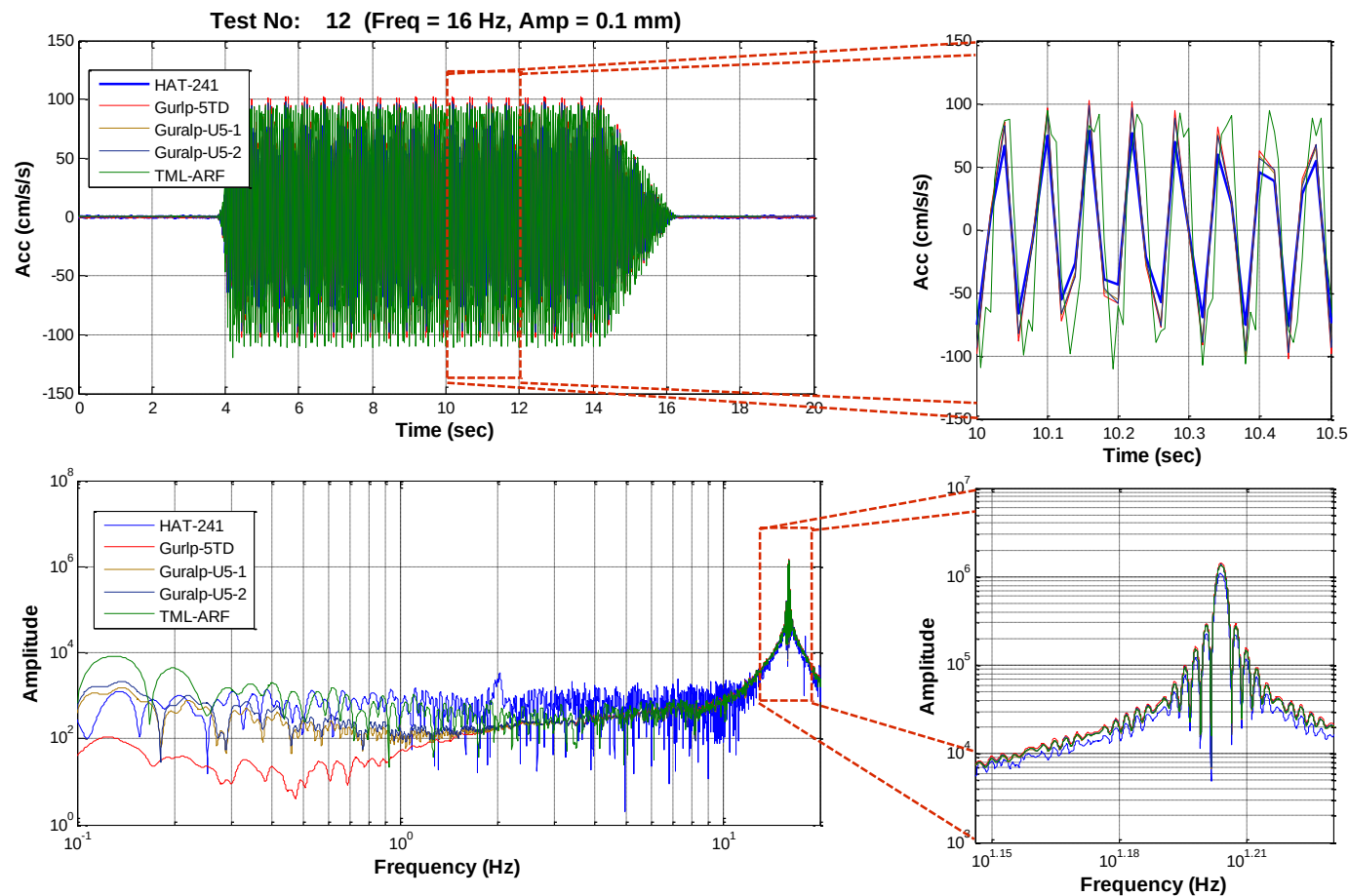
شکل ۱۶-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 8 Hz و دامنه 1.5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



