

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه دکتری سازه

شناسایی میرایی سازه‌ای به کمک تستهای ارتعاش محیطی و یادگیری
عمیق نظارت نشده برای پایش سلامت سازه

دانشجو: حامد سرمست

استاد راهنما: دکتر حسن حاجی کاظمی

استاد مشاور: دکتر عباس کرم الدین

اردیبهشت ۱۴۰۲

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: پیشینه تحقیق

فصل سوم: سخت افزار

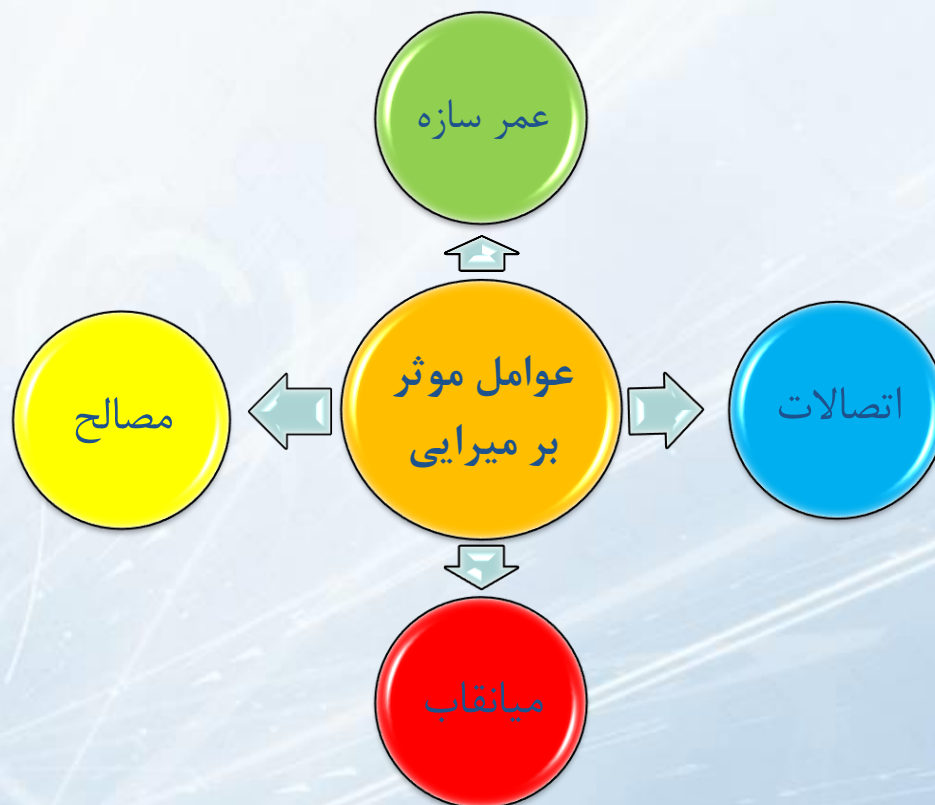
فصل چهارم: سازه‌های نمونه مورد مطالعه

فصل پنجم: مدل سازی

فصل ششم: یافته‌های نظری و تجربی

فصل هفتم: نتیجه گیری

اهمیت موضوع



کاربردهای میرایی در تحلیل سازه

- تحلیل استاتیکی خطی
- تحلیل استاتیکی غیرخطی
- تحلیل‌های دینامیکی طیفی
- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی
- بدست آوردن طیف طرح و طیف ویژه ساختگاه

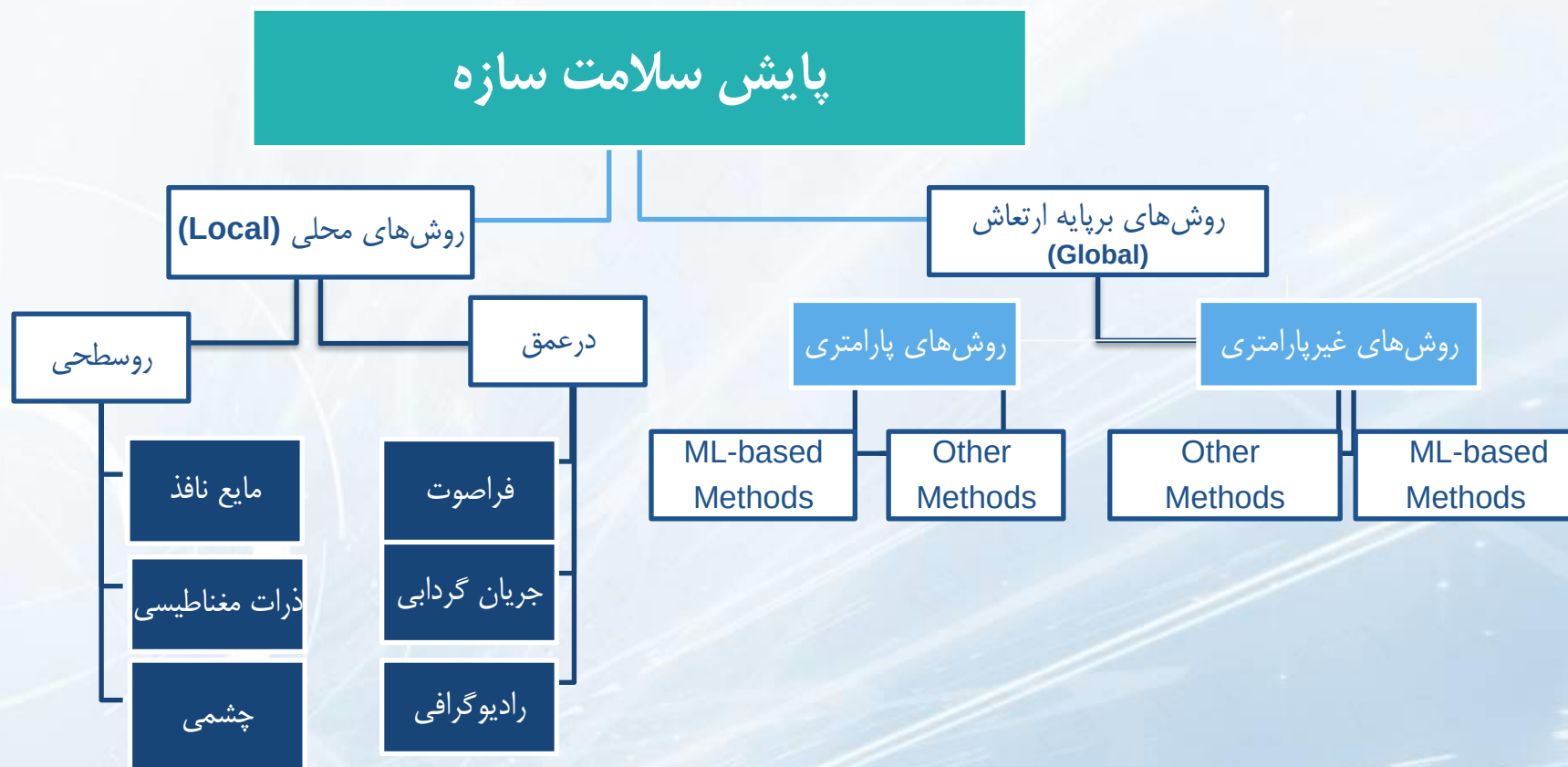
پایش سلامت سازه

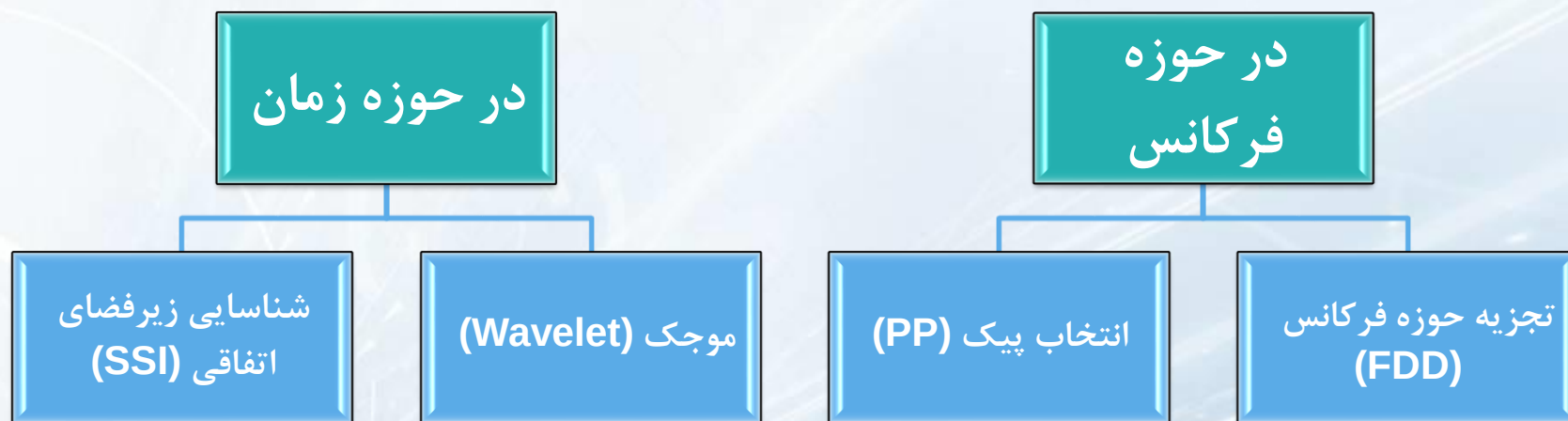
فرآیندی از ارزیابی وضعیت سلامت سازه و تخمین عمر باقیمانده

روش‌های پایش سلامت سازه



تقسیم‌بندی پایش سلامت سازه

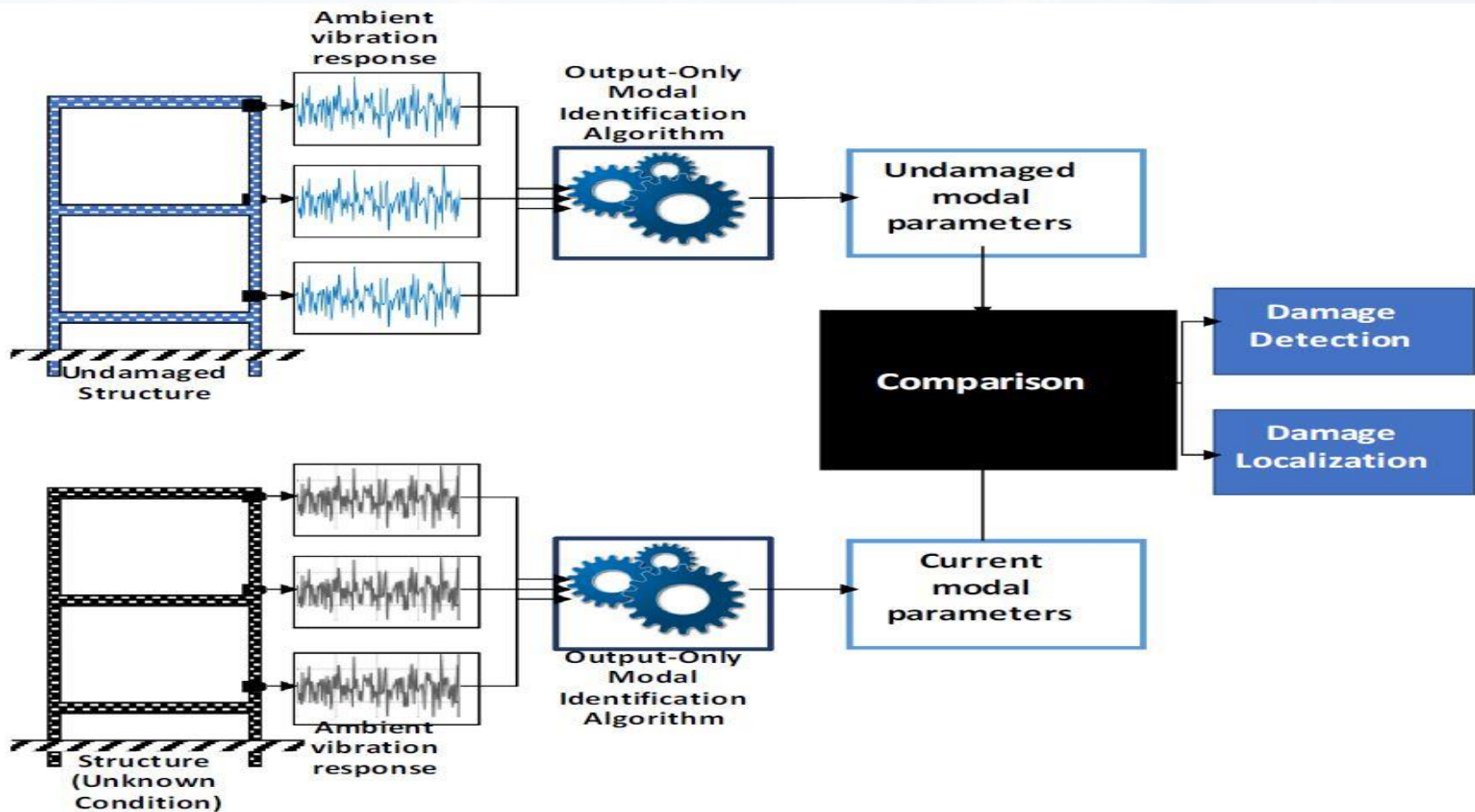




کاربرد داده در حوزه‌های مختلف

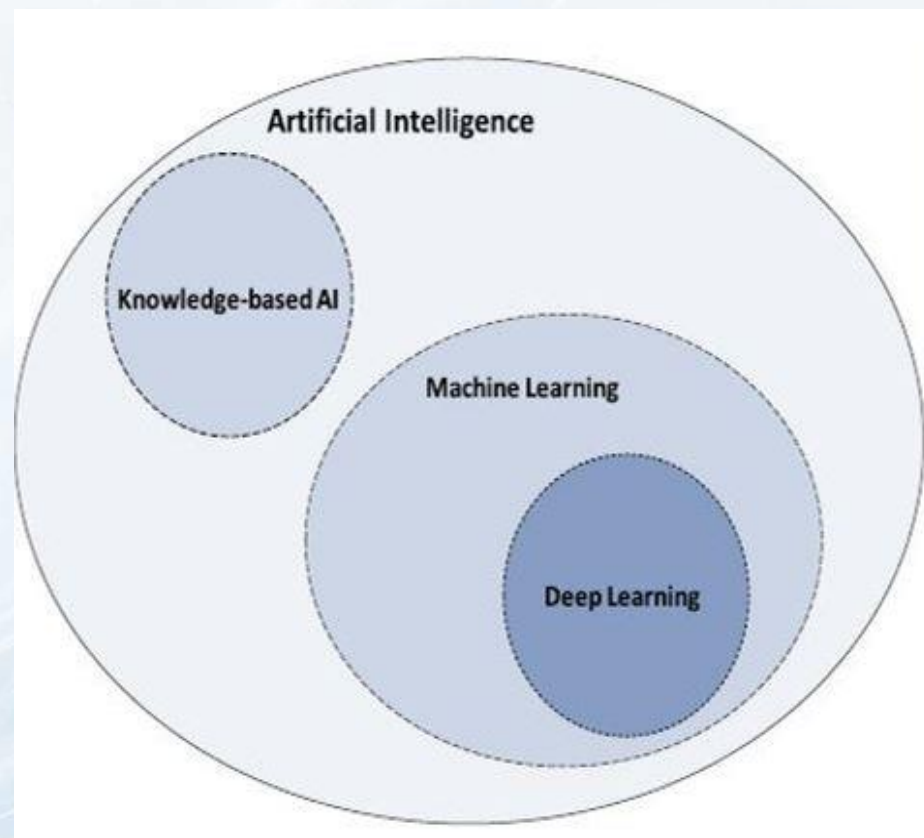


روند پایش سلامت سازه



هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و یادگیری عمیق

- Pattern Recognition
- Classification
- Regression
- Clustering
- Computer Vision



پیشینه تحقیق



- تصویر ساختمان واقع در شهر گرنوبل فرانسه تحت تست ارتعاش محیطی برای آزمایش ارتعاشات محیطی برای مدت ۱۵ دقیقه یا ۹۰۰ ثانیه رکورد شده بود، با نرخ نمونه برداری ۲۰۰ هرتز که کافی به نظر میرسید
- در ابتدا حرکت ساختمان هنگامی که تحت ارتعاش اجباری ناشی از تخریب پل که در نزدیکی ساختمان قرار داشت، قرار گرفت که بوسیله مدل مودال ارتعاش محیطی به خوبی پیش‌بینی شد
- سپس، شکل مودهای تجربی تعریف شده و حرکت ساختمان و رفتارشان تحت زلزله‌های مختلف شبیه‌سازی شدند و در نهایت پارامترهای مودال تجربی از ارتعاشات محیطی استخراج شد. در این تحقیق تنها دو مود اول در هر راستا، مورد مطالعه قرار گرفتند.

