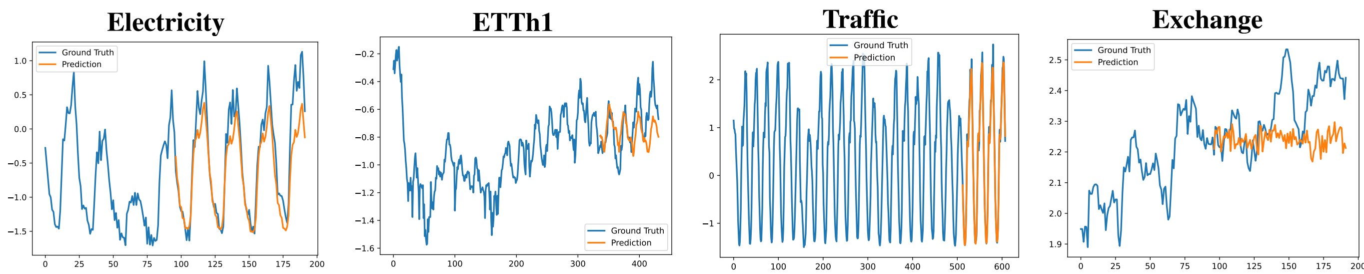
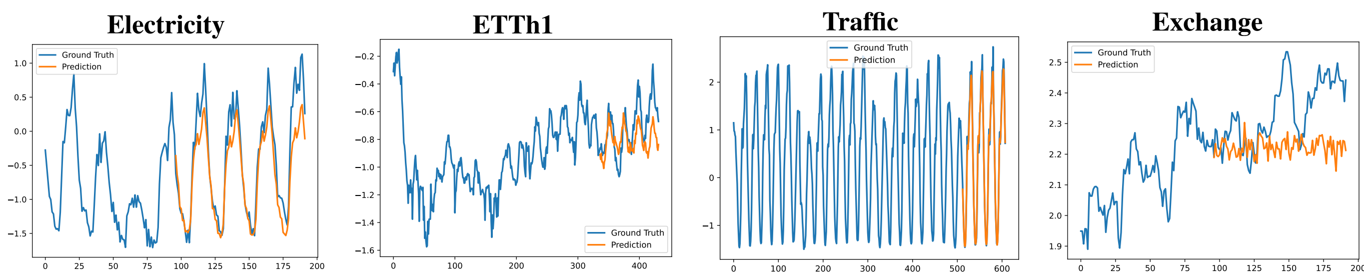
A Novel Spectrum Modulation-Enhanced Multi-Scale Convolution Network for Highly-Efficient Multivariate Time Series Forecasting Supplementary File

I. Introduction

THIS is the supplementary file for the paper entitled "A Novel Spectrum Modulation-Enhanced Multi-Scale Convolution Network for Highly-Efficient Multivariate Time Series Forecasting". We have put the tables and figures of experimental results in Section IV.

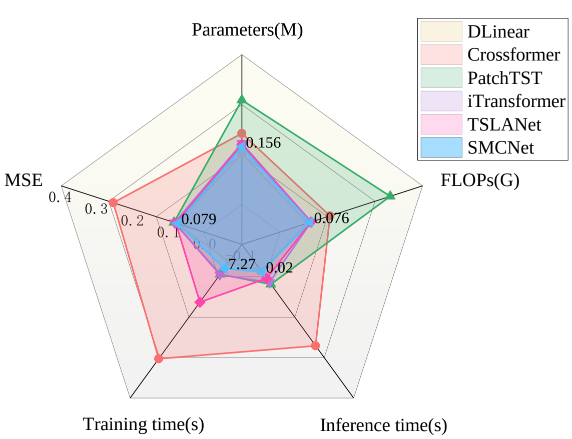


(a) SMCNet

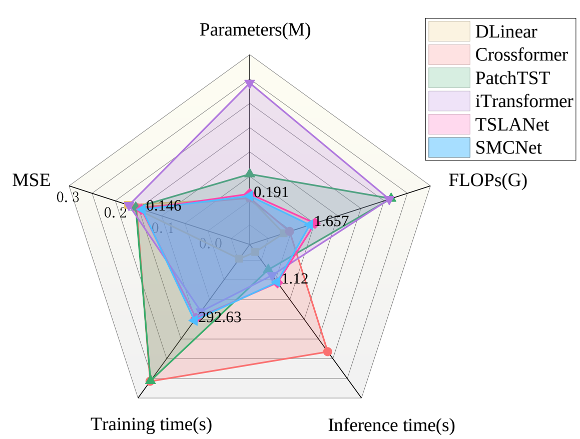


(b) TSLANet

Fig. S1. Forecast comparison between SMCNet and TSLANet on four datasets. The blue line corresponds to the true values, while the red line denotes the predicted values.



