

Supplementary Materials for

A multi-dimensional collaborative correction mechanism of water scarcity footprint characterization factors for China's regional sustainable development

This Supplementary Materials section contains 7-page document, including Principal component analysis Python code, four figures, and this cover page.

Principal component analysis Python code

```
import pandas as pd

from sklearn.decomposition import PCA

file_path = 'water_data.xlsx'
data = pd.read_excel(file_path, sheet_name='Sheet3')

natural_factors = data.iloc[:, 2:5]
print(natural_factors)
economic_factors = data.iloc[:, 5:8]
social_factors = data.iloc[:, 8:11]

def perform_pca(factors_df):
    factors_df = factors_df.apply(pd.to_numeric, errors='coerce')
    factors_df.dropna(inplace=True)

    pca = PCA()
    pca.fit(factors_df)

    num_components = pca.n_components_
    explained_variance_ratio = pca.explained_variance_ratio_

    cumulative_variance = explained_variance_ratio.cumsum()
    selected_components = [i for i, v in enumerate(cumulative_variance) if v <= 0.7]

    principal_components = pd.DataFrame(pca.components_[0:num_components],
                                         columns=factors_df.columns,
                                         index=[f'PC {i+1}' for i in range(num_components)])
```

```

return principal_components, explained_variance_ratio, selected_components

natural_pca, natural_variance, natural_selected = perform_pca(natural_factors)
economic_pca, economic_variance, economic_selected = perform_pca(economic_factors)
social_pca, social_variance, social_selected = perform_pca(social_factors)

def print_pca_results(pca_df, variance, selected_indices, category):
    print(f"\n{category}Principal Component::")
    print(pca_df)

    print(f"\n{category}Principal component explained variance proportion:")
    for i, var in enumerate(variance):
        print(f"PC { i + 1 }: {var:.4f}")

    print(f"\nPrincipal components accounting for more than 70% of variance:")
    for index in selected_indices:
        if index < len(variance):
            print(f"  PC {index + 1}: {variance[index]:.4f}")

print_pca_results(natural_pca, natural_variance, natural_selected, "Natural factors")
print_pca_results(economic_pca, economic_variance, economic_selected, "Economic factors")
print_pca_results(social_pca, social_variance, social_selected, "Social factor")

```

	2019	2020	2021	2022	2023	Average
Beijing	0.2674	0.2166	0.1087	0.2200	0.1332	0.1892
Tianjin	0.4402	0.2945	0.1483	0.2803	0.2432	0.2813
Hebei	0.3336	0.2529	0.1093	0.1618	0.1232	0.1962
Shanxi	0.2828	0.1398	0.1021	0.1191	0.1004	0.1488
Inner Mongolia	0.2730	0.2586	0.1057	0.1227	0.1046	0.1729
Liaoning	0.1998	0.1446	0.1289	0.1240	0.1308	0.1456
Jilin	0.1814	0.1825	0.1151	0.1017	0.0962	0.1354
Heilongjiang	0.1648	0.1471	0.1462	0.1586	0.1369	0.1507
Shanghai	0.3146	0.2623	0.2940	0.4463	0.3402	0.3315
Jiangsu	0.4112	0.2132	0.2093	0.4386	0.2276	0.3000
Zhejiang	0.0545	0.0803	0.0582	0.0985	0.1037	0.0790
Anhui	0.1569	0.0707	0.0879	0.1379	0.0956	0.1098
Fujian	0.1175	0.1804	0.1673	0.1433	0.1454	0.1508
Jiangxi	0.1202	0.1414	0.1523	0.1782	0.1394	0.1463
Shangdong	0.2215	0.1297	0.0910	0.0990	0.1353	0.1353
Henan	0.2443	0.1290	0.0806	0.1586	0.0861	0.1397
Hubei	0.1794	0.0807	0.1135	0.1623	0.1169	0.1306
Hunan	0.1214	0.1147	0.1192	0.1370	0.1352	0.1255
Guangdong	0.1610	0.1861	0.1974	0.1622	0.1718	0.1757
Guangxi	0.1882	0.1833	0.1973	0.1860	0.1854	0.1880
Hainan	0.2288	0.1903	0.2019	0.1716	0.1737	0.1933
Chongqing	0.1199	0.0771	0.0736	0.1075	0.0689	0.0894
Sichuan	0.1265	0.1007	0.0971	0.1152	0.0977	0.1075
Guizhou	0.1260	0.0839	0.1005	0.1176	0.1084	0.1073
Yunnan	0.1456	0.1170	0.1039	0.1049	0.0963	0.1135
Tibet	0.1716	0.1475	0.1368	0.1435	0.1270	0.1453
Shannxi	0.1479	0.1191	0.0848	0.1182	0.0865	0.1113
Gansu	0.2079	0.1674	0.1618	0.1762	0.1653	0.1757
Qinghai	0.1818	0.1457	0.1345	0.1429	0.1185	0.1447
Ningxia	0.7368	0.7898	0.8603	0.8588	0.9071	0.8306
Xinjiang	0.2622	0.2388	0.2246	0.2195	0.2027	0.2296
Weight distribution	X1 (0.12) ; X2 (0.16) ; X3 (0.72) .	X1 (0.08) ; X2 (0.18) ; X3 (0.74) .	X1 (0.06) ; X2 (0.18) ; X3 (0.76) .	X1 (0.07) ; X2 (0.18) ; X3 (0.75) .	X1 (0.05) ; X2 (0.18) ; X3 (0.77) .	/

Figure S1. Temporal distribution of composite natural factor evaluation indices across Chinese regions.