پیشینه تحقیق



- Baptista و همکاران تحقیق تجربی و تحلیلی روی ساختمان اداری ۱۶ طبقه ای که ۱۲ طبقه آن روی زمین قرار داشت، انجام دادند. ساختمان روی بستر آبرفتی قرار داشت و در نزدیکی رودخانه تاگوس در شهر لیسبون قرار داشت.
- برای بدست آوردن پارامترهای دینامیکی، تست ارتعاش محیطی صورت گرفته بود. برای مطالعه تحلیلی، مدل اجزای محدود ساختمان با استفاده از نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده بود.
- دو تکنیک انتخاب پیک برپایه تجزیه حوزه‌ی فرکانسی و شناسایی زیرفضای تصادفی برای استخراج مشخصه های دینامیکی بکار برده شده است. فرکانس برپایه روش حوزه زمانی های طبیعی شناسایی شده بوسیله این دو تکنیک تطابق خوبی با یکدیگر داشتند.

Current: $<10\text{mA}$

voltage: $3\text{V} \sim 6\text{V}$

Size: $15.24\text{mm} \times 15.24\text{mm} \times 2\text{mm}$

Measuring dimensions: Acceleration: 3-dimensional angular velocity: 3-dimensional

attitude angle: 3-dimensional

Range acceleration: $+2\text{g}, -2\text{g}$, angular velocity: $+250^\circ/\text{s}$

Stability: Acceleration: 0.001g , angular speed: $0.02^\circ/\text{s}$

Attitude measurement Stability: 0.01°

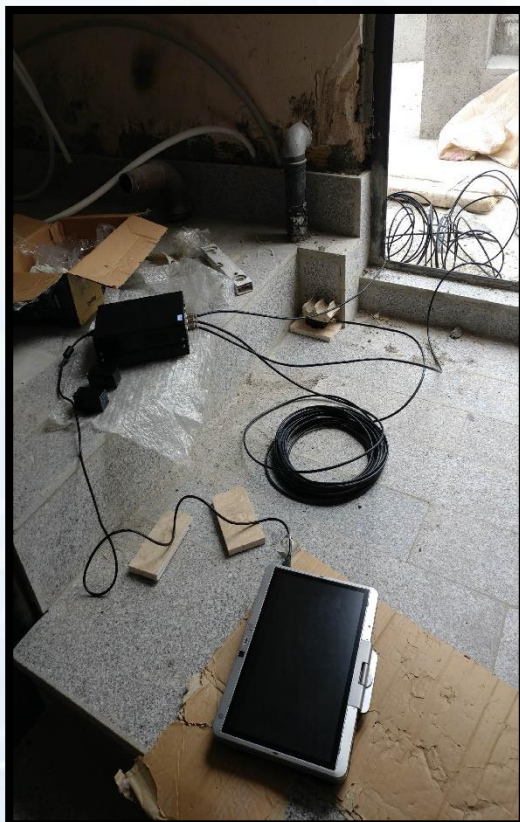
Data output frequency: $100\text{Hz}(\text{baud } 115200) / 20\text{Hz}(\text{baud } 9600)$

Data Interface: Serial(TTL level), I2C (directly connected MPU6050, no gesture output)

جدول ۱.۳: مشخصات سنسورهای شتاب سنج ممز



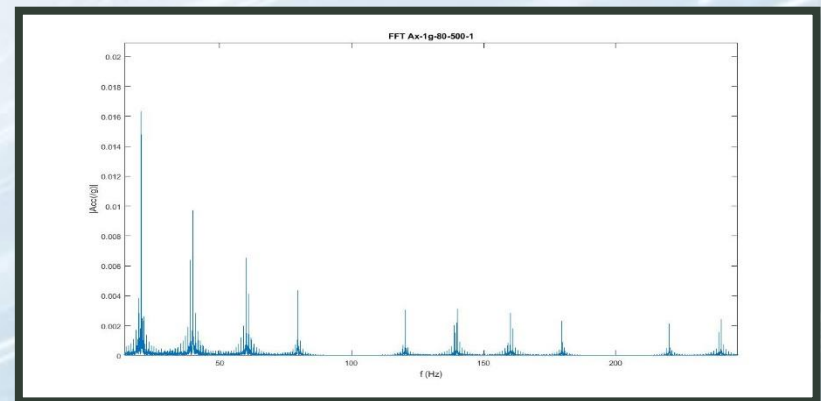
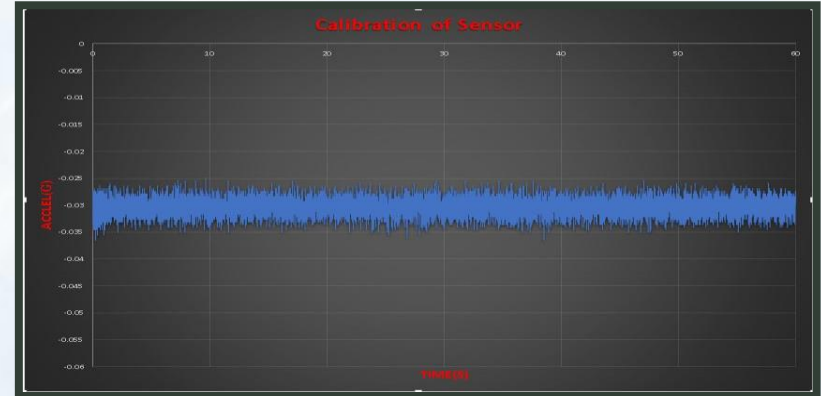
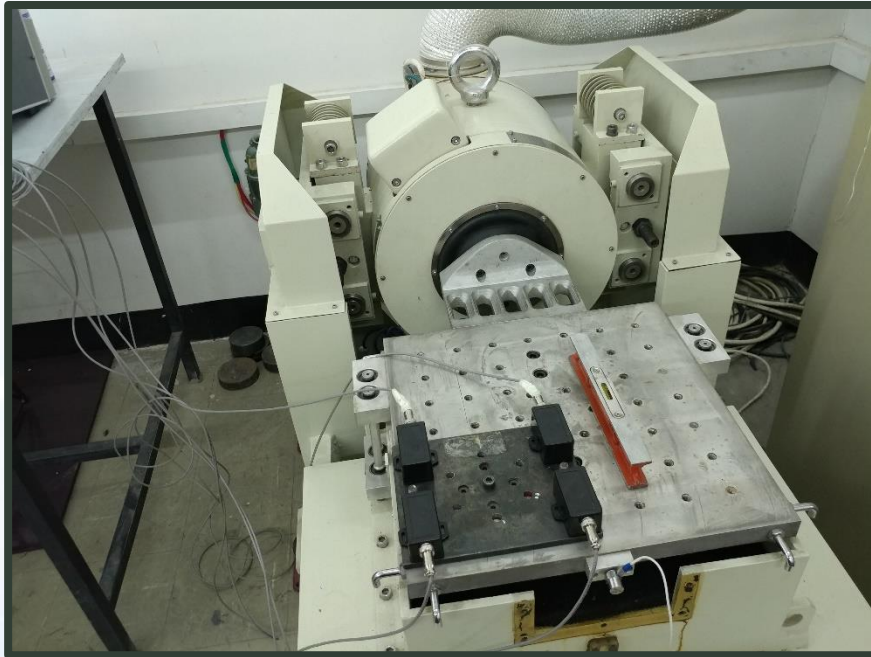
تست ارتعاش محیطی به وسیله دستگاه اکتساب داده اولیه



کالیبراسیون دستگاه اکتساب داده اولیه



آزمایشگاه ارتعاشات و آنالیز مودال دانشگاه تبریز



تجهیزات تست ارتعاش محیطی

دستگاه اکتساب داده ۴ کاناله

شتاب سنج های سه محوره و تک محوره

لپ تاپ و نرم افزار

کابل های بین سنسورها و دستگاه اکتساب داده شامل سیم های ۱۰ متری و ۳۰ متری

تجهیزات تست ارتعاش محیطی

جدول ۲.۳: مشخصات دستگاه اکتساب داده

Resolution	24 Bit
Communication Interface	Ethernet
No of Channels	4/8/16 Channels in one box
Type of Measurement	Differential
Synchnorization	True Simultaneous
Sampling Rate	2 kHz (2000sps) / Channel
Filtering	Anti-Aliasing / Low Pass
Dynamic Range	140dB
Measurement Range	+17.2 mV to +12 V , -17.2 mV to -12 V
Channel Gain	1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
Power	12V DC , maximum 40W
Microprocessor	ARM Cortex , embedded Linux Operating System

جدول ۳.۳: مشخصات دستگاه اکتساب داده استفاده شده در این تحقیق



تجهیزات تست ارتعاش محیطی

شتاب سنج های تک محوره



X_1144

X_3184

شتاب سنج سه محوره

X

Y

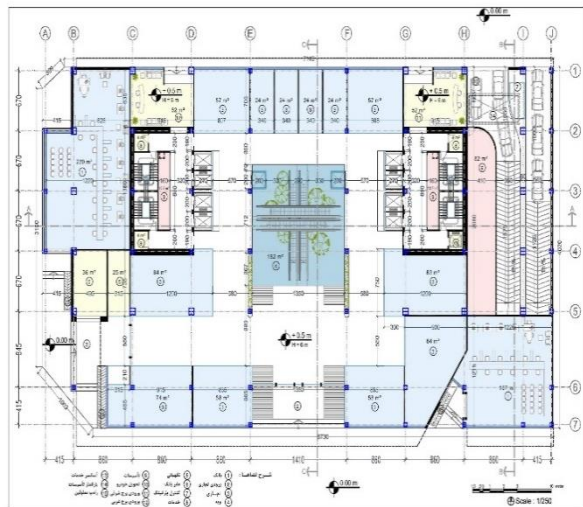
Z



نحوه اتصال سنسورها به کف سازه‌ها

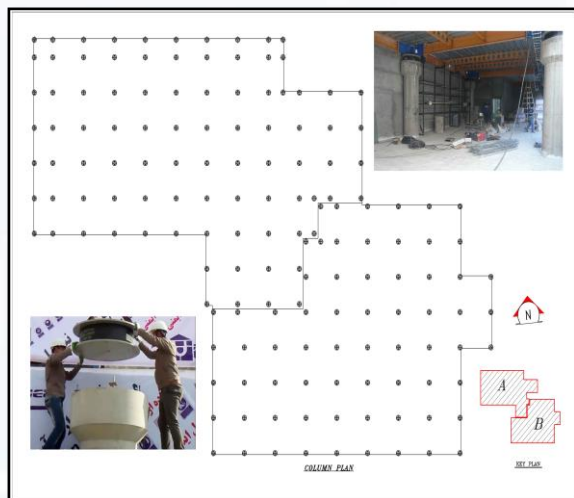


مجتمع اداری تجاری کوه نور



- موقعیت در میدان جانباز شهر مشهد
- زیربنا ۶۵۲۲۷ متر مربع
- تعداد زیرزمین ۶ طبقه
- تعداد طبقات روی زمین ۲۵
- تراز منفی ۲۲,۵
- تراز مثبت ۱۲۶ متر
- اسکلت فلزی با دو هسته بتنی مرکزی و مهاربندهای بیرونی

بیمارستان امام حسین (ع)



- موقعیت قسمت غربی شهر مشهد
- زیربنا ۳۰۰۰۰ متر مربع در دو بلوک A, B
- تعداد طبقات ۶ طبقه
- تراز منفی ۴,۶۵
- تراز مثبت ۲۳,۷۵ متر
- اسکلت فلزی قاب خمشی همراه با جداساز لرزه‌ای
- ۵۵ جداساز با هسته سربی
- ۸۸ جداساز با میرایی زیاد
- درز بین دو بلوک ۳۵ سانتی متر

ساختمان مسکونی محمدیه ۵

- موقعیت در محله محمدیه شهر مشهد

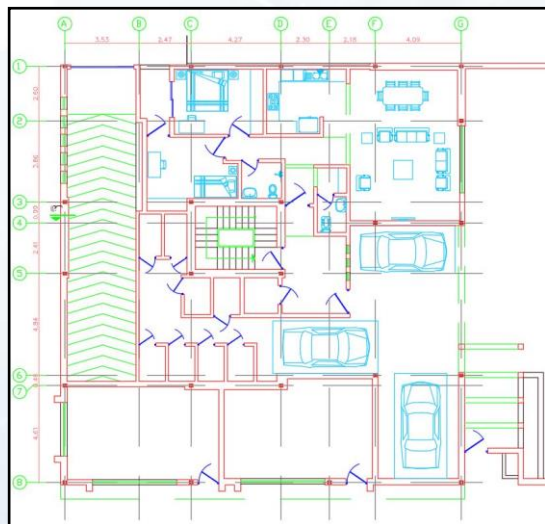
- زیربنا ۶۵۲۲۷ متر مربع

- تعداد طبقات ۶ طبقه

- تراز منفی ۳,۵

- تراز مثبت ۱۸,۶۵ متر

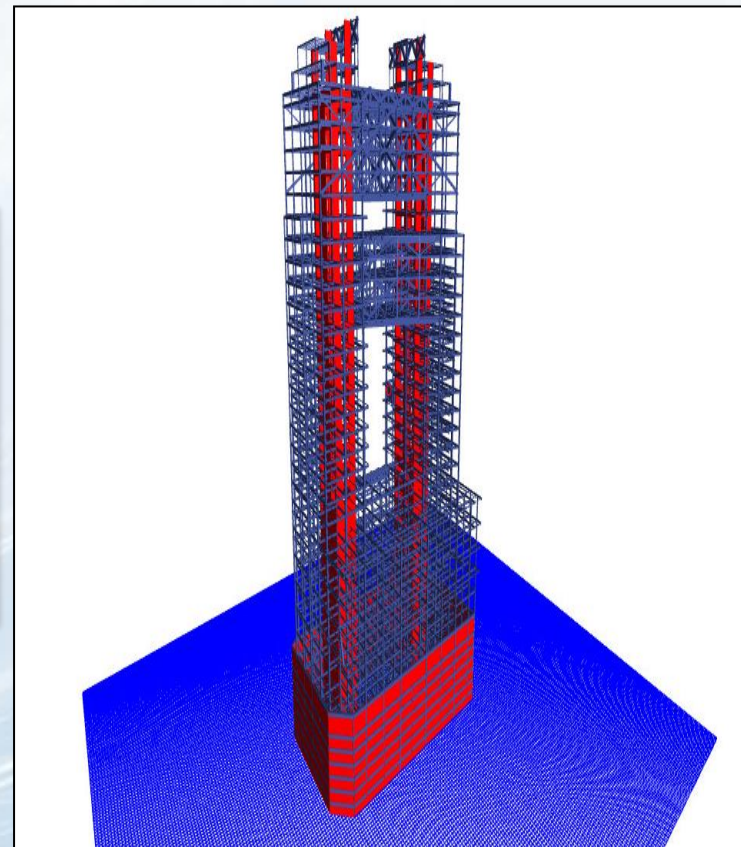
- اسکلت فلزی با دیوار برشی بتنی



نتایج تحلیل مودال سازه مجتمع اداری تجاری کوه نور

جدول ۱.۵: فرکانس‌ها و پریودهای بدست آمده از نرم افزار ETABS

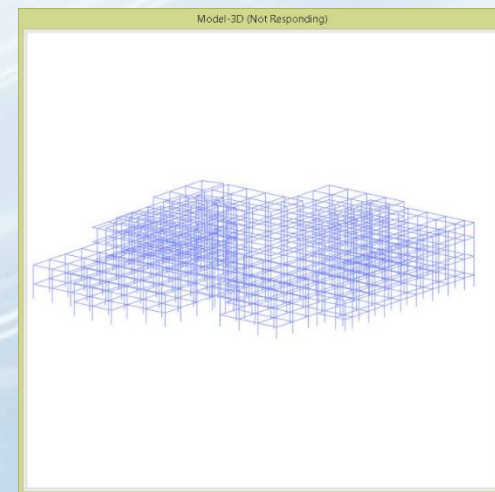
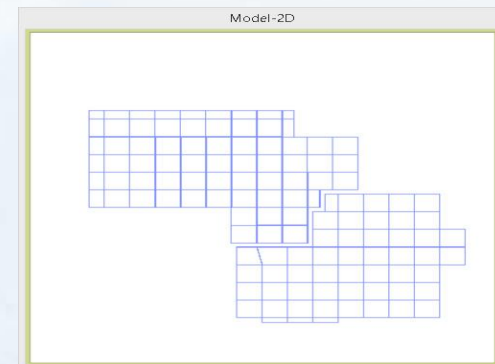
Modes	Frequency(Hz)	Period (Sec)	Damping(%)	State
First	0.415	2.41	-	Torsional (Rz)
Second	0.589	1.697	-	Local
Third	0.831	1.203	-	Translational (X)
Fourth	1.045	0.957	-	Translational (Y)
Fifth	1.095	0.913	-	Translational (Y)
Sixth	1.121	0.892	-	Translational (Y)
Seventh	1.453	0.688	-	Torsional (Rz)