(a) Exchange



(b) Weather

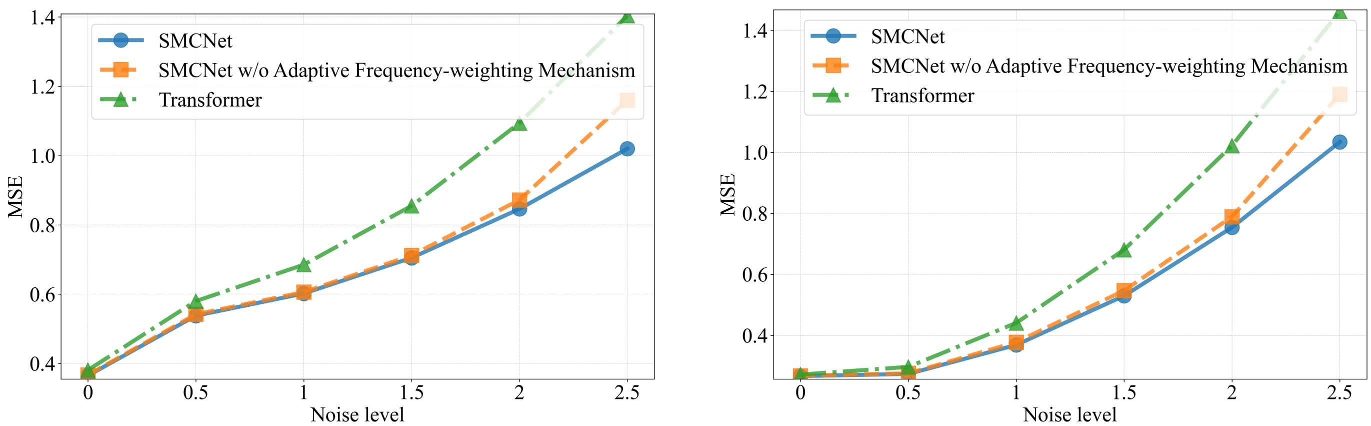
Fig. S2. Comparison of SMCNet and five baselines on MSE, Parameters, FLOPs, Inference time, and Training time.

TABLE S(I)
FULL RESULTS OF SMCNET AND BASELINES.