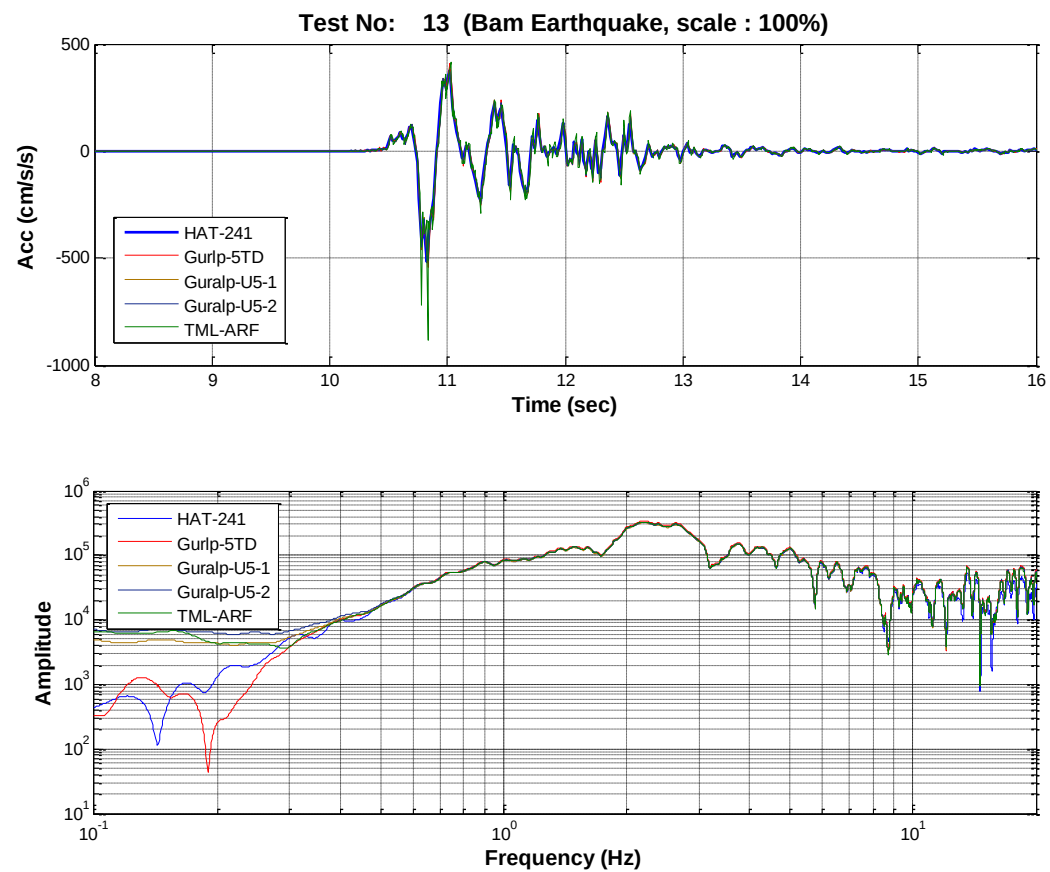
شکل ۰-۱۷: آزمایش میز لرزه با فرکانس 8 Hz و دامنه 0.5mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است