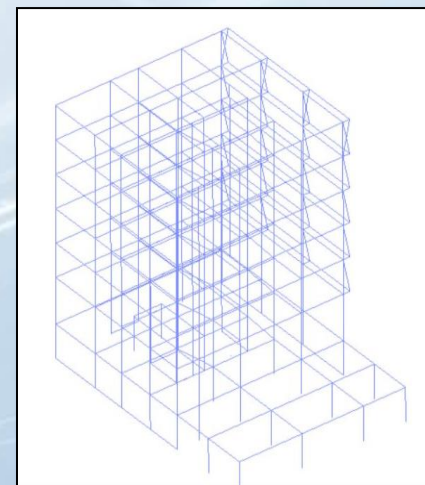
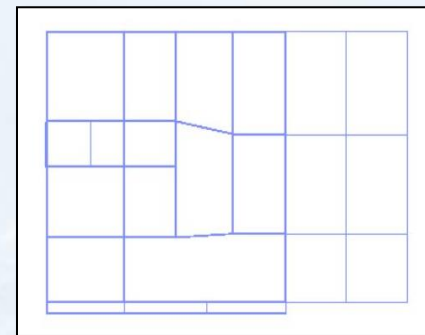
نتایج تحلیل مودال سازه بیمارستان امام حسین (ع)

جدول ۱۱.۵: فرکانس‌ها و میرایی بدست آمده از نرم افزار OPENSEES

Modes	Frequency(Hz)	Period (Sec)	Damping(%)
First	0.839	1.192	-
Second	0.867	1.153	-
Third	1.078	0.927	-
Fourth	2.079	0.481	-
Fifth	2.188	0.457	-
Sixth	3.597	0.278	-



نتایج تحلیل مودال سازه ساختمان مسکونی محمدیه ۵

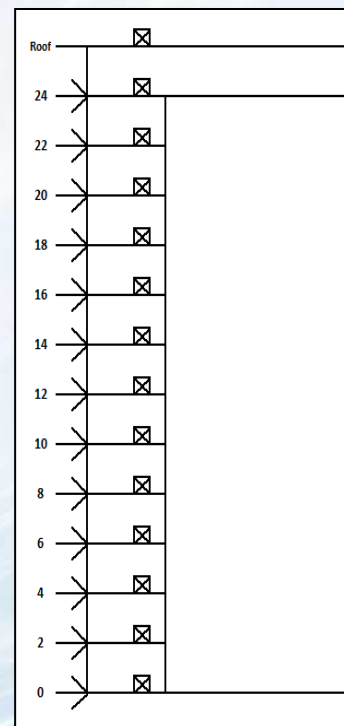
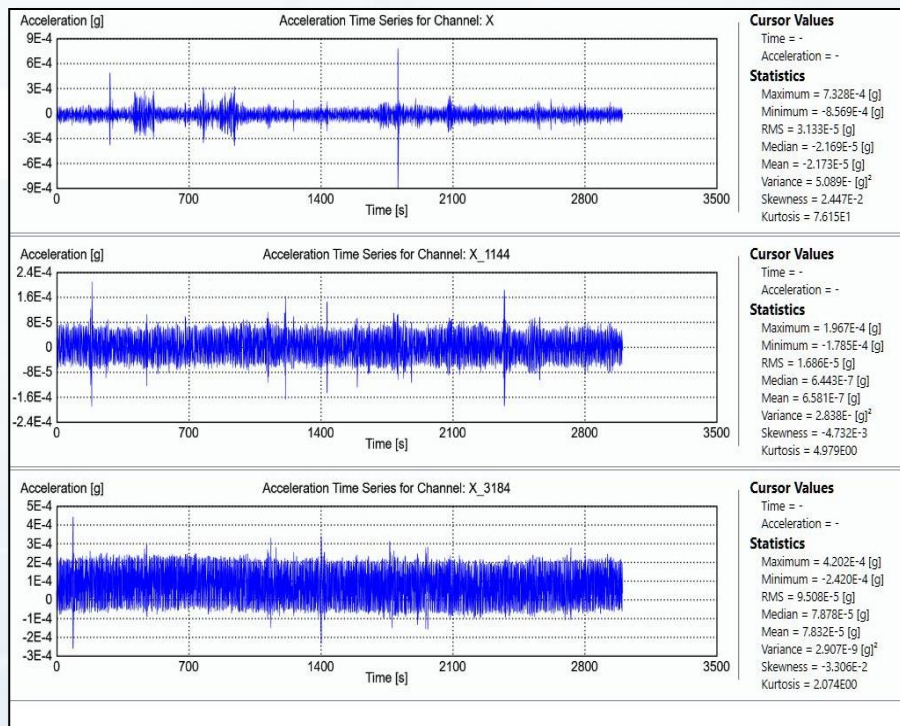


جدول ۱۲.۵: فرکانس‌ها و میرایی بدست آمده از نرم افزار OPENSEES

Modes	Frequency(Hz)	Period (Sec)	Damping(%)
First	0.921	1.086	-
Second	1.745	0.573	-
Third	2.487	0.402	-

تست ارتعاش محیطی مجتمع اداری تجاری کوه نور

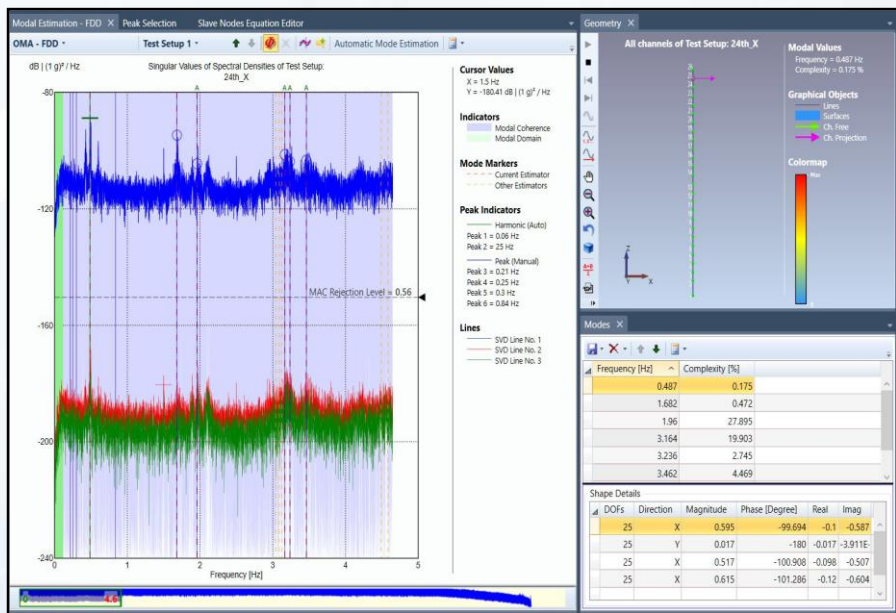
ARTEMIS Modal 6.0 Software



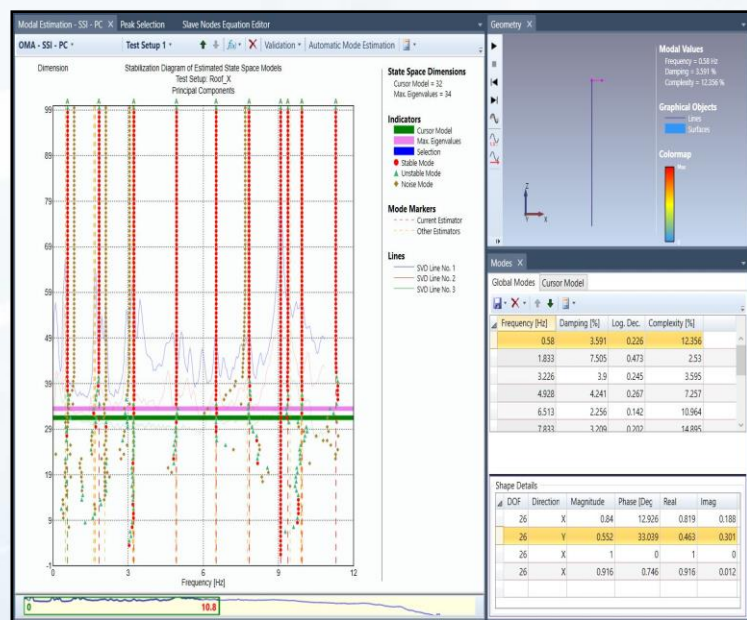
شناسایی سیستم در حوزه فرکانس ساختمان کوه نور

جدول ۲.۵: فرکانس ها و میرایی بدست آمده برای سه طبقه فوقانی ساختمان کوه نور با روش های مختلف در حوزه فرکانس

Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	FDD	0.487	2.053	—
	EFDD	0.487	2.053	0.055
	CFDD	0.487	2.053	0.373
Second	FDD	1.682	0.594	—
	EFDD	1.682	0.594	0.02
	CFDD	1.682	0.594	—
Third	FDD	1.96	0.51	—
	EFDD	1.969	0.51	0.028
	CFDD	1.969	0.51	0.078
Fourth	FDD	3.164	0.316	—
	EFDD	3.19	0.315	0.02
	CFDD	3.19	0.315	0.008



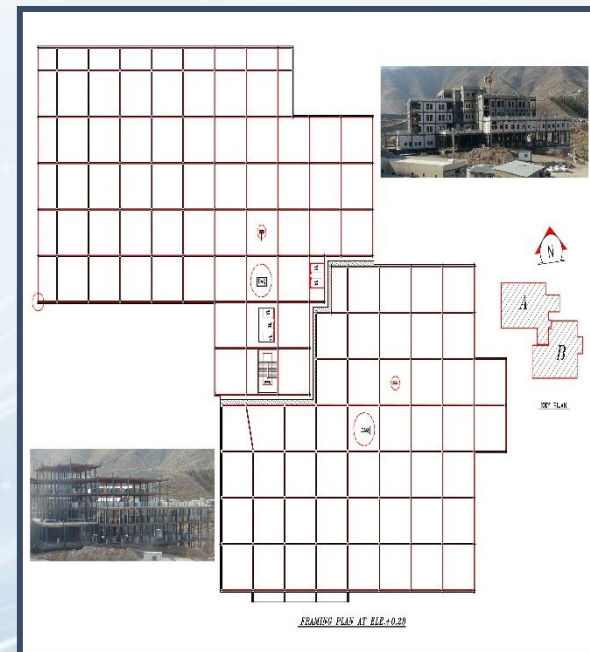
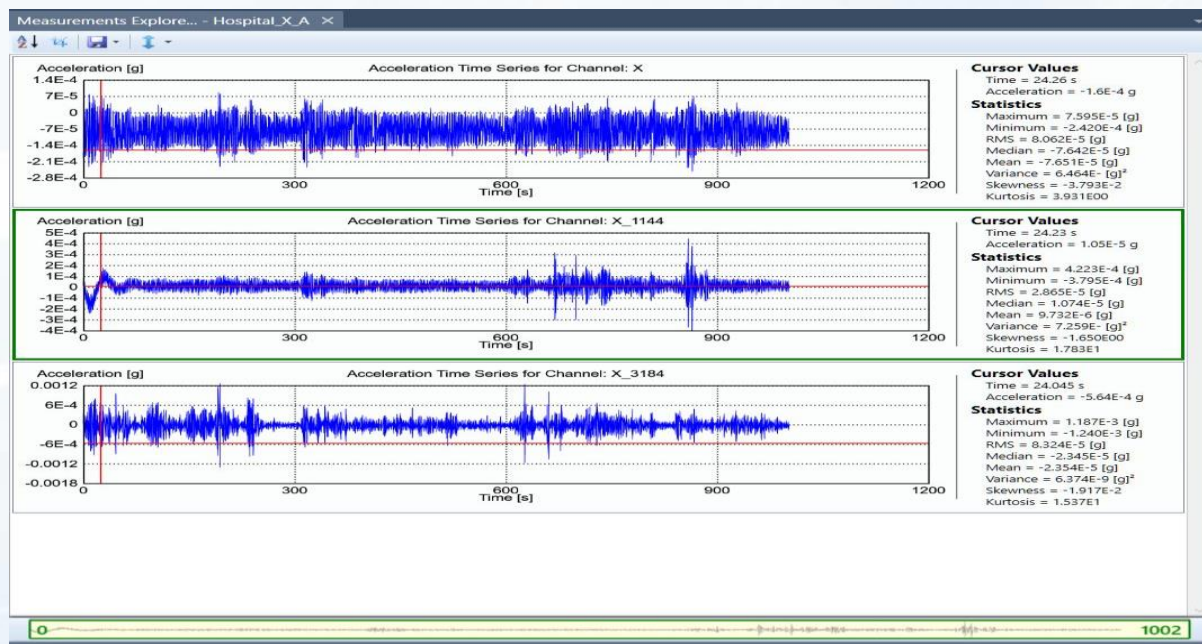
شناسایی سیستم در حوزه زمان ساختمان کوه نور



جدول ۳.۵: فرکانسها و میراییهای بدست آمده برای سه طبقه فوقانی ساختمان کوه نور با روشهای مختلف شناسایی زیرفضای اتفاقی

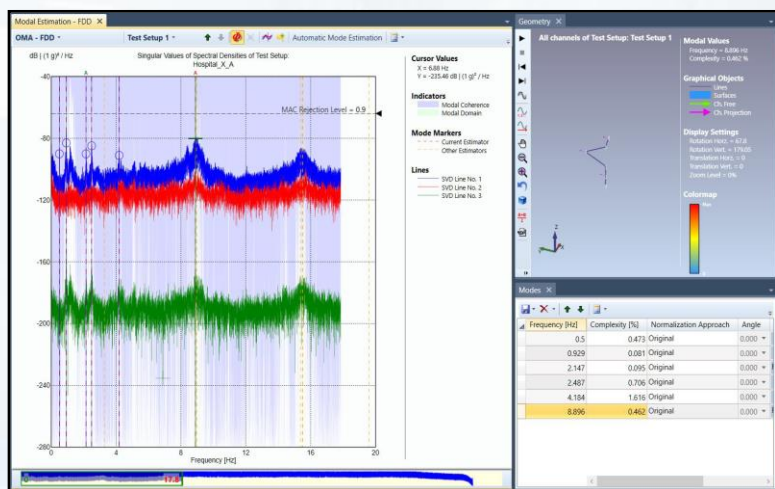
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	SSI/UPC	0.509	1.965	8.531
	SSI/CVA	0.58	1.724	3.591
	SSI/PC	0.88	1.136	4.761
	SSI/UPCX	2.201	0.454	2.749
Second	SSI/UPC	0.799	1.252	10.66
	SSI/CVA	1.833	0.546	7.505
	SSI/PC	1.625	0.615	2.433
	SSI/UPCX	2.201	0.454	2.749
Third	SSI/UPC	1.836	0.545	5.989
	SSI/CVA	2.074	0.482	3.978
	SSI/PC	2.107	0.475	3.226
	SSI/UPCX	2.201	0.454	2.749
Fourth	SSI/UPC	2.121	0.471	3.591
	SSI/CVA	3.209	0.312	4.622
	SSI/PC	3.134	0.319	9.602
	SSI/UPCX	2.201	0.454	2.749

تست ارتعاش محیطی بیمارستان امام حسین (ع)



جدول ۵.۵: فرکانس ها و میرایی بدست آمده برای ساختمان بیمارستان با روش های مختلف در حوزه فرکانس

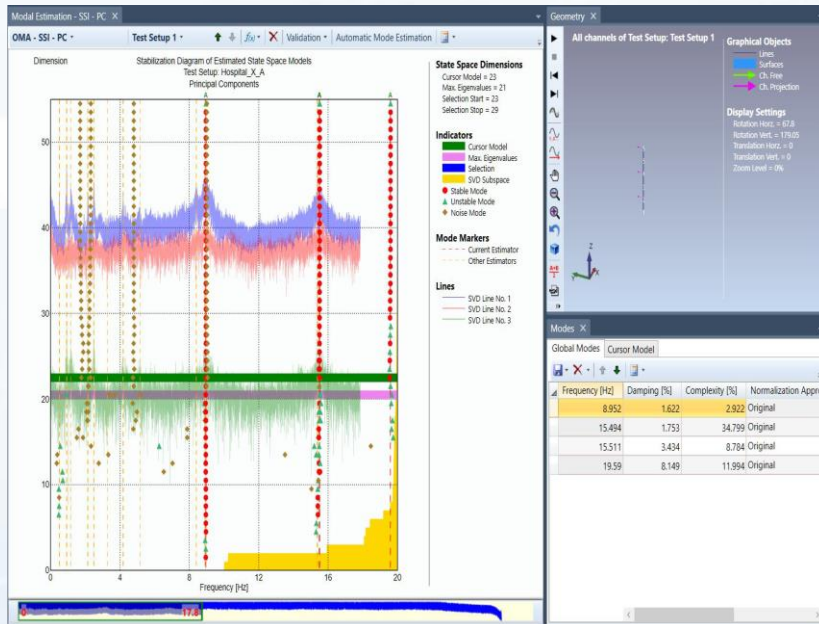
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	FDD	0.877	1.14	—
	EFDD	0.878	1.139	0.231
	CFDD	0.878	1.139	0.278
Second	FDD	0.923	1.083	—
	EFDD	0.926	1.08	0.369
	CFDD	0.926	1.08	1.181
Third	FDD	2.487	0.402	—
	EFDD	2.496	0.4	0.592
	CFDD	2.493	0.401	0.257
Fourth	FDD	4.146	0.241	—
	EFDD	4.146	0.241	0.095
	CFDD	4.165	0.24	0.048