		CNN-based Network								Transformer-based Network										MLP-based Network			
Methods		SMCNet		TSLANet		TimesNet		SCINet		iTransformer		PatchTST		Crossformer		FEDformer		Autoformer		RLinear		DLinear	
Metric		MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE
ECL	96	0.137	**0.225**	**0.136**	0.229	0.168	0.272	0.247	0.345	0.148	0.240	0.138	0.230	0.219	0.314	0.193	0.308	0.201	0.317	0.201	0.281	0.140	0.237
	192	0.151	**0.242**	0.152	0.244	0.184	0.289	0.257	0.355	0.162	0.253	**0.149**	0.243	0.231	0.322	0.201	0.315	0.222	0.334	0.201	0.283	0.153	0.249
	336	**0.165**	**0.260**	0.168	0.262	0.198	0.300	0.269	0.369	0.178	0.269	0.169	0.262	0.246	0.337	0.214	0.329	0.231	0.338	0.215	0.298	0.169	0.267
	720	**0.203**	0.295	0.205	**0.293**	0.220	0.320	0.299	0.390	0.225	0.317	0.211	0.299	0.280	0.363	0.246	0.355	0.254	0.361	0.257	0.331	**0.203**	0.301
	Avg	**0.164**	**0.255**	0.165	0.257	0.193	0.295	0.268	0.365	0.178	0.270	0.167	0.259	0.244	0.334	0.214	0.327	0.227	0.338	0.219	0.298	0.166	0.264
ETTh1	96	**0.365**	**0.391**	0.370	0.394	0.384	0.402	0.654	0.599	0.386	0.405	0.382	0.401	0.423	0.448	0.376	0.419	0.449	0.459	0.386	0.395	0.375	0.399
	192	0.409	**0.413**	0.412	0.417	0.436	0.429	0.719	0.631	0.441	0.436	0.428	0.425	0.471	0.474	0.420	0.448	0.500	0.482	0.437	0.424	**0.405**	0.416
	336	**0.398**	0.417	0.399	**0.416**	0.491	0.469	0.778	0.659	0.487	0.458	0.451	0.436	0.570	0.546	0.459	0.465	0.521	0.496	0.479	0.446	0.439	0.443
	720	**0.450**	0.465	0.472	0.475	0.521	0.500	0.836	0.699	0.503	0.491	0.452	**0.459**	0.653	0.621	0.506	0.507	0.514	0.512	0.481	0.470	0.472	0.490
	Avg	**0.405**	**0.421**	0.413	0.426	0.458	0.450	0.747	0.647	0.454	0.448	0.428	0.430	0.529	0.522	0.440	0.460	0.496	0.487	0.446	0.434	0.423	0.437
ETTh2	96	**0.267**	**0.330**	0.280	0.341	0.340	0.374	0.707	0.621	0.297	0.349	0.285	0.340	0.745	0.584	0.358	0.397	0.346	0.388	0.288	0.338	0.289	0.353
	192	**0.323**	**0.370**	0.330	0.375	0.402	0.414	0.860	0.689	0.380	0.400	0.356	0.386	0.877	0.656	0.429	0.439	0.456	0.452	0.374	0.390	0.383	0.418
	336	**0.308**	**0.367**	0.317	0.374	0.452	0.452	1.000	0.744	0.428	0.432	0.350	0.395	1.043	0.731	0.496	0.487	0.482	0.486	0.415	0.426	0.448	0.465
	720	**0.386**	**0.426**	0.404	0.440	0.462	0.468	1.249	0.838	0.427	0.445	0.395	0.427	1.104	0.763	0.463	0.474	0.515	0.511	0.420	0.440	0.605	0.551
	Avg	**0.321**	**0.373**	0.333	0.383	0.414	0.427	0.954	0.723	0.383	0.407	0.347	0.387	0.942	0.684	0.437	0.449	0.450	0.459	0.374	0.399	0.431	0.447
ETTm1	96	**0.288**	**0.338**	0.289	0.349	0.338	0.375	0.418	0.438	0.334	0.368	0.291	0.340	0.404	0.426	0.379	0.419	0.505	0.475	0.355	0.376	0.299	0.343
	192	**0.326**	**0.364**	0.328	0.370	0.374	0.387	0.439	0.450	0.377	0.391	0.328	0.365	0.450	0.451	0.426	0.441	0.553	0.496	0.391	0.392	0.335	0.365
	336	0.358	**0.381**	**0.355**	0.389	0.410	0.411	0.490	0.485	0.426	0.420	0.365	0.389	0.532	0.515	0.445	0.459	0.621	0.537	0.424	0.415	0.369	0.386
	720	**0.419**	**0.420**	0.421	0.425	0.478	0.450	0.595	0.550	0.491	0.459	0.422	0.423	0.666	0.589	0.543	0.490	0.671	0.561	0.487	0.450	0.425	0.421
	Avg	**0.347**	**0.375**	0.348	0.383	0.400	0.406	0.486	0.481	0.407	0.410	0.352	0.379	0.513	0.495	0.448	0.452	0.588	0.517	0.414	0.408	0.357	0.379