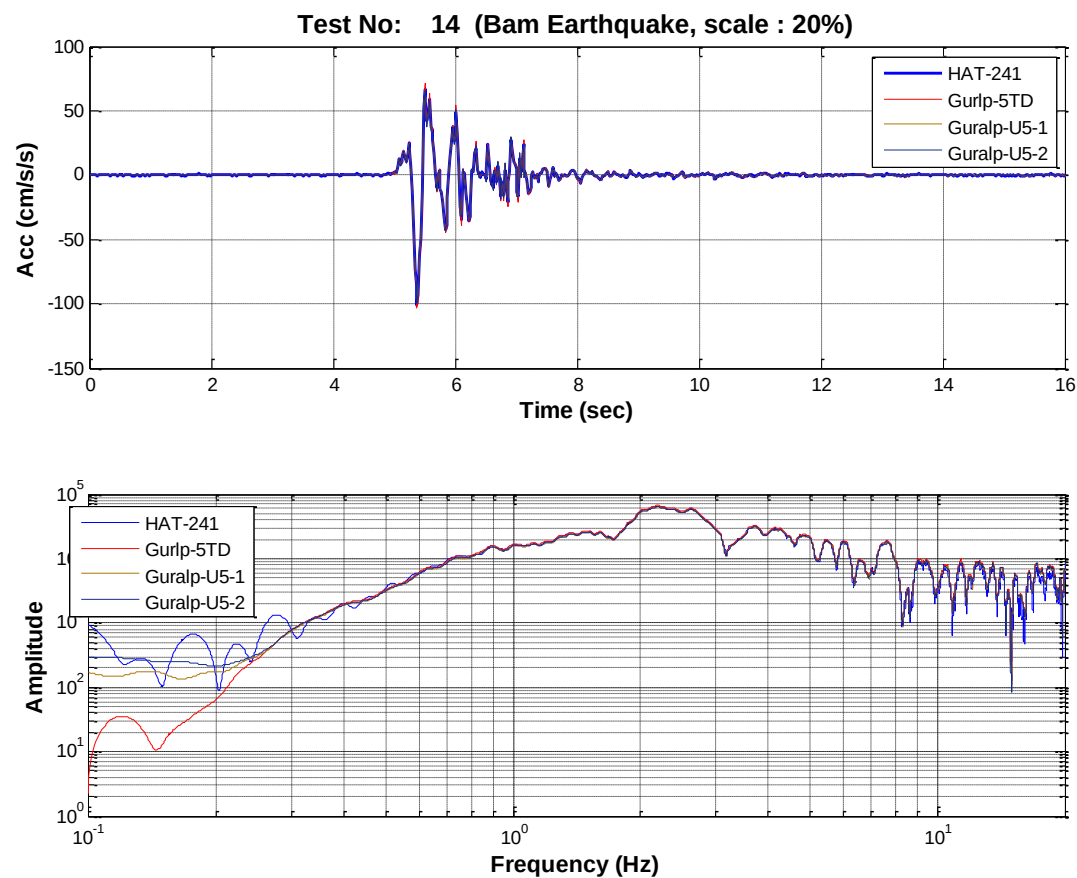
شکل ۱۸-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 16 Hz و دامنه 0.3mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است



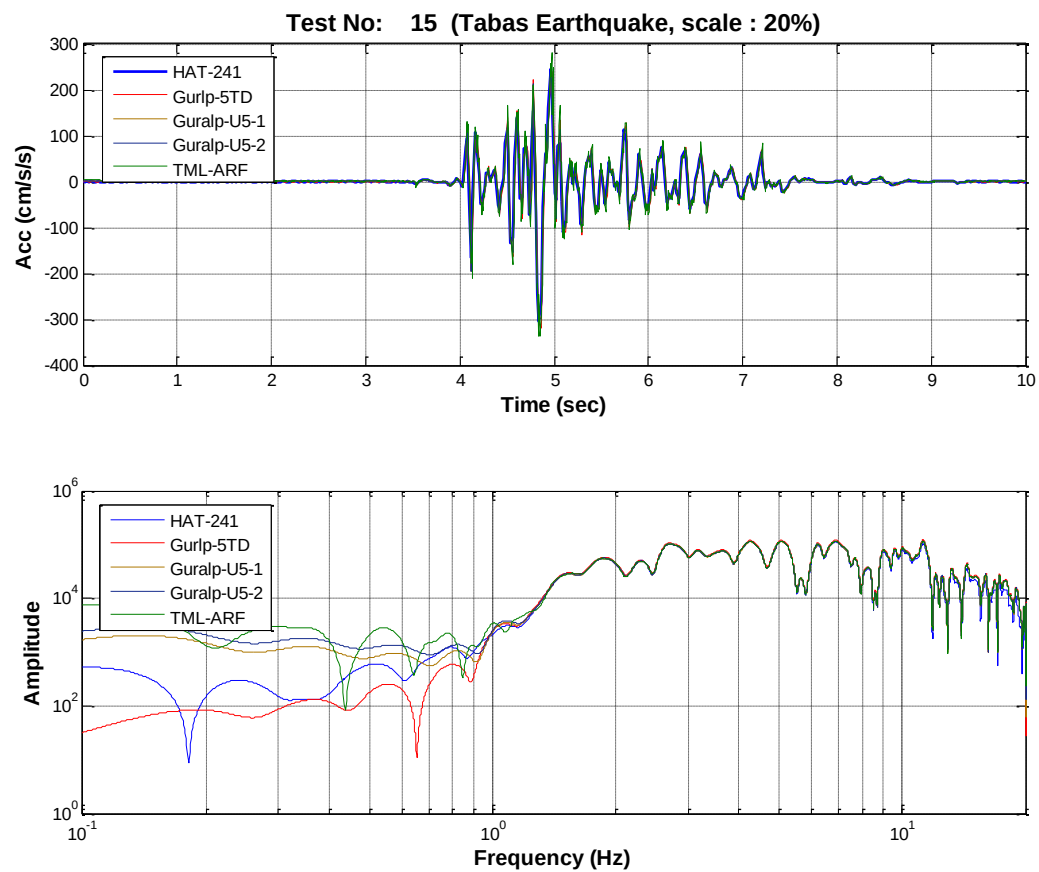
شکل ۱۹-۰: آزمایش میز لرزه با فرکانس 16 Hz و دامنه 0.1mm که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است