شناسایی سیستم حوزه زمان ساختمان بیمارستان

جدول ۶.۵: فرکانس ها و میرایی بدست آمده برای ساختمان بیمارستان با روش های مختلف شناسایی زیرفضای
اتفاقی با نرم افزار ARTeMIS

Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	SSI/UPC	0.895	1.117	1.793
	SSI/CVA	0.895	1.117	1.138
	SSI/PC	2.201	0.454	2.749
Second	SSI/UPC	1.009	0.991	8.978
	SSI/CVA	2.156	0.464	2.501
	SSI/PC	2.542	0.393	1.934
Third	SSI/UPC	2.19	0.456	3.537
	SSI/CVA	2.529	0.395	1.696
	SSI/PC	3.142	0.318	2.162
Fourth	SSI/UPC	2.562	0.39	2.125
	SSI/CVA	5.026	0.199	2.49
	SSI/PC	5.051	0.198	1.943



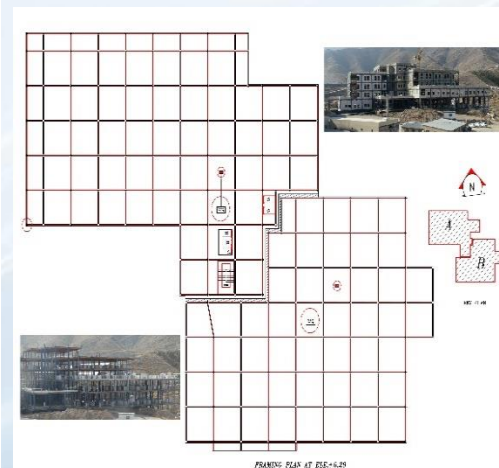
شناسایی سیستم حوزه زمان و فرکانس ساختمان بیمارستان

فرکانس ها و میرایی بدست آمده با روش های مختلف تجزیه حوزه فرکانس با نرم افزار ARTeMIS

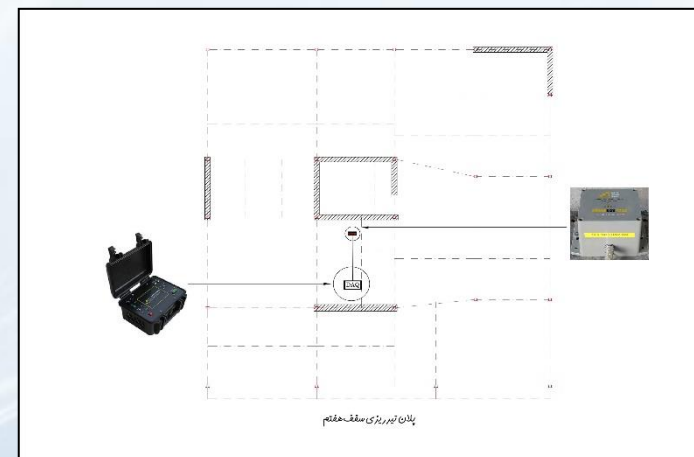
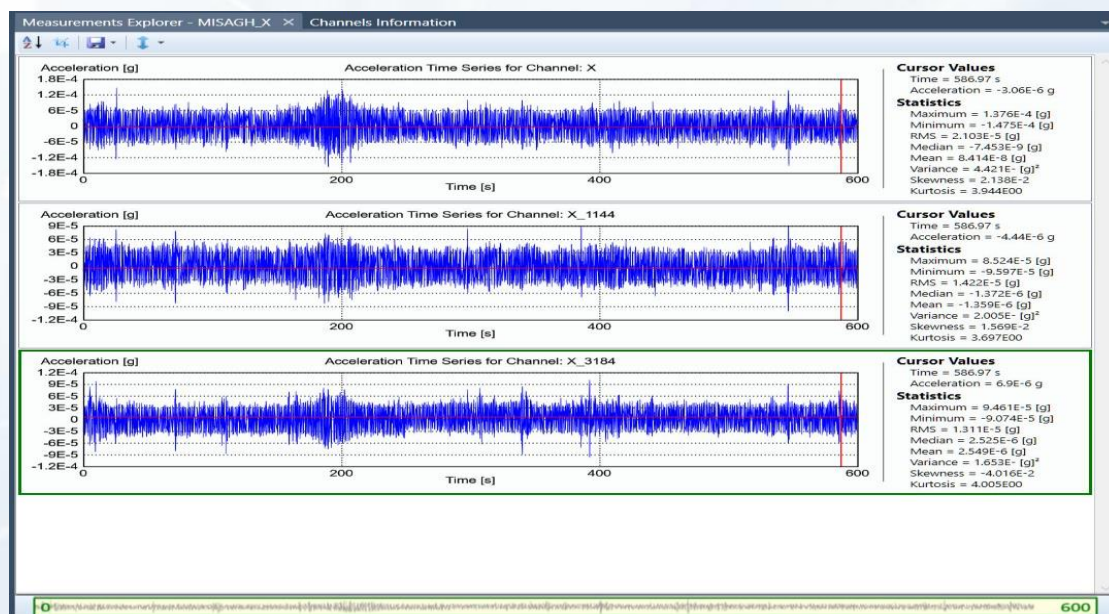
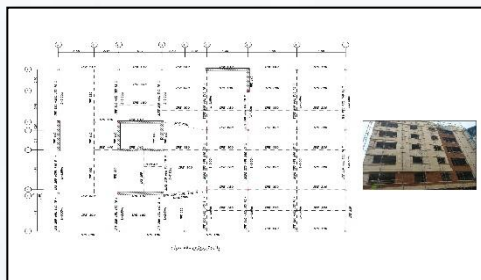
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	FDD	0.877	1.14	-
	EFDD	0.878	1.139	0.231
	CFDD	0.878	1.139	0.278
Second	FDD	0.923	1.083	-
	EFDD	0.926	1.08	0.369
	CFDD	0.926	1.08	1.181
Third	FDD	2.487	0.402	-
	EFDD	2.496	0.4	0.592
	CFDD	2.493	0.401	0.257
Fourth	FDD	4.146	0.241	-
	EFDD	4.146	0.241	0.095
	CFDD	4.165	0.24	0.048

فرکانس ها و میرایی بدست آمده با روش های مختلف شناسایی زیرفضای انتفاقی با نرم افزار ARTeMIS

Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	SSI/UPC	0.895	1.117	1.793
	SSI/CVA	0.895	1.117	1.138
	SSI/PC	2.201	0.454	2.749
Second	SSI/UPC	1.009	0.991	8.978
	SSI/CVA	2.156	0.464	2.501
	SSI/PC	2.542	0.393	1.934
Third	SSI/UPC	2.19	0.456	3.537
	SSI/CVA	2.529	0.395	1.696
	SSI/PC	3.142	0.318	2.162
Fourth	SSI/UPC	2.562	0.39	2.125
	SSI/CVA	5.026	0.199	2.49
	SSI/PC	5.051	0.198	1.943

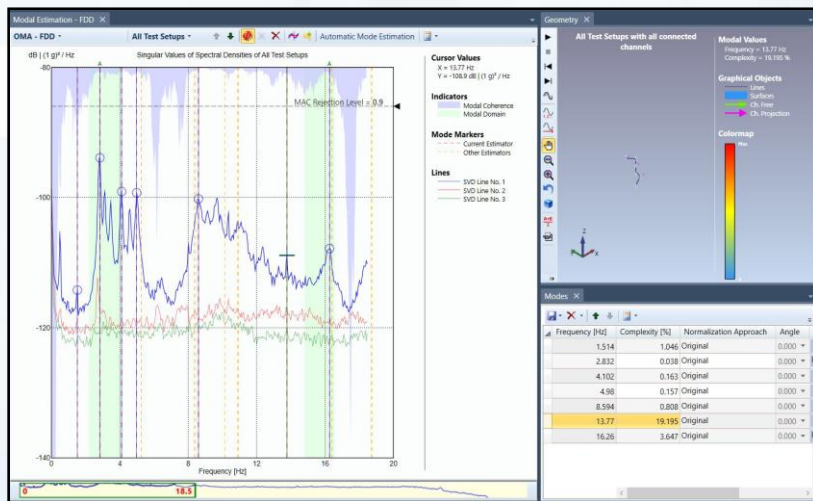


تست ارتعاش محیطی ساختمان مسکونی محمدیه ۵





شناسایی سیستم حوزه فرکانس ساختمان محمدیه ۵ در راستای طولی



جدول ۱۳.۵: فرکانس‌ها و میرایی بدست آمده با روش‌های مختلف تجزیه حوزه فرکانس با نرم افزار ARTeMIS

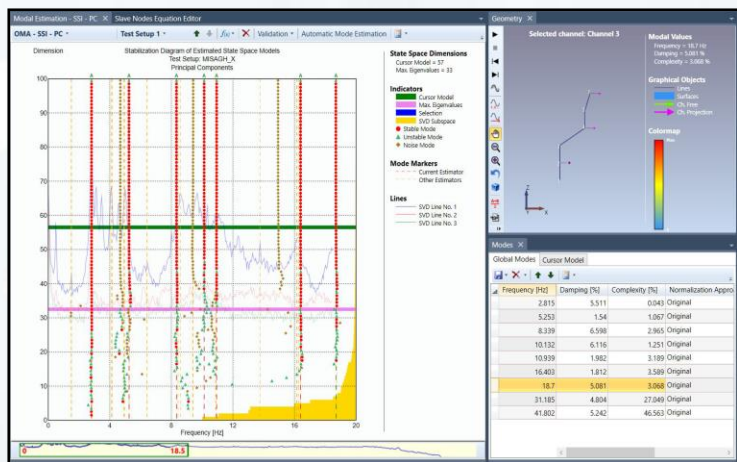
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	FDD	0.877	1.14	-
	EFDD	0.878	1.139	0.231
	CFDD	0.878	1.139	0.278
Second	FDD	0.923	1.083	-
	EFDD	0.926	1.08	0.369
	CFDD	0.926	1.08	1.181
Third	FDD	2.487	0.402	-
	EFDD	2.496	0.4	0.592
	CFDD	2.493	0.401	0.257
Fourth	FDD	4.146	0.241	-
	EFDD	4.146	0.241	0.095
	CFDD	4.165	0.24	0.048

جدول ۱۴.۵: مقادیر بدست آمده در دو راستای طولی و عرضی ساختمان مسکونی محمدیه ۵

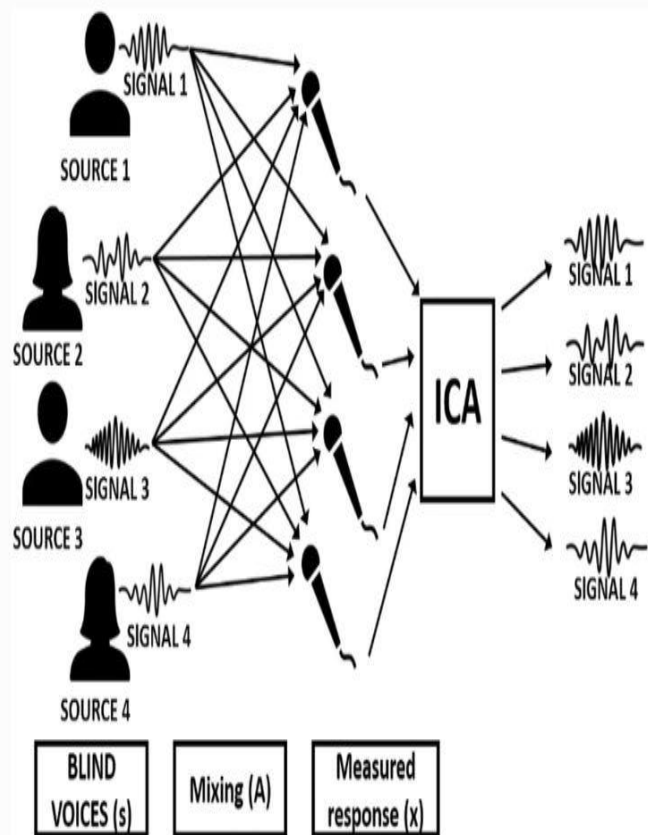
شناسایی سیستم حوزه زمان ساختمان محمدیه ۵ در راستای طولی

جدول ۹.۵: فرکانس‌ها و میرایی بدست آمده برای ساختمان محمدیه ۵ با روش‌های مختلف شناسایی زیرفضای
اتفاقی با نرم افزار ARTEMIS

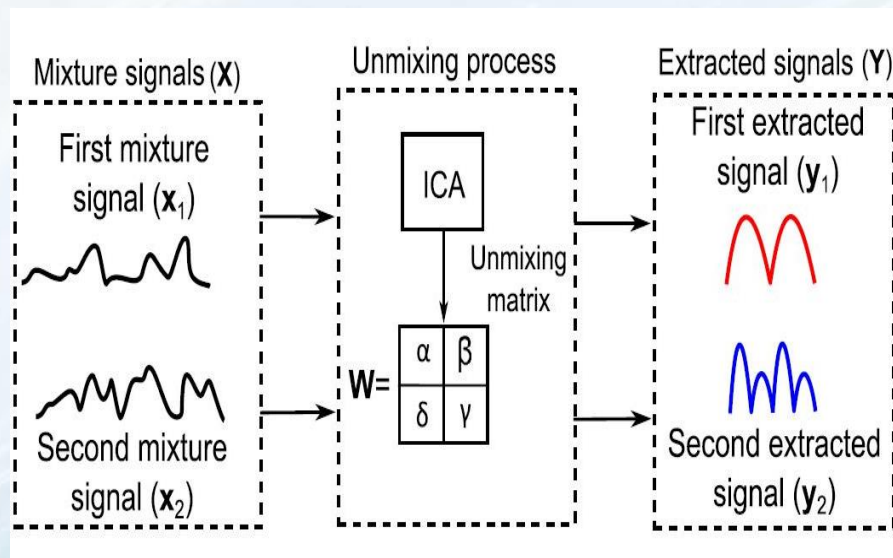
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
First	SSI/UPC	1.514	0.661	3.656
	SSI/CVA	1.402	0.713	4.654
	SSI/PC	1.551	0.645	3.245
Second	SSI/UPC	2.887	0.346	2.995
	SSI/CVA	2.912	0.343	1.972
	SSI/PC	2.886	0.347	1.684
Third	SSI/UPC	3.256	0.307	6.423
	SSI/CVA	3.145	0.318	0.402
	SSI/PC	3.218	0.311	6.1
Fourth	SSI/UPC	8.428	0.119	7.383
	SSI/CVA	9.83	0.102	6.1
	SSI/PC	9.083	0.11	9.562



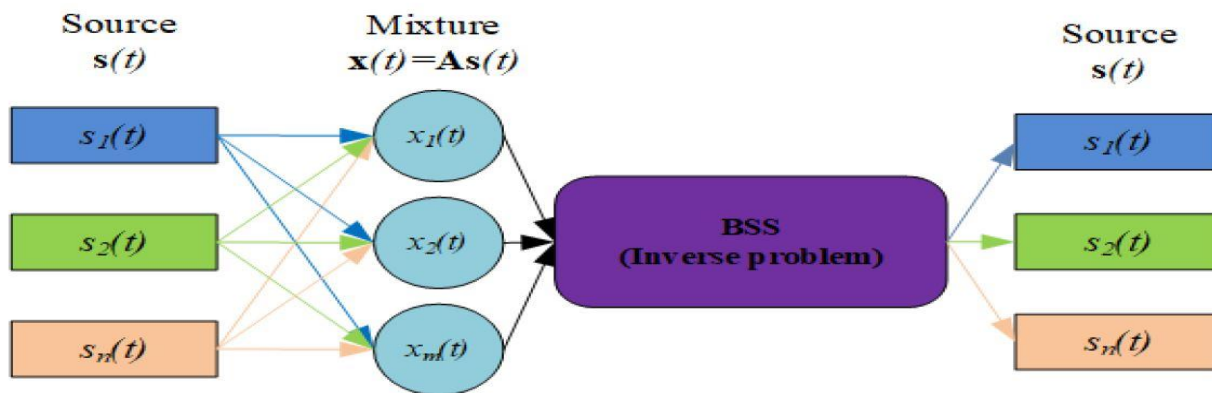
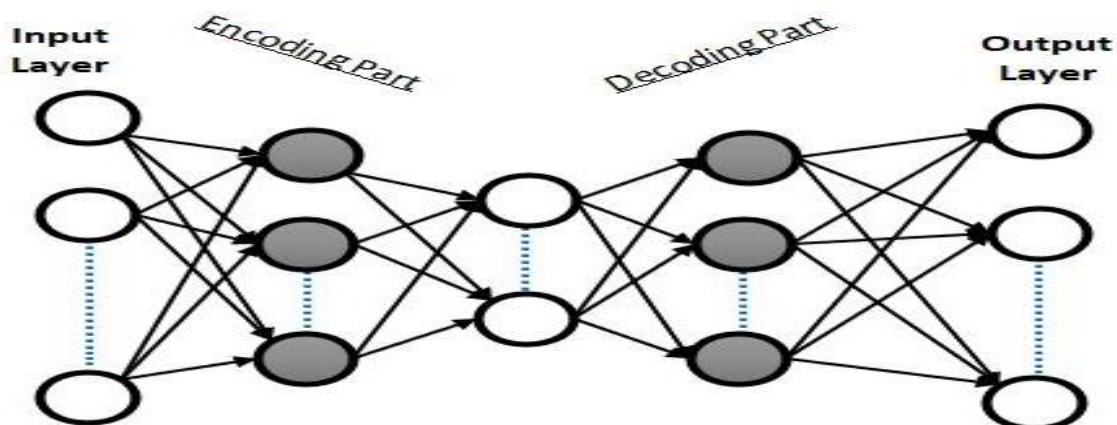
تحلیل مؤلفه مستقل در یادگیری عمیق نظارت نشده



The schematic drawing of the Cocktail party problem.