ETTm2	96	**0.164**	**0.254**	0.169	0.259	0.187	0.267	0.286	0.377	0.180	0.264	0.169	**0.254**	0.287	0.366	0.203	0.287	0.255	0.339	0.182	0.265	0.167	0.260
	192	0.225	0.295	**0.224**	0.297	0.249	0.309	0.399	0.445	0.250	0.309	0.230	**0.294**	0.414	0.492	0.269	0.328	0.281	0.340	0.246	0.304	0.224	0.303
	336	0.279	0.332	**0.275**	**0.329**	0.321	0.351	0.637	0.591	0.311	0.348	0.280	**0.329**	0.597	0.542	0.325	0.366	0.339	0.372	0.307	0.342	0.281	0.342
	720	0.364	0.387	**0.354**	**0.380**	0.408	0.403	0.960	0.735	0.412	0.407	0.378	0.386	1.730	1.042	0.421	0.415	0.433	0.432	0.407	0.398	0.397	0.421
	Avg	0.258	0.317	**0.256**	**0.316**	0.291	0.333	0.571	0.537	0.288	0.332	0.264	**0.316**	0.757	0.611	0.305	0.349	0.327	0.371	0.286	0.327	0.267	0.332
Exchange	96	**0.079**	**0.199**	0.083	0.201	0.107	0.234	0.267	0.396	0.086	0.206	0.088	0.205	0.256	0.367	0.148	0.278	0.197	0.323	0.093	0.217	0.081	0.203
	192	0.172	0.294	0.177	0.299	0.226	0.344	0.351	0.459	0.177	0.299	0.176	0.299	0.470	0.509	0.271	0.315	0.300	0.369	0.184	0.307	**0.157**	**0.293**
	336	0.330	0.416	0.331	0.417	0.367	0.448	1.324	0.853	0.331	0.417	**0.301**	**0.397**	1.268	0.883	0.460	0.427	0.509	0.524	0.351	0.432	0.305	0.414
	720	0.884	0.737	0.888	0.739	0.964	0.746	1.058	0.797	0.847	0.691	0.901	0.714	1.767	1.068	1.195	0.695	1.447	0.941	0.886	0.714	**0.643**	**0.601**
	Avg	0.366	0.411	0.370	0.414	0.416	0.443	0.750	0.626	0.360	0.403	0.367	0.404	0.940	0.707	0.519	0.429	0.613	0.539	0.379	0.418	**0.297**	**0.378**
Traffic	96	**0.357**	**0.248**	0.372	0.261	0.593	0.321	0.788	0.499	0.395	0.268	0.401	0.267	0.522	0.290	0.587	0.366	0.613	0.388	0.649	0.389	0.410	0.282
	192	**0.374**	**0.253**	0.388	0.266	0.617	0.336	0.789	0.505	0.417	0.276	0.406	0.268	0.530	0.293	0.604	0.373	0.616	0.382	0.601	0.366	0.423	0.287
	336	**0.384**	**0.259**	0.394	0.269	0.629	0.336	0.797	0.508	0.433	0.283	0.421	0.277	0.558	0.305	0.621	0.383	0.622	0.337	0.609	0.369	0.436	0.296
	720	**0.423**	**0.281**	0.430	0.289	0.640	0.350	0.841	0.523	0.467	0.302	0.452	0.297	0.589	0.328	0.626	0.382	0.660	0.408	0.647	0.387	0.466	0.315
	Avg	**0.384**	**0.260**	0.396	0.271	0.620	0.336	0.804	0.509	0.428	0.282	0.420	0.277	0.550	0.304	0.610	0.376	0.628	0.379	0.627	0.378	0.434	0.295
Weather	96	**0.146**	**0.195**	0.148	0.197	0.172	0.220	0.221	0.306	0.174	0.214	0.160	0.204	0.158	0.230	0.217	0.296	0.266	0.336	0.192	0.232	0.176	0.237
	192	**0.192**	**0.238**	0.193	0.241	0.219	0.261	0.261	0.340	0.221	0.254	0.204	0.245	0.206	0.277	0.276	0.336	0.307	0.367	0.240	0.271	0.220	0.282
	336	**0.244**	**0.279**	0.245	0.282	0.280	0.306	0.309	0.378	0.278	0.296	0.257	0.285	0.272	0.335	0.339	0.380	0.359	0.395	0.292	0.307	0.265	0.319
	720	**0.322**	**0.334**	0.325	0.337	0.365	0.359	0.377	0.427	0.358	0.349	0.329	0.338	0.398	0.418	0.403	0.428	0.419	0.428	0.364	0.353	0.323	0.362
	Avg	**0.226**	**0.261**	0.228	0.264	0.259	0.287	0.292	0.363	0.258	0.278	0.238	0.268	0.259	0.315	0.309	0.360	0.338	0.382	0.272	0.291	0.246	0.300
Solar-Energy	96	**0.195**	**0.230**	0.198	0.236	0.250	0.292	0.237	0.344	0.203	0.237	0.234	0.286	0.310	0.331	0.242	0.342	0.884	0.711	0.322	0.339	0.290	0.378
	192	0.234	0.260	**0.230**	**0.258**	0.296	0.318	0.280	0.380	0.233	0.261	0.267	0.310	0.734	0.725	0.285	0.380	0.834	0.692	0.359	0.356	0.320	0.398
	336	**0.246**	**0.268**	0.248	0.270	0.319	0.330	0.304	0.389	0.248	0.273	0.290	0.315	0.750	0.735	0.282	0.376	0.941	0.723	0.397	0.369	0.353	0.415