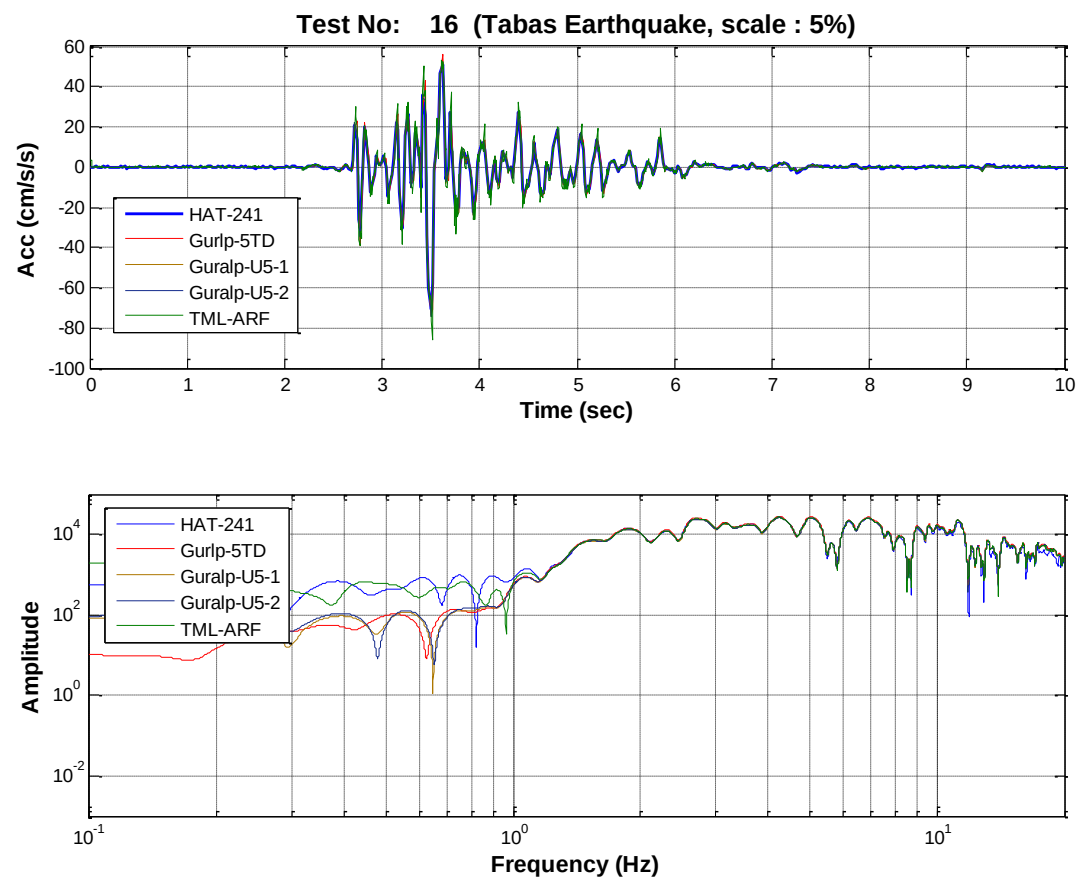
شکل ۲۰-۰: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Bam که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است