تحلیل مؤلفه مستقل در یادگیری عمیق نظارت نشده



پیاده‌سازی یادگیری عمیق نظارت نشده در پایتون

- ❖ تعیین مدت زمان رکورد، جانمایی سنسورها و تعیین نرخ نمونه‌برداری
- ❖ نرمالایز کردن داده‌ها برای یکسان سازی و داشتن رکوردهایی با میانگین صفر
- ❖ استفاده از کتابخانه پردازش سیگنال ساینای پای برای حذف نویزهای اضافی (SciPy)
- ❖ بردن سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس برای کنار گذاشتن داده‌های پرت (Outlier)
- ❖ برگرداندن سیگنال از حوزه فرکانس به حوزه زمان
- ❖ تغییر بعد دادن رکوردهای نرمالایز شده برای فید کردن به شبکه عصبی



پیاده‌سازی یادگیری عمیق نظارت نشده در پایتون

- ❖ تعریف شبکه عصبی به کمک کتابخانه پای‌تورچ
- ❖ تعریف تابع فعال‌سازی، تابع هزینه، تابع بهینه‌یاب و تعیین هایپرپارامترها
- ❖ گرفتن خروجی از لایه های مختلف و ضرایب وزن از شبکه
- ❖ بدست آوردن سیگنالهای مستقل (مودال) به تعداد سیگنالهای ورودی با الهام از روش تحلیل مؤلفه مستقل
- ❖ پاسخهای مودال بدست آمده را از حوزه زمان به حوزه فرکانس برده و آنها را بر اساس توان طیفی منظم کرده
- ❖ مقادیر قله را انتخاب کرده و برازش منحنی روی آنها صورت گرفته و نسبت میرایی بدست می‌آید



شبکه‌های عصبی عمیق استفاده شده در این تحقیق

❖ Convolution 1D

❖ Convolution 2D

❖ RNN-GRU

Recurrent Neural Network- Gated
Recurrent Unit

❖ FCGRU

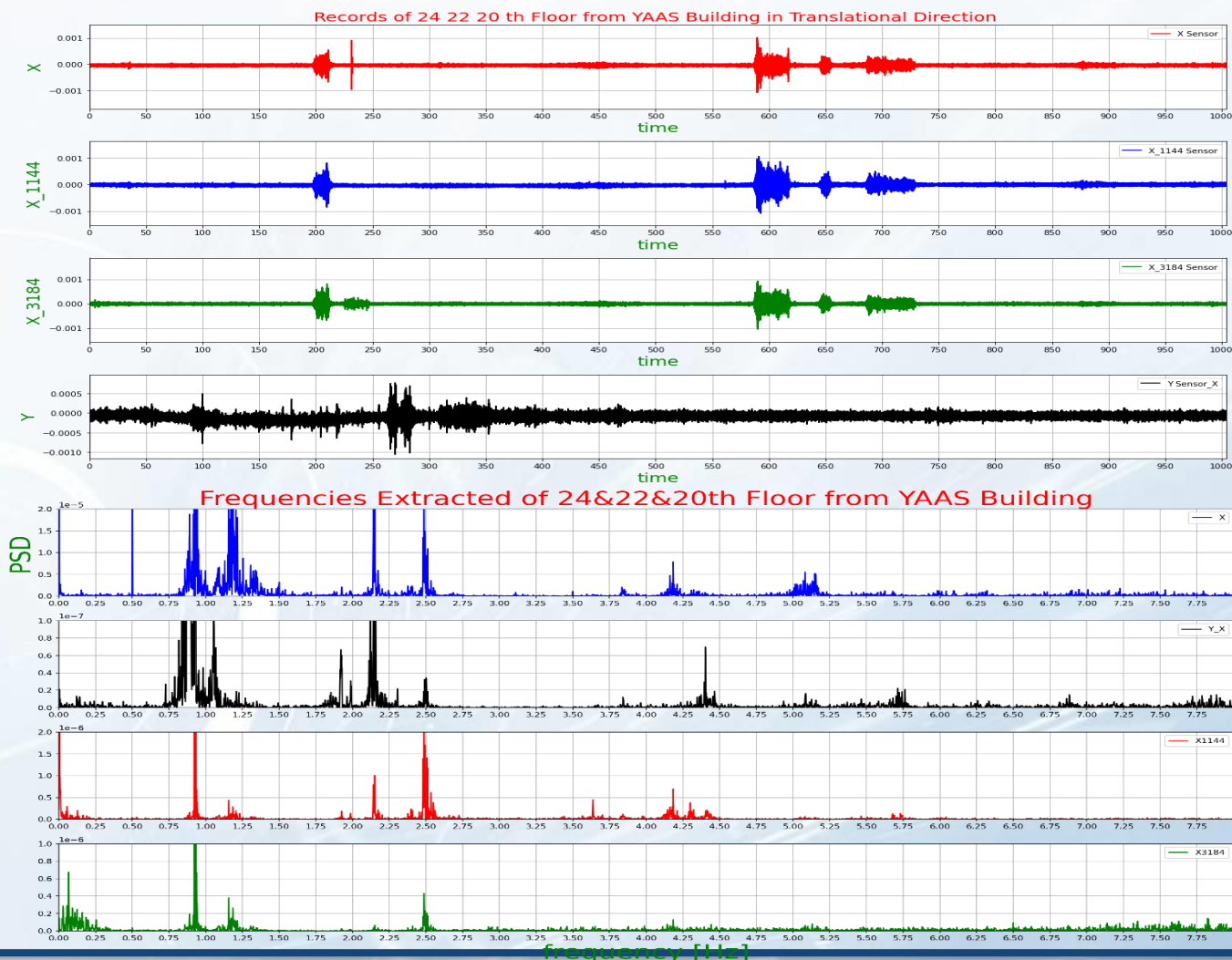
❖ Fully Connected

```
1 # this nn model is conv1d based.
2 class CONV1DNetwork(nn.Module):
3     def __init__(self):
4         super().__init__()
5         # Define the kernel size and stride for the convolutional layers
6         self.kernel_size = 1
7         self.stride = 1
8
9         # Define the padding to keep the output dimensions the same as the input dimensions
10        self.padding = (self.kernel_size - 1) // 2
11        self.num_filters = [3002, 3002, 3002]
12
13        # First Layer
14        self.conv1 = nn.Conv1d(3002, self.num_filters[0], self.kernel_size, self.stride, self.padding)
15        # Second layer
16        self.conv2 = nn.Conv1d(self.num_filters[0], self.num_filters[1], self.kernel_size, self.stride, self.padding)
17        # Third layer
18        self.conv3 = nn.Conv1d(self.num_filters[1], self.num_filters[2], self.kernel_size, self.stride, self.padding)
19
20    def forward(self, x):
21        # x = x.unsqueeze(1) # Add a channel dimension
22        x = self.conv1(x)
23        x = torch.tanh(x)
24        x = self.conv2(x)
25        x = torch.tanh(x)
26        x = self.conv3(x)
27        x = torch.tanh(x)
28        # x = x.squeeze() # Remove the added channel dimension
29        return x
```

```
1 # neural network with conv2d layer
2 class CONV2DNetwork(nn.Module):
3     def __init__(self):
4         super().__init__()
5         # First Layer
6         self.conv1 = nn.Conv2d(in_channels=1, out_channels=sensor_channels,
7                                 kernel_size=(1, sensor_channels))
8
9         # Second layer
10        self.conv2 = nn.Conv2d(in_channels=sensor_channels, out_channels=sensor_channels,
11                                kernel_size=(1, 1))
12
13        # Third layer
14        self.conv3 = nn.Conv2d(in_channels=sensor_channels, out_channels=sensor_channels,
15                                kernel_size=(1, 1))
16
17    def forward(self, x):
18        x = x.squeeze(1) # Add a channel dimension
19        x = self.conv1(x)
20        x = torch.tanh(x)
21        x = self.conv2(x)
22        x = torch.tanh(x)
23        x = self.conv3(x)
24        x = torch.tanh(x)
25        # x = x.squeeze() # Remove the added channel dimension
26        return x
```