	720	**0.246**	**0.268**	0.247	0.269	0.338	0.337	0.308	0.388	0.249	0.275	0.289	0.317	0.769	0.765	0.357	0.427	0.882	0.717	0.397	0.356	0.356	0.413
	Avg	**0.230**	**0.256**	0.230	0.258	0.301	0.319	0.382	0.375	0.233	0.262	0.270	0.307	0.641	0.639	0.291	0.381	0.885	0.711	0.369	0.356	0.330	0.401
PEMS03	12	**0.061**	**0.163**	0.065	0.168	0.085	0.192	0.066	0.172	0.071	0.174	0.099	0.216	0.090	0.203	0.126	0.251	0.272	0.385	0.126	0.236	0.122	0.243
	24	**0.080**	**0.185**	0.084	0.191	0.118	0.223	0.085	0.198	0.093	0.201	0.142	0.259	0.121	0.240	0.149	0.275	0.334	0.440	0.246	0.334	0.201	0.317
	48	**0.111**	**0.216**	0.117	0.222	0.155	0.260	0.127	0.238	0.125	0.236	0.211	0.319	0.202	0.317	0.227	0.348	1.032	0.782	0.551	0.529	0.333	0.425
	96	**0.143**	**0.245**	0.151	0.251	0.228	0.317	0.178	0.287	0.164	0.275	0.269	0.370	0.262	0.367	0.348	0.434	1.031	0.796	1.057	0.787	0.457	0.515
	Avg	**0.098**	**0.202**	0.104	0.208	0.147	0.248	0.114	0.224	0.113	0.221	0.180	0.291	0.169	0.281	0.213	0.327	0.667	0.601	0.495	0.472	0.278	0.375
PEMS04	12	0.074	**0.176**	0.074	0.176	0.087	0.195	**0.073**	0.177	0.078	0.183	0.105	0.224	0.098	0.218	0.138	0.262	0.424	0.491	0.138	0.252	0.148	0.272
	24	0.091	0.196	0.090	0.195	0.103	0.215	**0.084**	**0.193**	0.095	0.205	0.153	0.275	0.131	0.256	0.177	0.293	0.459	0.509	0.258	0.348	0.224	0.340
	48	0.114	0.217	0.113	0.217	0.136	0.250	**0.099**	**0.211**	0.120	0.233	0.229	0.339	0.205	0.326	0.270	0.368	0.646	0.610	0.572	0.544	0.355	0.437
	96	0.136	0.235	0.140	0.242	0.190	0.303	**0.114**	**0.227**	0.150	0.262	0.291	0.389	0.402	0.457	0.341	0.427	0.912	0.748	1.137	0.820	0.452	0.504
	Avg	0.103	0.206	0.104	0.207	0.129	0.241	**0.092**	**0.202**	0.111	0.221	0.195	0.307	0.209	0.314	0.231	0.337	0.610	0.590	0.526	0.491	0.295	0.388
PEMS07	12	**0.056**	**0.154**	0.056	0.154	0.082	0.181	0.068	0.171	0.067	0.165	0.095	0.207	0.094	0.200	0.109	0.225	0.199	0.336	0.118	0.235	0.115	0.242
	24	**0.071**	**0.174**	0.072	0.175	0.101	0.204	0.119	0.225	0.088	0.190	0.150	0.262	0.139	0.247	0.125	0.244	0.323	0.420	0.242	0.341	0.210	0.329
	48	0.097	0.203	**0.096**	**0.203**	0.134	0.238	0.149	0.237	0.110	0.215	0.253	0.340	0.311	0.369	0.165	0.288	0.390	0.470	0.562	0.541	0.398	0.458
	96	0.121	0.229	**0.120**	**0.227**	0.181	0.279	0.141	0.234	0.139	0.245	0.346	0.404	0.396	0.442	0.262	0.376	0.554	0.578	1.096	0.795	0.594	0.553
	Avg	0.086	0.190	**0.086**	**0.189**	0.124	0.225	0.119	0.234	0.101	0.204	0.211	0.303	0.235	0.315	0.165	0.283	0.367	0.451	0.504	0.478	0.329	0.395
PEMS08	12	**0.072**	**0.173**	0.072	0.174	0.112	0.212	0.087	0.184	0.079	0.182	0.168	0.232	0.165	0.214	0.173	0.273	0.436	0.485	0.133	0.247	0.154	0.276
	24	0.096	**0.195**	**0.095**	0.196	0.141	0.238	0.122	0.221	0.115	0.219	0.224	0.281	0.215	0.260	0.210	0.301	0.467	0.502	0.249	0.343	0.248	0.353
	48	**0.139**	**0.228**	0.140	0.232	0.198	0.283	0.189	0.270	0.186	0.235	0.321	0.354	0.315	0.355	0.320	0.394	0.966	0.733	0.569	0.544	0.440	0.470
	96	**0.202**	**0.248**	0.207	0.263	0.320	0.351	0.236	0.300	0.221	0.267	0.408	0.417	0.377	0.397	0.442	0.465	1.385	0.915	1.166	0.814	0.674	0.565
	Avg	**0.127**	**0.211**	0.128	0.216	0.193	0.271	0.158	0.244	0.150	0.226	0.280	0.321	0.268	0.307	0.286	0.358	0.814	0.659	0.529	0.487	0.379	0.416