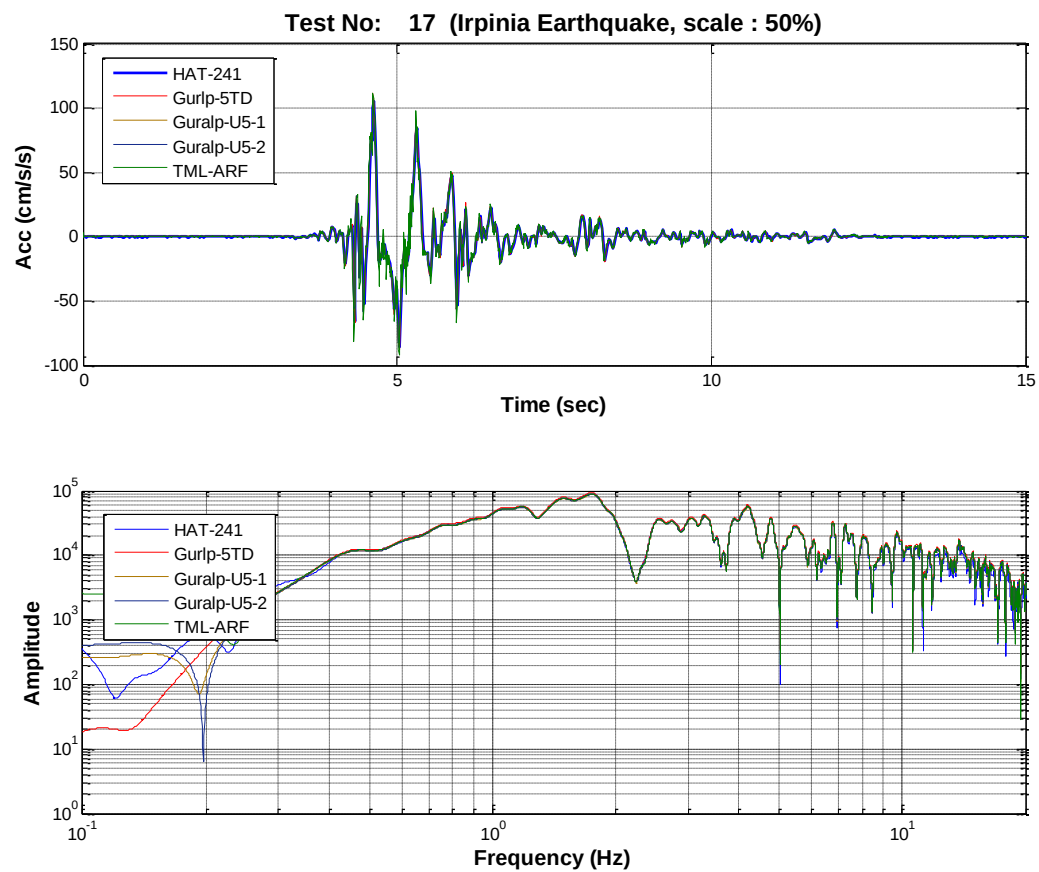
شکل ۲۱-۰: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Bam که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF A انجام شده است



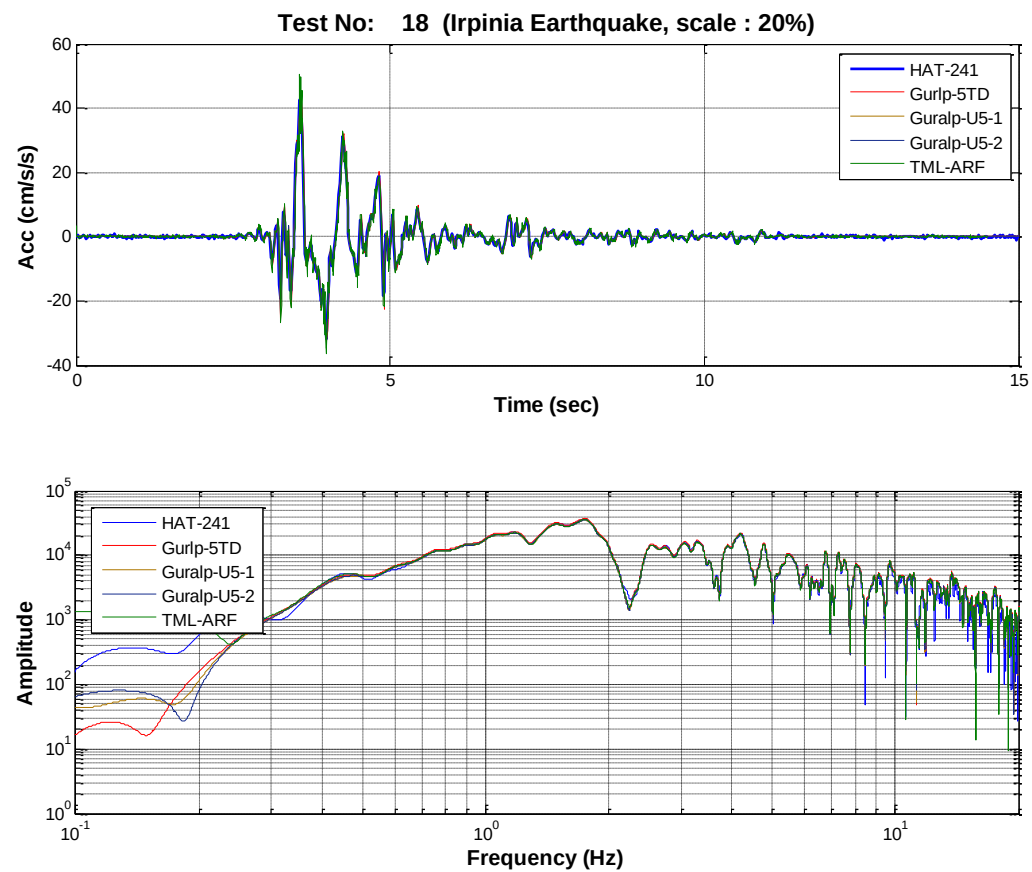
شکل ۲۲-۰: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Tabas که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