سیگنال ساختمان کوه نور در سه طبقه فوقانی



نتیجه گیری

یافته های
نظری و تجربی

مدل سازی

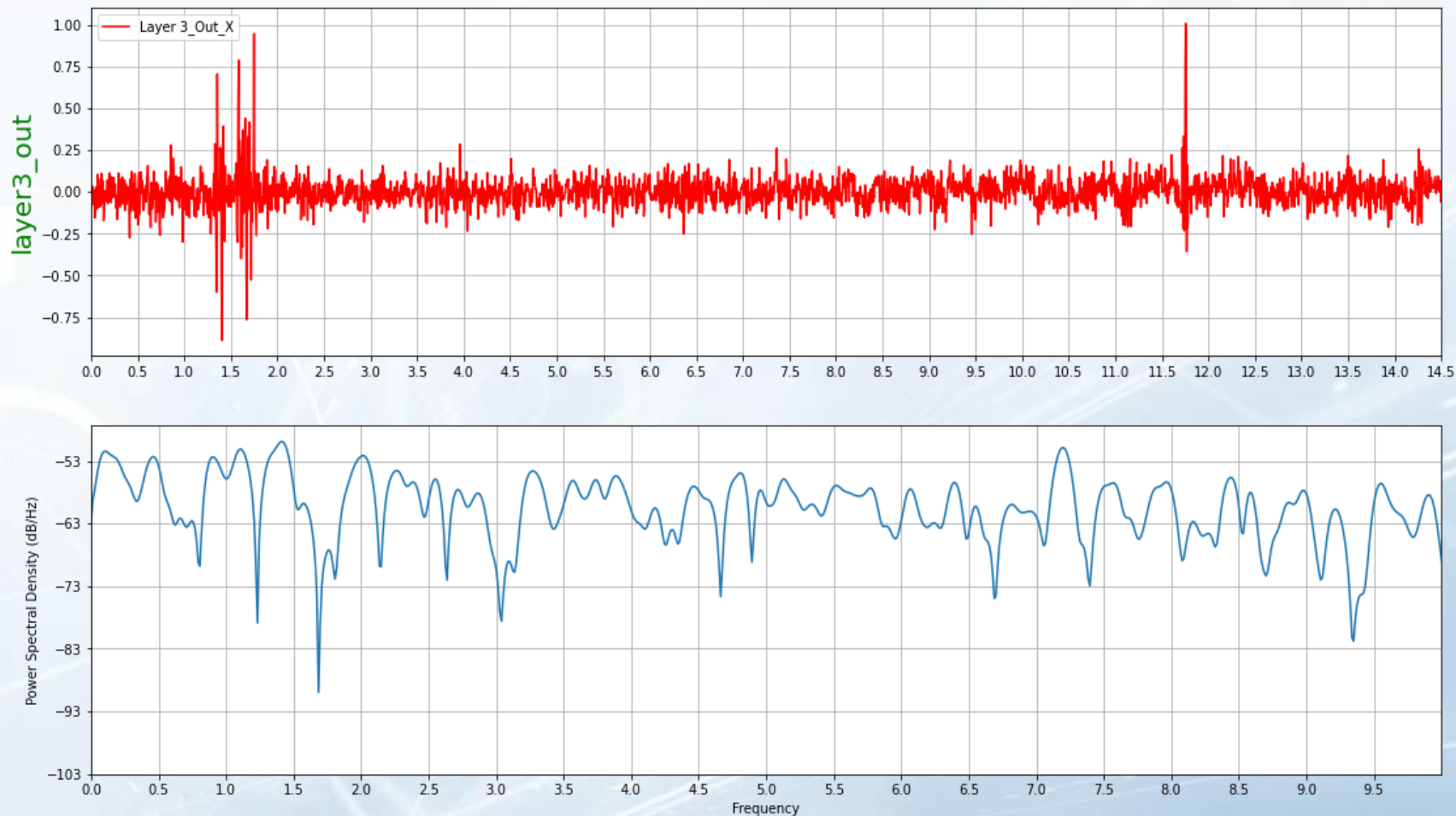
سازه های نمونه
مورد مطالعه

سخت افزار

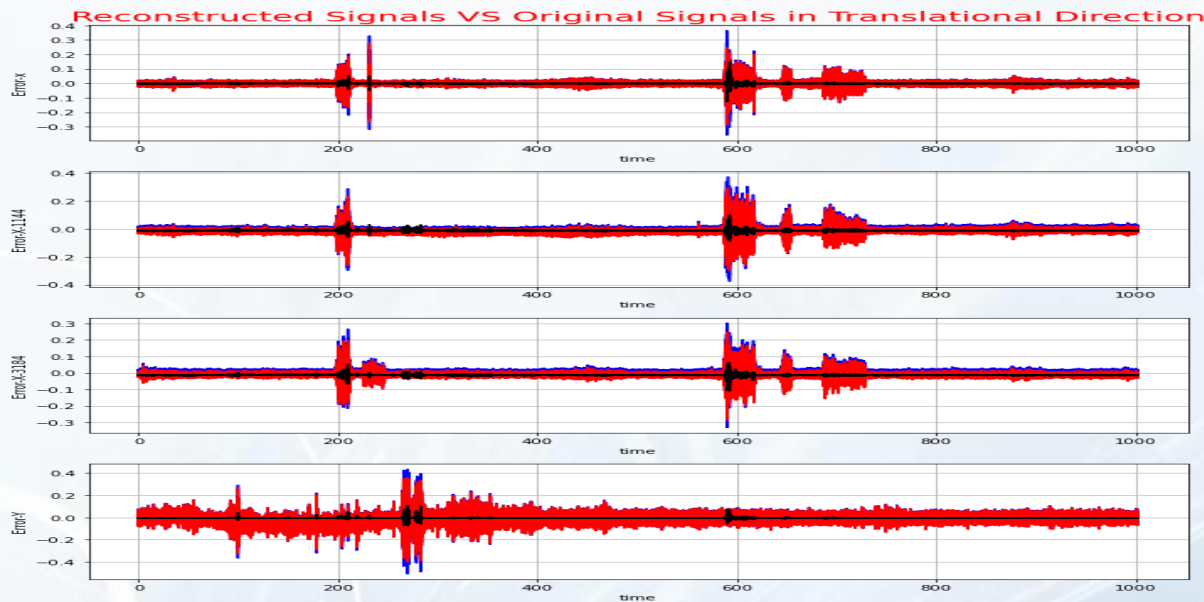
پیشینه
تحقیق

مقدمه

سیگنال لایه سوم شبکه عصبی عمیق کوه نور



اختلاف سیگنال خروجی با سیگنال اولیه در کوه نور

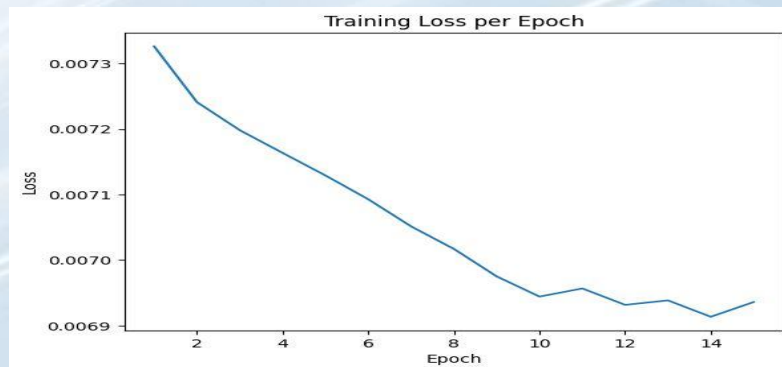


```

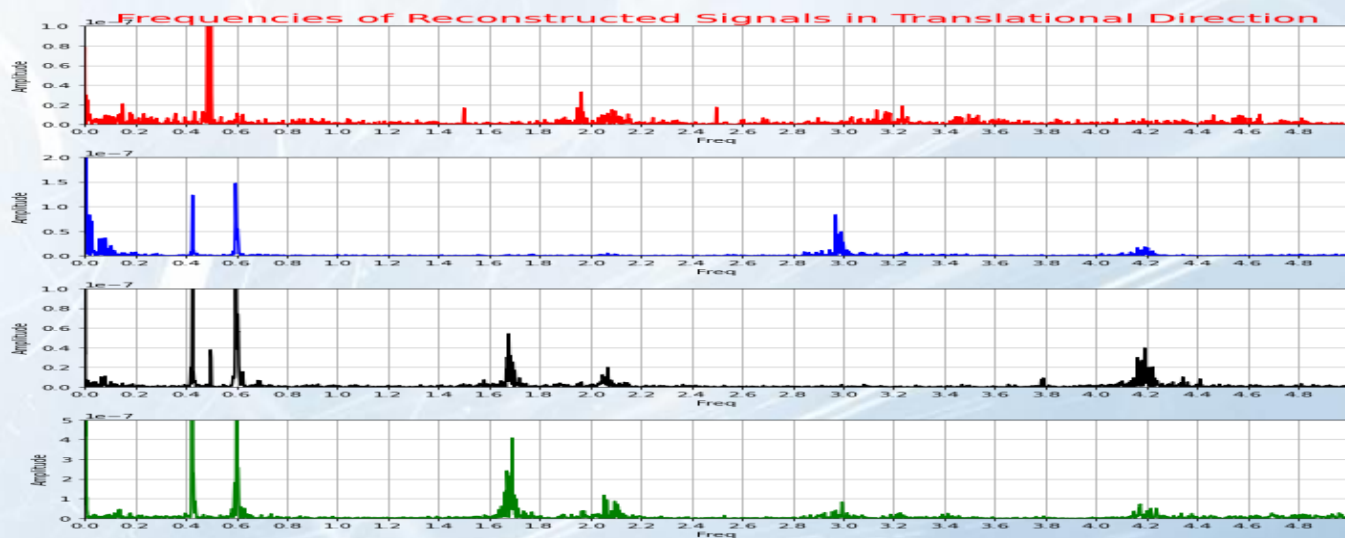
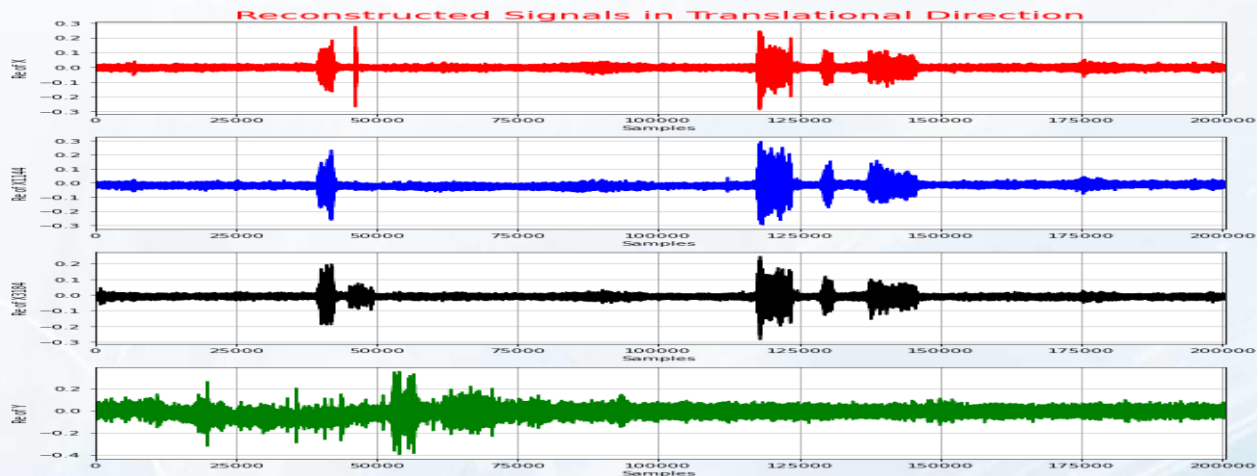
1# absolute error between 4d layer output and input
2mse_list=[]
3for i in range(100):
4    data=input_data[:,i,:]
5    output=model.forward(data)
6    layer4_out=output.detach().numpy()
7    mse_list.append( torch.mean( torch.abs(data-layer4_out) ) )
8torch.mean(torch.FloatTensor(mse_list))
    
```

executed in 175ms, finished 09:31:41 2023-04-08

tensor(0.0065)

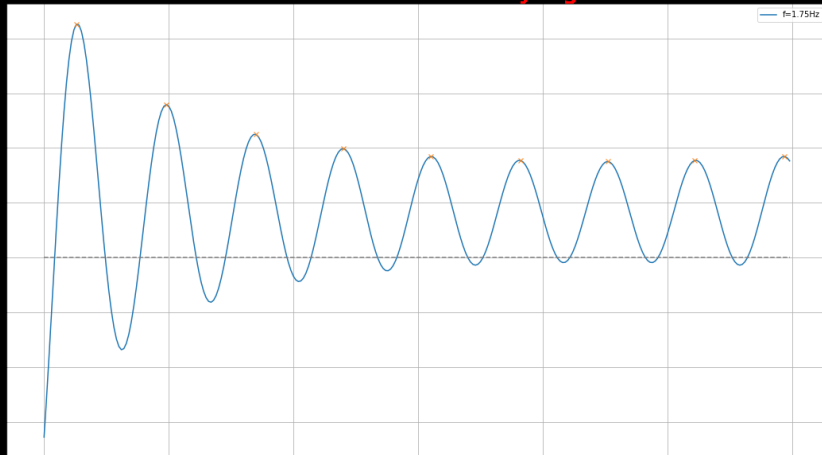


سیگنال‌های بازسازی شده در شبکه عصبی کوه نور

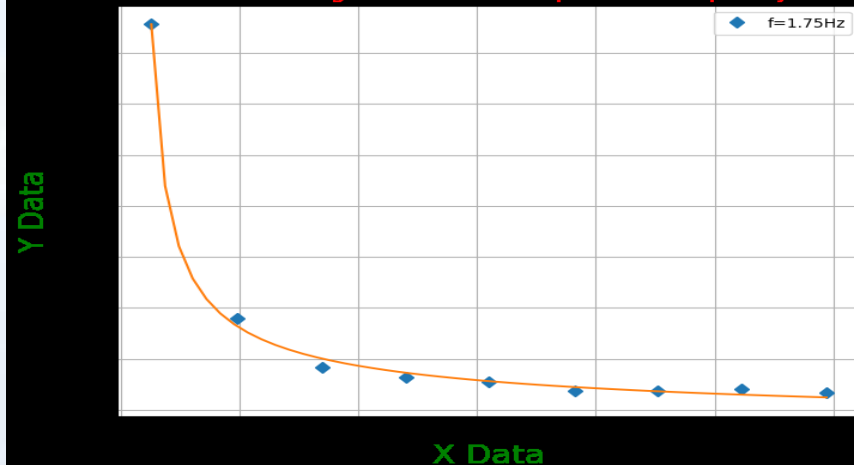


سیگنال ارتعاش آزاد، پیک‌ها، برازش منحنی و نسبت میرایی کوه نور

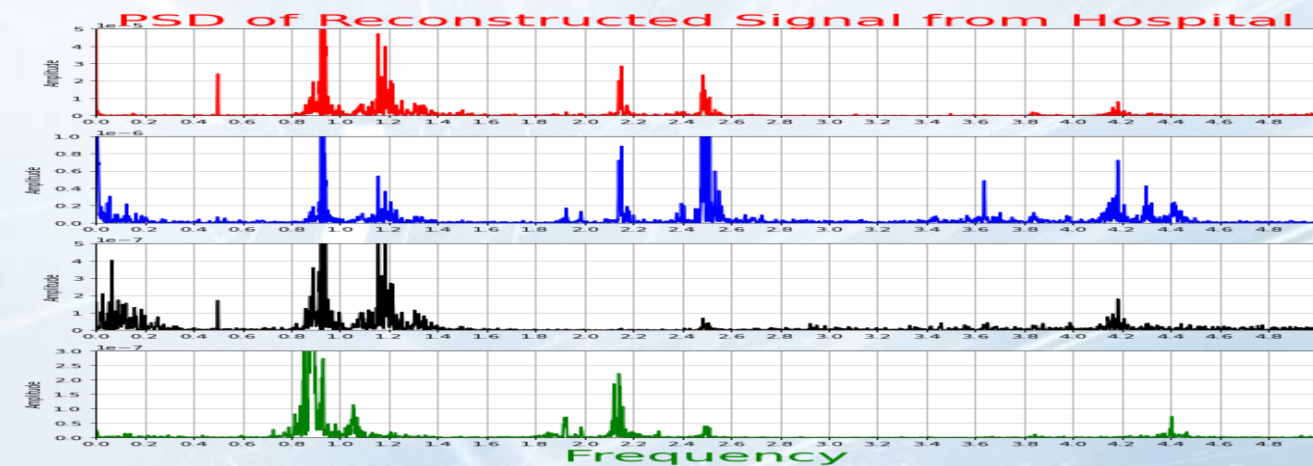
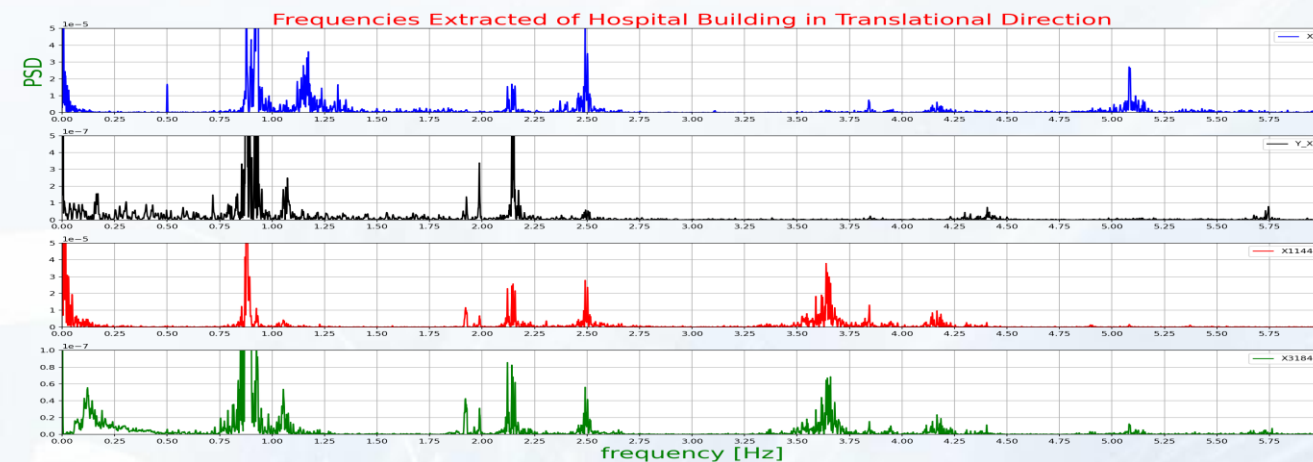
Choose Peaks From Decay Signal



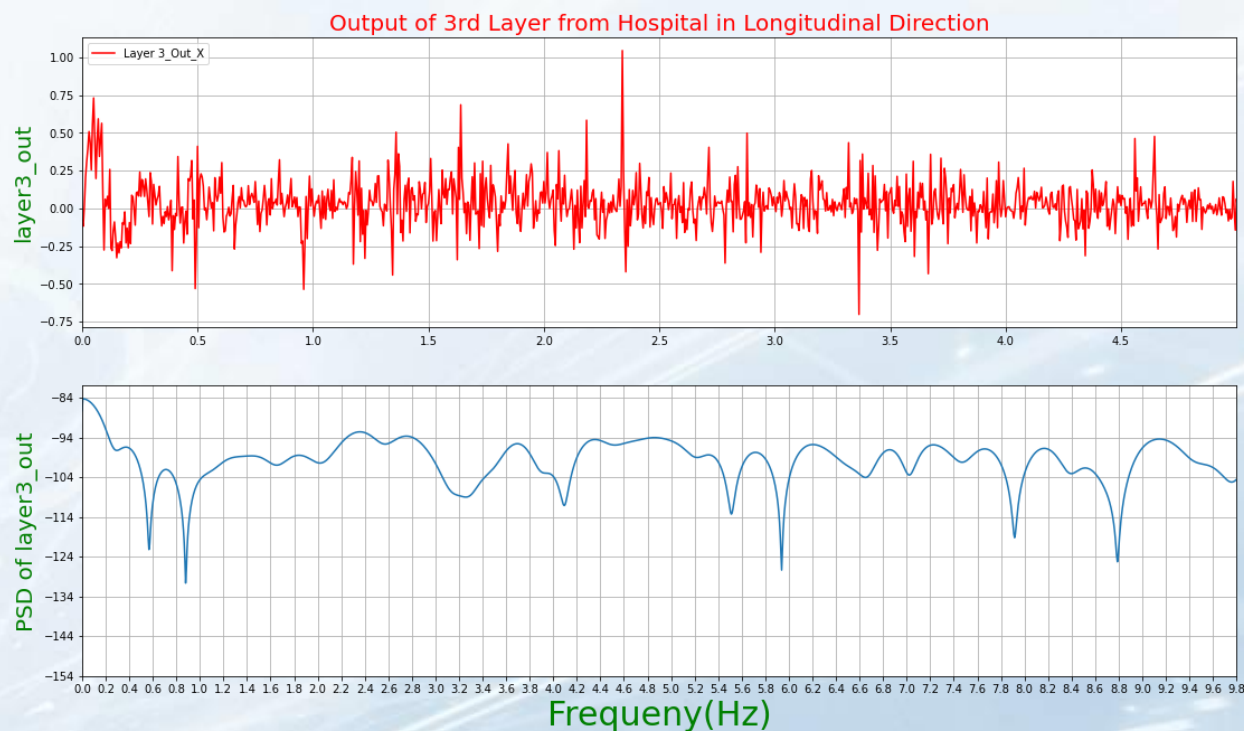
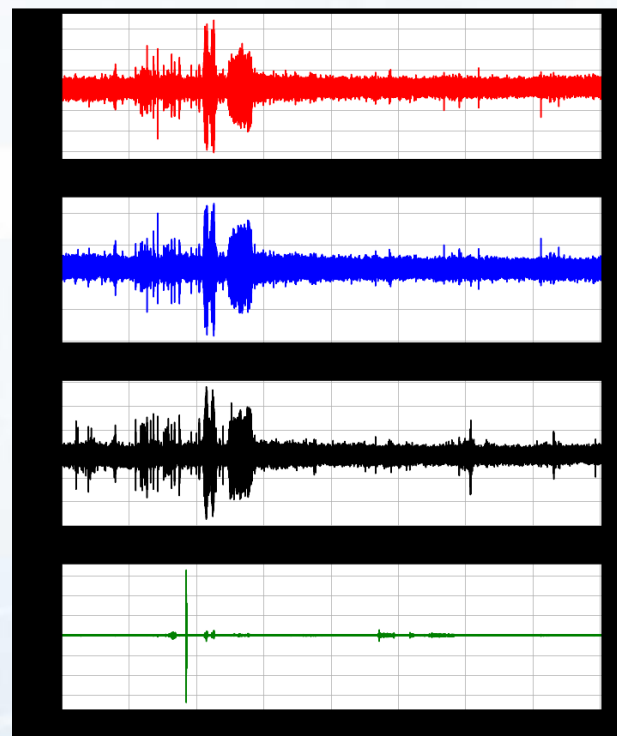
Curve Fitting for Peaks from specified Frequency



```
1 import pandas
2 import numpy, scipy, matplotlib
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from scipy.optimize import curve_fit
5
6 #Data=peaks
7 #Data=(np.array(v3)).flatten()
8 yData=real[peaks]
9 #x=df13
10 #y=df14
11
12
13
14 def func(x, a, b, c): # from sunsun.com equation search
15     return a / (b * numpy.power(x, c))
16
17
18 # these are the same as the scipy defaults
19 initialParameters = numpy.array([0.1, 0.001, 1])
20
21 # curve fit the test data
22 fittedParameters, pcov = curve_fit(func, xData, yData, initialParameters)
23
24 modelPredictions = func(xData, *fittedParameters)
25
26 absError = modelPredictions - yData
27
28 SE = numpy.square(absError) # squared errors
29 MSE = numpy.mean(SE) # mean squared errors
30 RMSE = numpy.sqrt(MSE) # Root Mean Squared Error, RMSE
31 Rsquared = 1.0 - (numpy.var(absError) / numpy.var(yData))
32
33 print("Parameters:", fittedParameters)
34 print("RMSE:", RMSE)
35 print("R-squared:", Rsquared)
36
37 print()
38
39 Parameters: [-17.58978766  34.12213453  2.7854425 ]
40 RMSE: 0.000576802403097265
41 R-squared: 0.933677927572588
```