TABLE S(II)
SMCNET PERFORMANCE ROBUSTNESS ACROSS FIVE RANDOM SEEDS.

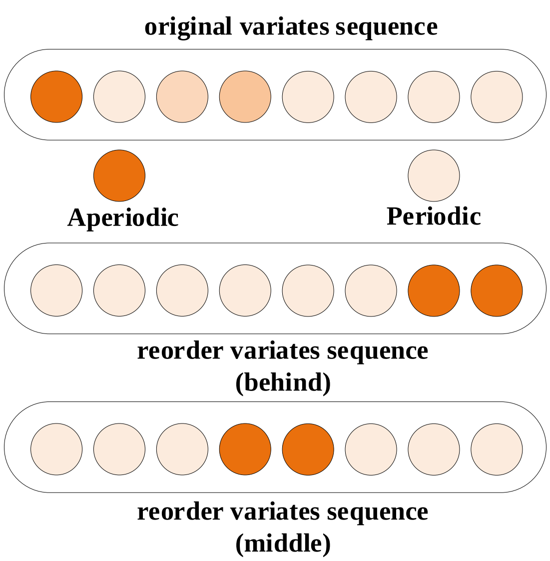
Datasets	ETTh2		Exchange		Weather		Solar-Energy		PEMS08	
Horizon	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE
96	0.267±0.001	0.330±0.001	0.079±0.001	0.199±0.000	0.146±0.001	0.195±0.001	0.195±0.000	0.230±0.002	0.072±0.000	0.173±0.001
192	0.323±0.002	0.370±0.001	0.172±0.001	0.294±0.001	0.192±0.001	0.238±0.001	0.234±0.002	0.260±0.003	0.096±0.001	0.195±0.000
336	0.308±0.001	0.367±0.001	0.330±0.002	0.416±0.002	0.244±0.001	0.279±0.001	0.246±0.001	0.268±0.001	0.139±0.001	0.228±0.001
720	0.386±0.002	0.426±0.001	0.884±0.001	0.737±0.001	0.322±0.001	0.334±0.001	0.246±0.001	0.268±0.001	0.202±0.000	0.248±0.002