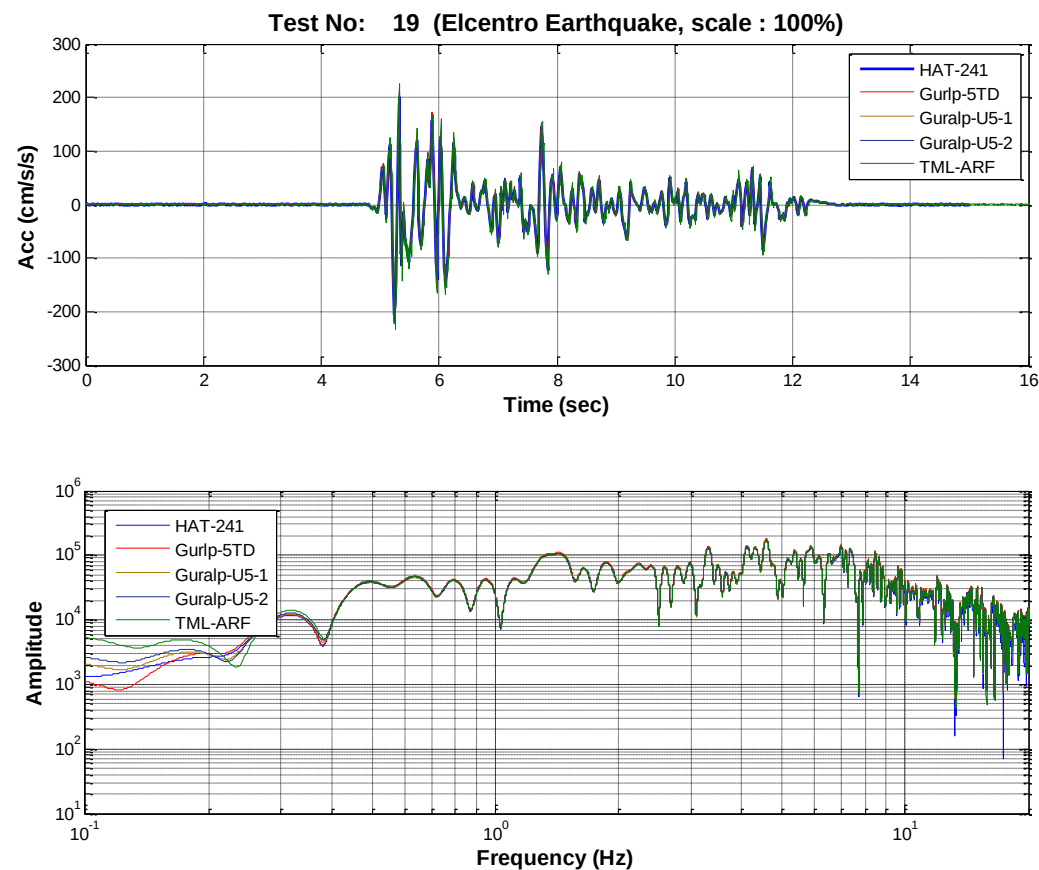
شکل ۲۳-۰: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Tabas که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