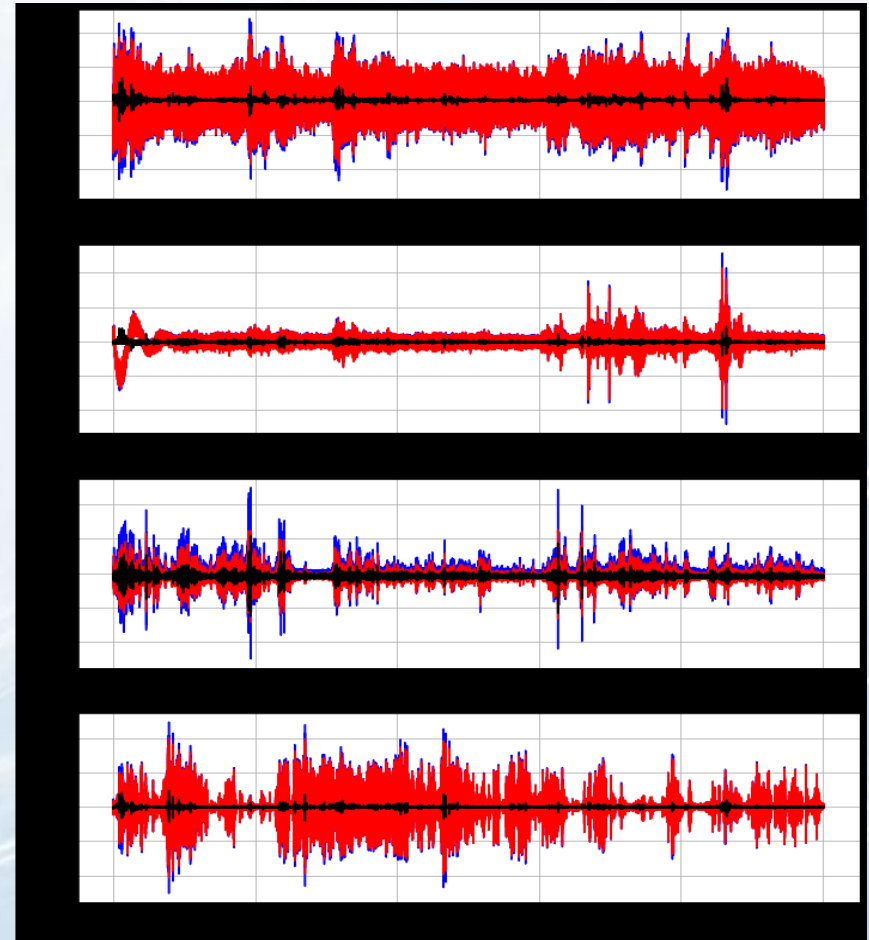
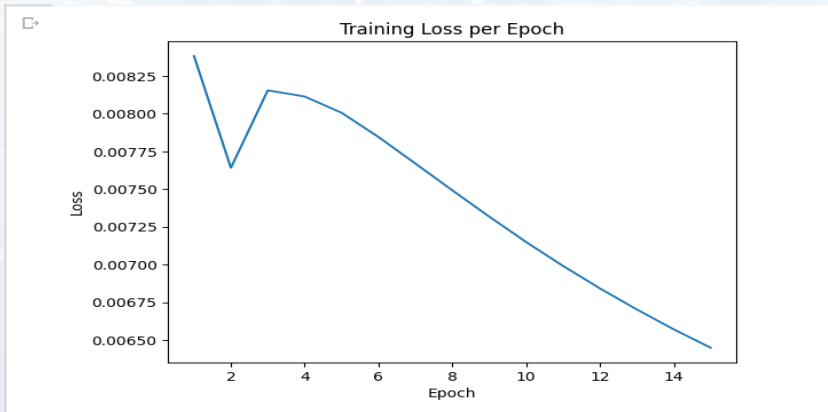
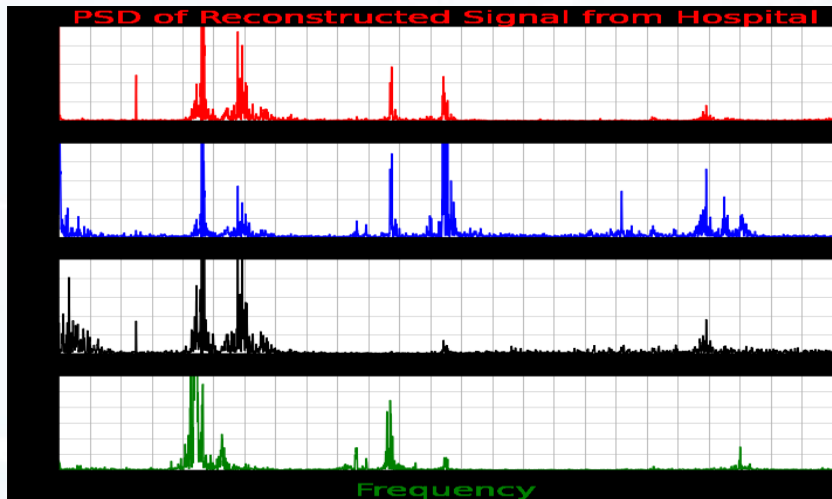


سیگنال از خروجی لایه سوم شبکه عصبی عمیق ساختمان بیمارستان





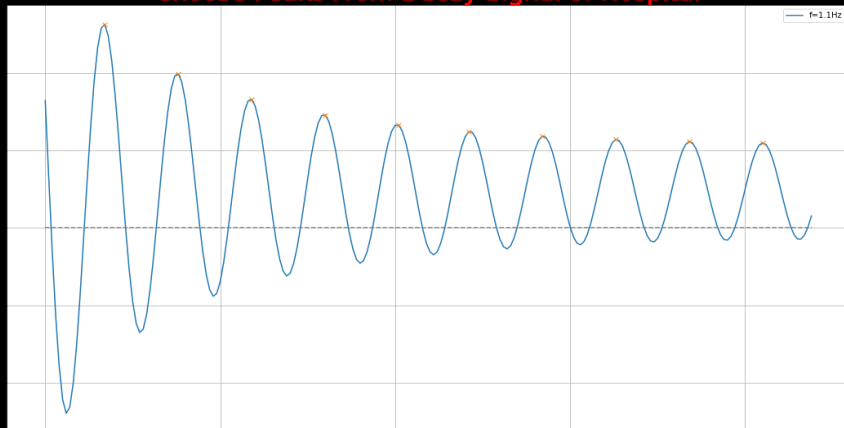
اختلاف سیگنال خروجی با سیگنال اولیه و فرکانس های سیگنال های بازسازی شده بیمارستان



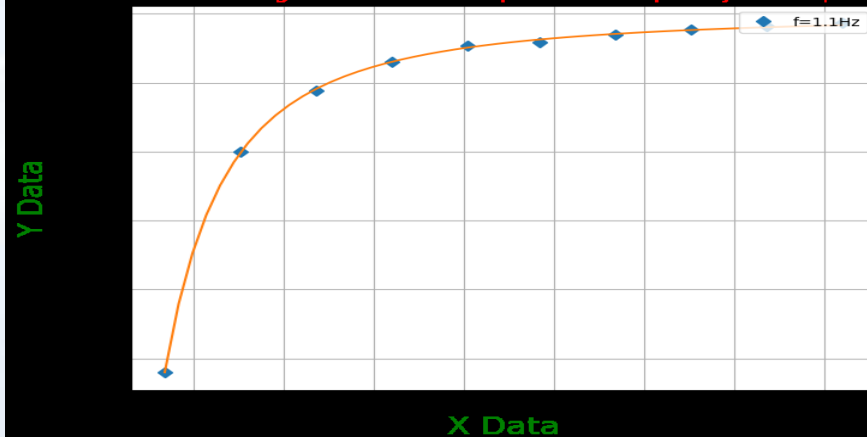


سیگنال ارتعاش آزاد، پیک‌ها، برازش منحنی و نسبت میرایی ساختمان بیمارستان

Choose Peaks From Decay Signal of Hospital



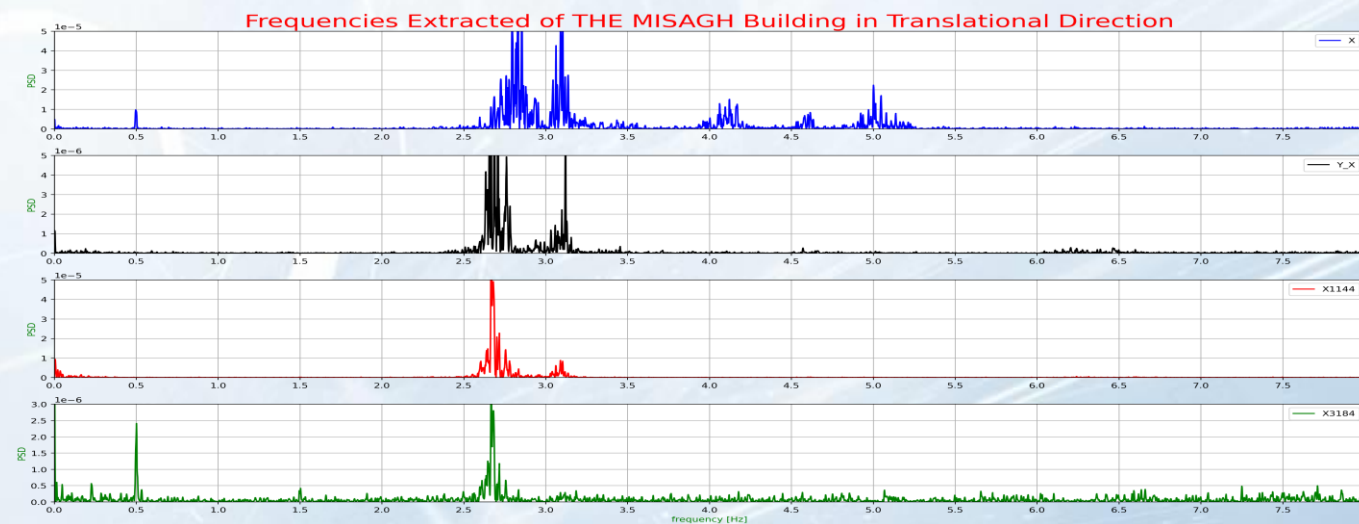
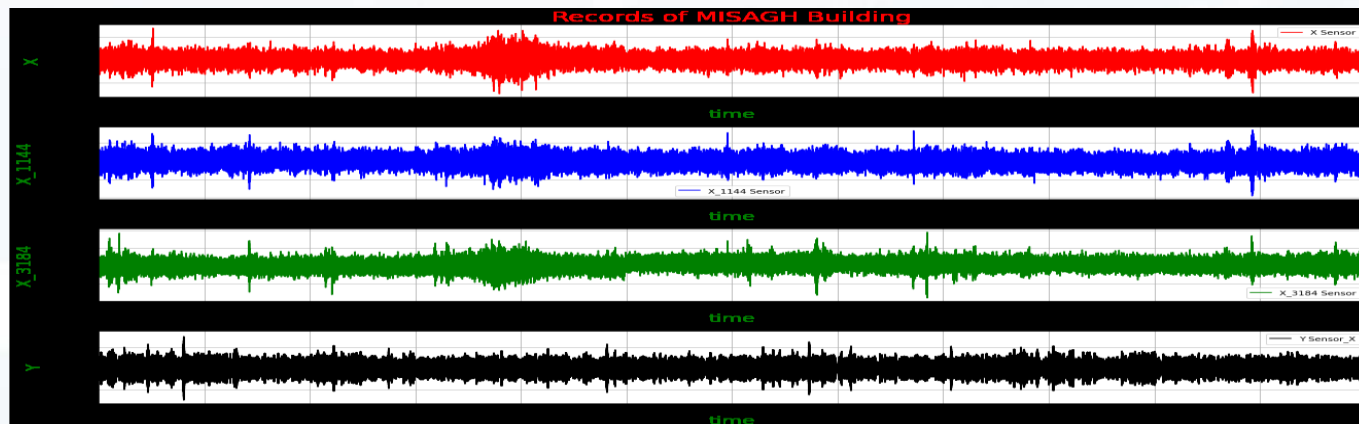
Curve Fitting for Peaks from specified Frequency of Hospital



```
26 absError = modelPredictions - yData
27
28 SE = numpy.square(absError) # squared errors
29 MSE = numpy.mean(SE) # mean squared errors
30 RMSE = numpy.sqrt(MSE) # Root Mean Squared Error, RMSE
31 Rsquared = 1.0 - (numpy.var(absError) / numpy.var(yData))
32
33 print('Parameters:', fittedParameters)
34 print('RMSE:', RMSE)
35 print('R-squared:', Rsquared)
36
37 print()
38
39
```

executed in 10ms, finished 04:01:58 2023-05-11

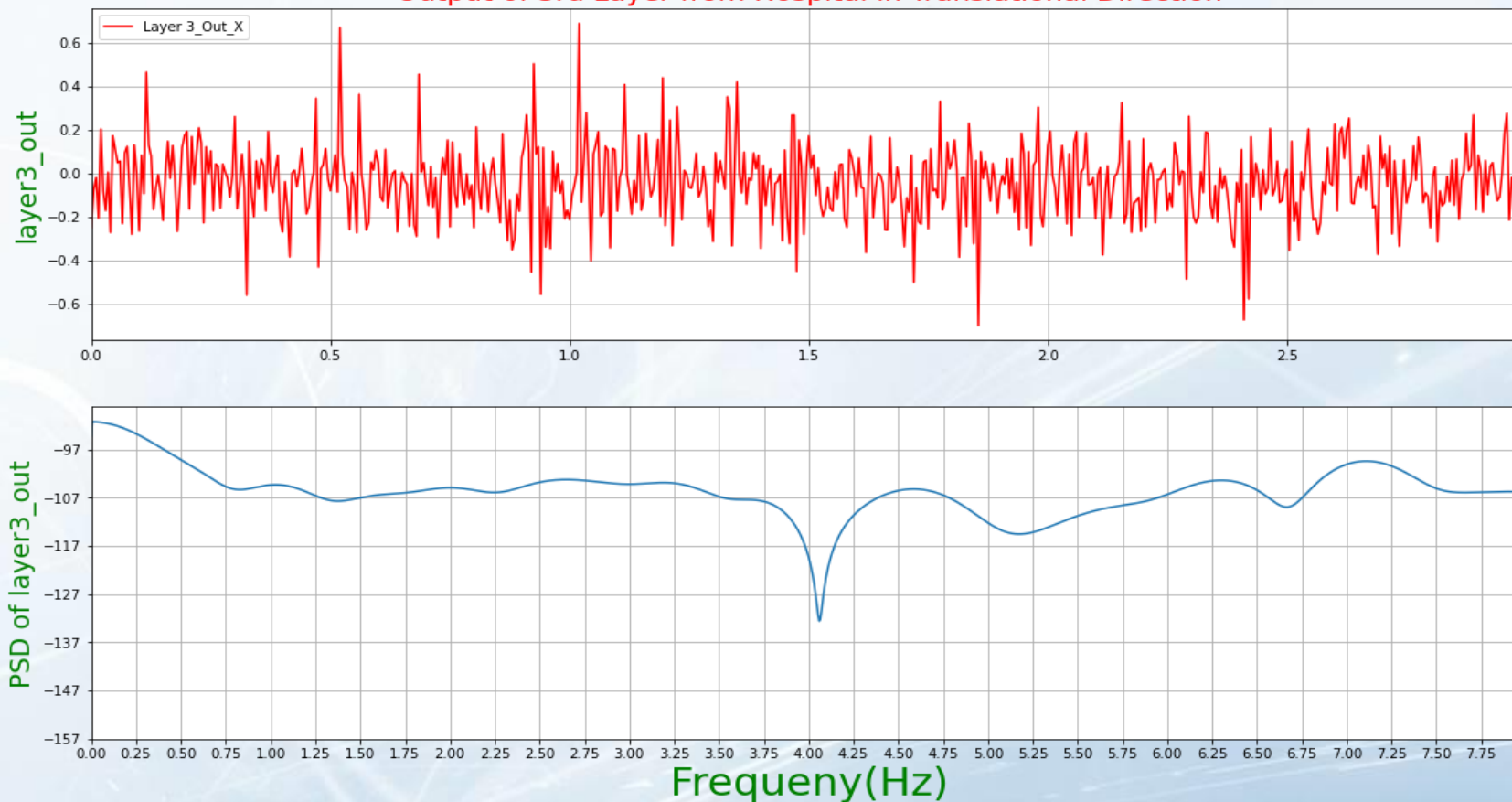
Parameters: [-1.41569895 51.09692905 1.56776887]
RMSE: 4.734535539656062e-05
R-squared: 0.9997452562782135