(a) Noise Robustness Evaluation on ETTh1 Dataset

(b) Noise Robustness Evaluation on ETTh2 Dataset

Fig. S3. Effectiveness analysis of the adaptive frequency-weighting mechanism in noise attenuation.



	MSE	MAE
SMCNet	0.137	0.225
iTransformer	0.148	0.240

	MSE	MAE
SMCNet	0.137	0.225
iTransformer	0.147	0.239

	MSE	MAE
SMCNet	0.138	0.225
iTransformer	0.148	0.239

Fig. S4. The distributions of periodic and aperiodic variables in the ECL dataset were modified. The left panel visualizes these distributions, while the right panel illustrates the model's performance.

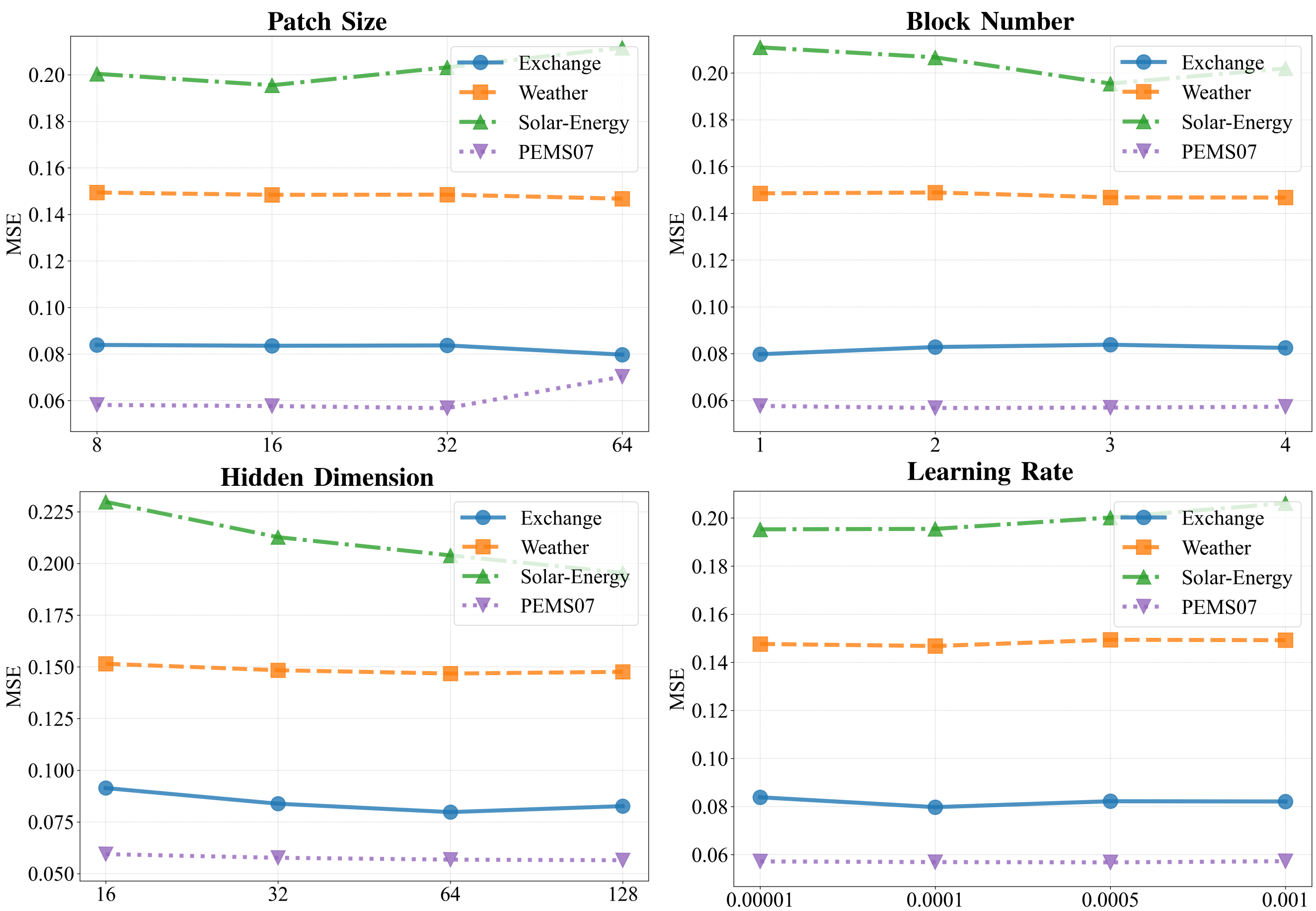


Fig. S5. Performance sensitivity analysis of SMCNet under four parameters: Patch Size, Number of Network Blocks, Hidden Dimension, and Learning Rate.