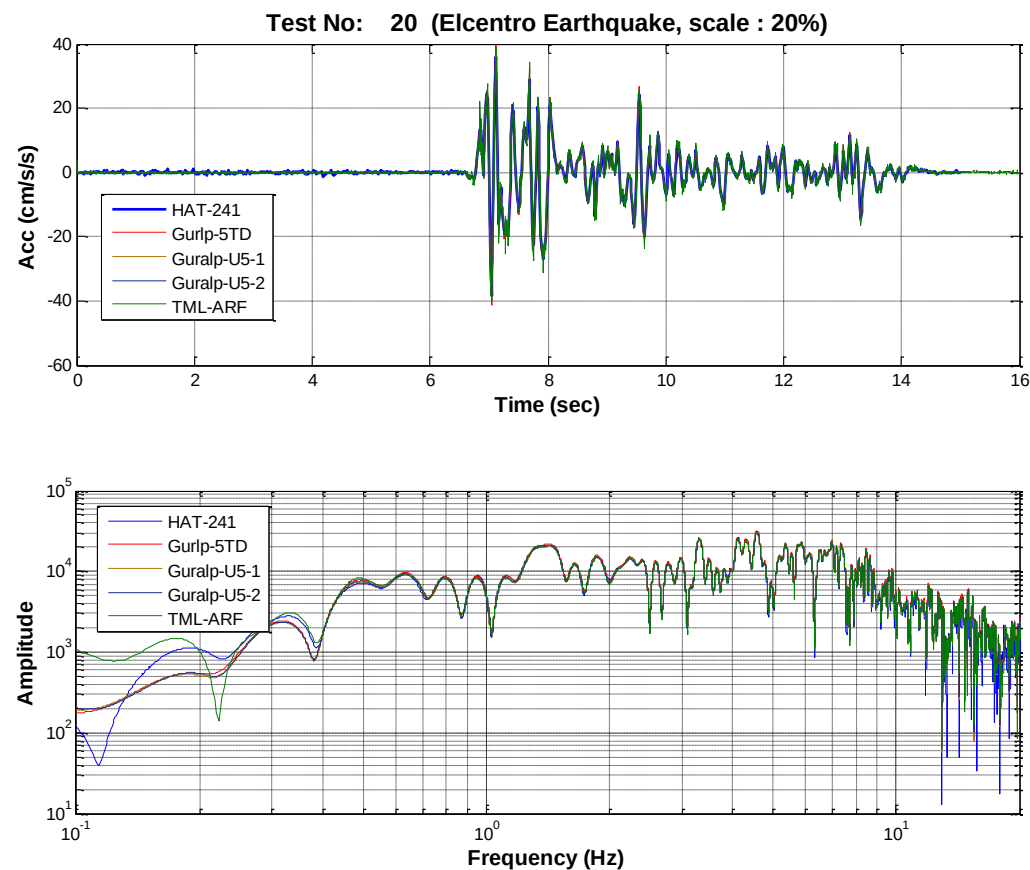
شکل ۰-۲۴: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Irpinia که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



شکل ۰-۲۵: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Irpinia که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



شکل ۲۶-۰: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Elcentro که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است



شکل ۰-۲۷: آزمایش میز لرزه برای رکورد زلزله Elcentro که توسط سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML-ARF انجام شده است

۴-۱) جمع بندی و نتیجه گیری

بطور کلی آزمایش های انجام شده بر روی سنسورها بیانگر این مطلب است که شتاب ثبت شده توسط سنسورها در غالب فرکانس ها و دامنه های آزمایشی مختلف بر هم منطبق می باشد. این موضوع بخصوص در مورد آزمایش های انجام شده با فرکانس پایین و دامنه کمتر بخوبی مشخص می باشد (شکل ۸-۰ الی شکل ۱۷-۰). در فرکانس های بالا بعنوان مثال ۱۶/۰ هرتز اختلاف شتاب های سنسورهای HAT، CMG-5TD، CMG-5U و TML ARF A بیشتر می باشد، که این موضوع می تواند ناشی از نحوه ی نصب سنسورها باشد که بر پاسخ های نهایی ثبت شده توسط سنسورهای مختلف تاثیر می گذارد (در فرکانس های بالا لرزش های اضافی در سنسورها ایجاد می گردد). ضمن اینکه باید به این نکته اشاره نموده که شتاب های ثبت شده توسط تمام شتابنگارها برای آزمایش هایی که موج اعمالی رکوردهای زلزله بوده انطباق مناسبی در هر دو حوزه زمانی و فرکانسی دارند (شکل ۲۰-۰ الی شکل ۲۷-۰) که به معنای عملکرد مناسب سنسورها در بازه فرکانس های مدنظر مهندسی می باشد.