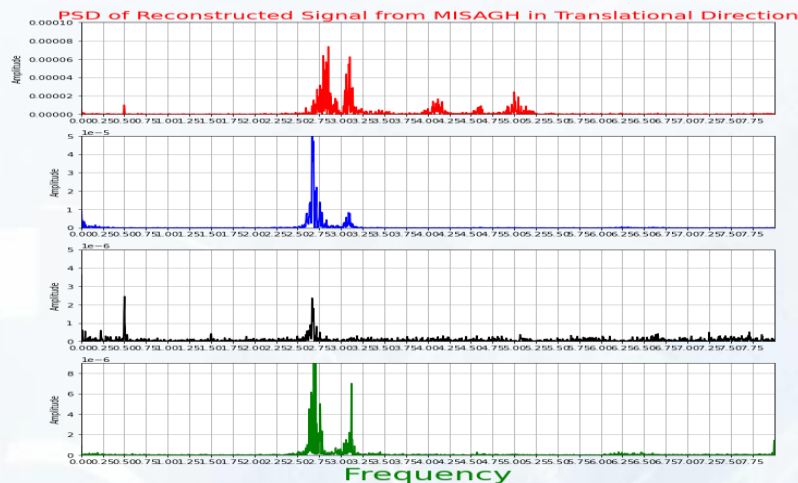
سیگنال از خروجی لایه سوم شبکه عصبی عمیق ساختمان محمدیه ۵

Output of 3rd Layer from Hospital in Translational Direction

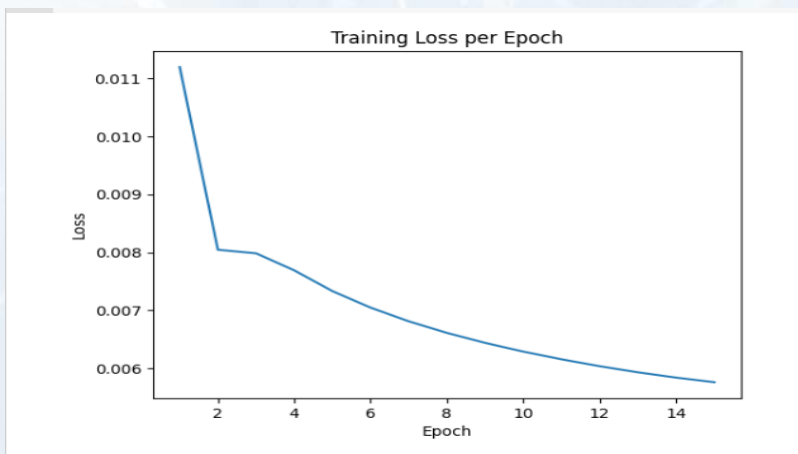
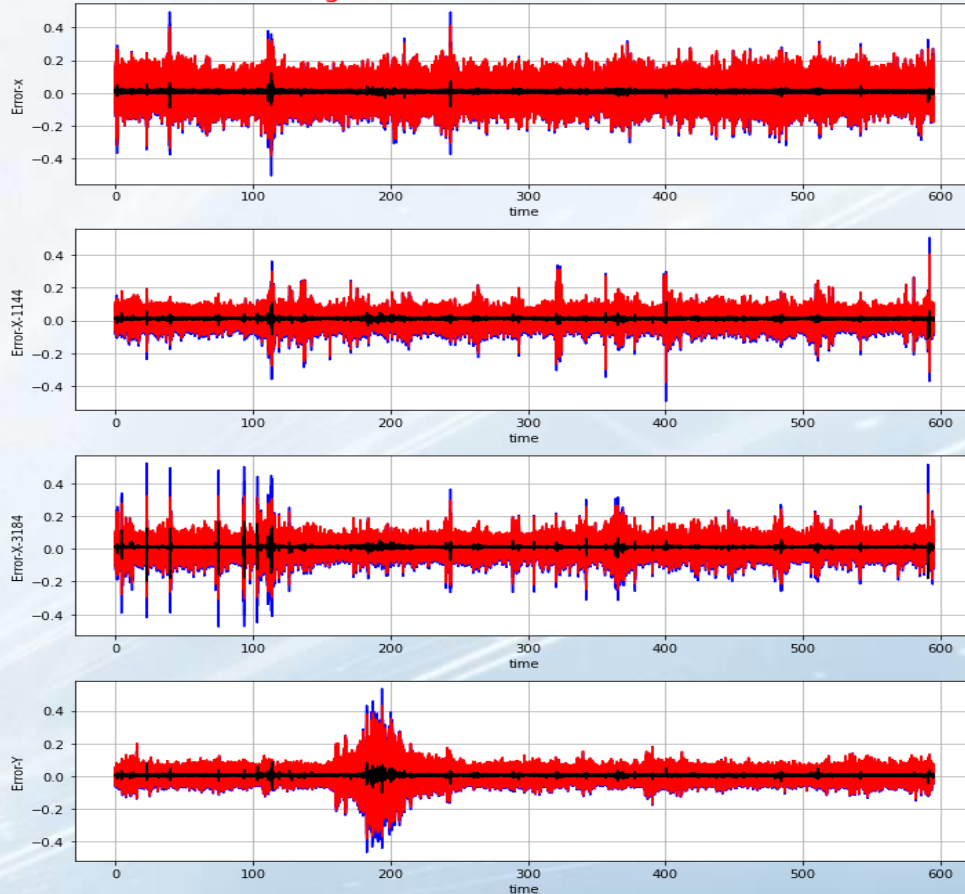




اختلاف سیگنال خروجی با سیگنال اولیه و فرکانس‌های سیگنال‌های بازسازی شده در محدوده ۵

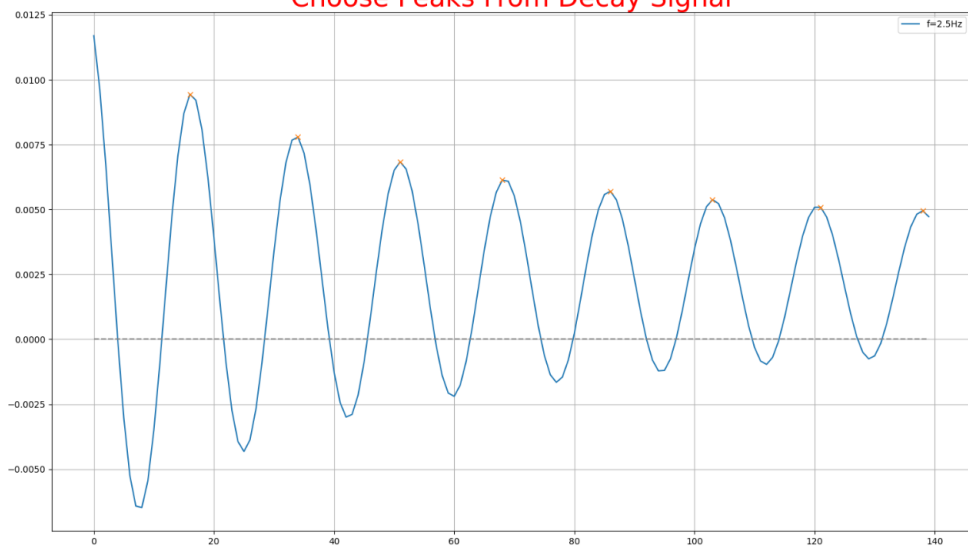


Reconstructed Vs Original of MISAGH Records in Translational Direction



سیگنال ارتعاش آزاد و پیک‌های آن از فرکانس مشخص در شبکه عصبی عمیق محمدیه ۵ در راستای طولی

Choose Peaks From Decay Signal



```
1 import pandas
2 import numpy, scipy, matplotlib
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from scipy.optimize import curve_fit
5
6 xData=peaks
7 #yData=(np.array(v3)).flatten()
8 yData=d.real[peaks]
9 #x=df13
10 #y=df14
11
12
13
14 def func(x, a, b, c): # from zunzun.com equation search
15     return a / (b+numpy.power(x, c))
16
17
18 # these are the same as the scipy defaults
19 initialParameters = numpy.array([0.1, 0.001, 1])
20
21 # curve fit the test data
22 fittedParameters, pcov = curve_fit(func, xData, yData, initialParameters)
23
24 modelPredictions = func(xData, *fittedParameters)
25
26 absError = modelPredictions - yData
27
28 SE = numpy.square(absError) # squared errors
29 MSE = numpy.mean(SE) # mean squared errors
30 RMSE = numpy.sqrt(MSE) # Root Mean Squared Error, RMSE
31 Rsquared = 1.0 - (numpy.var(absError) / numpy.var(yData))
32
33 print('Parameters:', fittedParameters)
34 print('RMSE:', RMSE)
35 print('R-squared:', Rsquared)
36
37 print()
38
```

Parameters: [-52.74251207 566.1329919 3.05267352]
 RMSE: 0.0008292313629899664
 R-squared: 0.9526712244891209

❖ مقایسه نتایج تحلیلی با نتایج بدست آمده از تست‌های ارتعاش محیطی در این تحقیق از نظر محقق به دلایل زیر صحیح نمی‌باشد:

- بارگذاری واقعی صورت گرفته با بارگذاری مدل‌سازی بدلائل مختلف اجرایی مطابقت ندارد
- ساختمان‌های تست شده هر کدام در مرحله‌ای از ساخت قرار داشتند که تعیین مقدار درصد بارگذاری شده روی هر کدام میسر نبود
- بطور معمول سازه‌هایی که تست ارتعاش محیطی روی آنها صورت می‌گیرد و از روش‌های تحلیل مودال بهره‌برداری برای استخراج پارامترهای دینامیکی استفاده می‌کنند، بعد از گذشت رخدادی یا زمان چند ساله از تست قبلی آن را تکرار کرده و نتایج را با یکدیگر مقایسه می‌کنند.
- در این تحقیق داده‌های تست ارتعاش محیطی با توجه به حجم و زمان تحلیل تنها در یک راستا در هر کدام از سازه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

❖ با توجه به مقایسه بین نتایج بدست آمده از شرایط تست ها نتایج زیر از این تحقیق دست آمده است:

- در ساختمان کوه نور بین فرکانس های دست آمده از روش تحلیلی و تست های تجربی نتایج نزدیک به هم بودند.

تحلیلی	شناسایی حوزه زمان	شناسایی حوزه فرکانس	DNN
0.415 Hz	0.509 Hz	0.487 Hz	0.486 Hz
0.589 Hz	0.58 Hz	----	0.61 Hz
0.831 Hz	0.88 Hz	----	----

❖ با توجه به مقایسه بین نتایج بدست آمده از شرایط تست ها نتایج زیر از این تحقیق دست آمده است:

- در ساختمان بیمارستان بین فرکانس های دست آمده از روش تحلیلی و تست های تجربی نتایج نزدیک به هم بودند.

تحلیلی	شناسایی حوزه زمان	شناسایی حوزه فرکانس	DNN
0.839 Hz	0.895 Hz	0.877 Hz	0.91 Hz
1.078 Hz	1.009 Hz	0.926 Hz	1.11 Hz
2.079 Hz	2.19 Hz	2.487 Hz	2.21 Hz

❖ با توجه به مقایسه بین نتایج بدست آمده از شرایط تست ها نتایج زیر از این تحقیق دست آمده است:

- در ساختمان محمدیه ۵ بین فرکانس های دست آمده از روش تحلیلی و تست های تجربی نتایج نزدیک به هم بودند.

تحلیلی	شناسایی حوزه زمان	شناسایی حوزه فرکانس	DNN
0.921 Hz	---	0.877 Hz	---
1.745 Hz	1.514 Hz	---	---
2.487 Hz	2.887 Hz	2.487 Hz	2.81 Hz

- در ساختمان کوه نور بین نسبت‌های میرایی به دست آمده از روش شناسایی و شبکه عصبی عمیق ($f = 1.75 \text{ Hz}$).

نسبت میرایی (%)	شناسایی حوزه زمان	شناسایی حوزه فرکانس	DNN
	2.785	---	2.874

- در ساختمان بیمارستان بین نسبت‌های میرایی به دست آمده از روش شناسایی و شبکه عصبی عمیق ($f = 1.1 \text{ Hz}$).

نسبت میرایی (%)	شناسایی حوزه زمان	شناسایی حوزه فرکانس	DNN
	1.793	0.369	1.567

- در ساختمان محمدیه ۵ بین نسبت‌های میرایی به دست آمده از روش شناسایی و شبکه عصبی عمیق ($f = 2.496 \text{ Hz}$).

نسبت میرایی (%)	شناسایی حوزه زمان	شناسایی حوزه فرکانس	DNN
	2.995	0.592	3.05

❖ در روشهای یادگیری عمیق که در پایش سلامت سازه ها از آن استفاده میشود، به نظر میرسد برای سازه هایی که بتوان بعنوان جرم متمرکز در تحلیل آنها استفاده کرد، و دارای بیشترین جرم در طبقات باشد و بطور کلی تر سازه های ساختمانی بتوان نتایج مناسبی از مودهای ارتعاشی و پارامترهای دینامیکی آنها به کمک تکنیک های یادگیری عمیق نظارت نشده استخراج کرد. البته برای سازه هایی که دارای تحلیل مؤلفه مستقل جرم گسترده هستند مشابه دودکش ها و سیلو ها کارهای تحقیقاتی بوسیله محققان در دست انجام می باشد.

❖ روش های نوین هوش مصنوعی و زیرشاخه های آن از جمله یادگیری عمیق می تواند در آینده ای نزدیک و با افزایش برداشت داده های مختلف از سازه های گوناگون روال طراحی و علی الخصوص بهسازی سازه ها و ارزیابی سازه ها را در رشته مهندسی عمران متحول سازد و بدون نیاز به بازرسی های چشمی و دوره ای و حتی دانستن شرایط و مشخصات هندسی و مکانیکی سازه، شرایط سلامت و حتی عیب یابی آن را مشخص نمود. با پیشرفت تکنولوژی، دقت تجهیزات نیز افزایش یافته و هزینه تست های پایش سلامت نیز کاهش خواهد یافت. تنها مساله ای که در مورد آن نگرانی هایی بوجود آورده است، حجم اطلاعات و طریقه و هزینه نگهداری آن ها می باشد.

❖ با توجه به مقالات اخیر که نقص استفاده از روش مؤلفه مستقل را عدم تفکیک موده‌های نزدیک به هم عنوان کرده بودند، در این تحقیق بدلیل اینکه در دو راستای متعامد سازه‌ها نمونه‌برداری شدند، و دو مود پشت سر هم در یک راستا در سازه‌های ساختمانی به یکدیگر نزدیک نیستند با این مساله مواجه نشده ضمن اینکه برای سازه‌های دیگر مثل پل‌ها، دودکش‌ها و سازه‌های پوسته‌ای ممکن است این مساله ایجاد شود.

❖ معمولاً در کارهای تجربی از جمله پایش سلامت سازه، تعداد سنسورها و تجهیزات بر دقت کار تاثیر بسزایی می‌گذارد که در این تحقیق با توجه به تعداد سنسورهای موجود، امکان بدست آوردن موده‌های پیچشی وجود نداشت، که به همین دلیل در ساختمان کوه نور که مود اول آن پیچشی بود در روش‌های شناسایی در حوزه زمان امکان دست‌یابی به آن میسر نشد.

❖ حجم داده‌های بدست آمده از تست‌های ارتعاش محیطی در این تحقیق علی‌الخصوص ساختمان کوه نور کمیتی در حدود ۲۸ میلیون داده از این ساختمان بدست آمده است

❖ روش‌های شبکه عصبی عمیق به شدت به تعداد داده حساس و دقت آن را افزایش می‌دهد، فلذا محقق نتوانست مدلی را با تمامی این داده‌ها، هم بدلیل زمان تحلیل شبکه و هم سرعت سیستم‌های در اختیار بدست بیاورد. به نظر محقق این تعداد از داده می‌تواند یک مدل بسیار دقیق را تولید کند که هر داده‌ای از هر سازه‌ای داخل مدل شود با پاسخ‌های خوبی خروجی گرفته شود.

❖ این مساله مستلزم انجام این کار و تست کردن حداقل ده‌ها تست دیگر از سازه‌های با شرایط مختلف می‌باشد که امید است در صورت داشتن وقت محقق به این کار همت گماشته در غیر این‌صورت آمادگی کامل جهت مشاوره و همکاری با محققین دیگر وجود دارد.

پایان

با تشکر از بذل توجه شما

نتیجه گیری

یافته های
نظری و تجربی

مدل سازی

سازه های نمونه
مورد مطالعه

سخت افزار

پیشینه
تحقیق

مقدمه