	2019	2020	2021	2022	2023	Average
Beijing	0.0147	0.0116	0.0063	0.0018	0.0028	0.0075
Tianjin	0.0699	0.0628	0.0587	0.0619	0.0616	0.0630
Hebei	0.1439	0.1389	0.1175	0.1166	0.1178	0.1269
Shanxi	0.1464	0.1337	0.1048	0.1029	0.1061	0.1188
Inner Mongolia	0.2610	0.2552	0.2048	0.1881	0.1986	0.2215
Liaoning	0.1609	0.1550	0.1354	0.1293	0.1269	0.1415
Jilin	0.2857	0.2390	0.2019	0.2055	0.2020	0.2268
Heilongjiang	0.5275	0.5281	0.4740	0.3909	0.3614	0.4564
Shanghai	0.2154	0.2080	0.2286	0.2386	0.2308	0.2243
Jiangsu	0.3111	0.2901	0.2723	0.2743	0.2626	0.2821
Zhejiang	0.1091	0.0995	0.0835	0.0878	0.0865	0.0933
Anhui	0.3566	0.3289	0.3148	0.3200	0.2993	0.3239
Fujian	0.1949	0.1663	0.1359	0.1109	0.1115	0.1439
Jiangxi	0.3751	0.3317	0.2862	0.2644	0.2425	0.3000
Shandong	0.1054	0.1020	0.0854	0.0909	0.0920	0.0951
Henan	0.1626	0.1461	0.1168	0.1091	0.1096	0.1288
Hubei	0.2909	0.2786	0.2896	0.2758	0.2480	0.2766
Hunan	0.3777	0.2636	0.2582	0.2319	0.2250	0.2713
Guangdong	0.1410	0.1284	0.1104	0.1104	0.1084	0.1197
Guangxi	0.4974	0.3909	0.3673	0.3226	0.3281	0.3812
Hainan	0.2804	0.2092	0.1702	0.1565	0.1556	0.1944
Chongqing	0.1941	0.1309	0.1295	0.1244	0.1404	0.1439
Sichuan	0.1829	0.1402	0.1199	0.1208	0.1168	0.1362
Guizhou	0.2857	0.2160	0.2141	0.1559	0.1499	0.2043
Yunnan	0.2338	0.2003	0.1749	0.1653	0.1572	0.1863
Tibet	0.6346	0.5066	0.4209	0.4073	0.3630	0.4665
Shannxi	0.1262	0.1134	0.0935	0.0962	0.0982	0.1055
Gansu	0.3089	0.2710	0.2328	0.2155	0.2151	0.2487
Qinghai	0.2500	0.2297	0.2029	0.1937	0.2025	0.2158
Ningxia	0.3932	0.3761	0.3059	0.2711	0.2709	0.3234
Xinjiang	0.7230	0.6994	0.5788	0.4879	0.5195	0.6017
Weight distribution	X1 (0.60) ; X2 (0.06) ; X3 (0.34) .	X1 (0.60) ; X2 (0.06) ; X3 (0.34) .	X1 (0.57) ; X2 (0.05) ; X3 (0.38) .	X1 (0.52) ; X2 (0.06) ; X3 (0.42) .	X1 (0.54) ; X2 (0.07) ; X3 (0.39) .	/

Figure S2. Temporal evolution of composite economic factor evaluation indices across Chinese regions.

	2019	2020	2021	2022	2023	Average
Beijing	0.4354	0.4220	0.3589	0.3569	0.3528	0.3852
Tianjin	0.3548	0.3561	0.2796	0.2831	0.2844	0.3116
Hebei	0.1653	0.1574	0.1068	0.1027	0.1000	0.1264
Shanxi	0.1265	0.1255	0.0860	0.0857	0.0821	0.1012
Inner Mongolia	0.1035	0.1021	0.0605	0.0564	0.0508	0.0747
Liaoning	0.1762	0.1366	0.1372	0.1364	0.1299	0.1433
Jilin	0.1229	0.1206	0.0885	0.0876	0.0826	0.1004
Heilongjiang	0.1083	0.1094	0.0815	0.0737	0.0682	0.0882
Shanghai	0.9698	0.9786	0.8350	0.8378	0.8375	0.8917
Jiangsu	0.3119	0.3040	0.2595	0.2592	0.2571	0.2783
Zhejiang	0.2703	0.2536	0.2183	0.2236	0.2231	0.2378
Anhui	0.1852	0.1831	0.1541	0.1537	0.1522	0.1656
Fujian	0.2124	0.1965	0.1678	0.1659	0.1563	0.1798
Jiangxi	0.1675	0.1573	0.1316	0.1326	0.1309	0.1440
Shandong	0.2103	0.2075	0.1532	0.1535	0.1556	0.1760
Henan	0.1983	0.1935	0.1459	0.1436	0.1405	0.1644
Hubei	0.1820	0.1774	0.1572	0.1589	0.1575	0.1666
Hunan	0.1717	0.1687	0.1490	0.1429	0.1392	0.1543
Guangdong	0.3032	0.2877	0.2665	0.2640	0.2565	0.2756
Guangxi	0.1675	0.1532	0.1364	0.1366	0.1334	0.1454
Hainan	0.1970	0.1839	0.1708	0.1837	0.1853	0.1841
Chongqing	0.2106	0.2003	0.1752	0.1755	0.1692	0.1861
Sichuan	0.1459	0.1371	0.1202	0.1220	0.1235	0.1298
Guizhou	0.1186	0.1150	0.0915	0.0957	0.0974	0.1037
Yunnan	0.1004	0.0972	0.0787	0.0763	0.0741	0.0854
Tibet	0.0802	0.0594	0.0404	0.0648	0.0594	0.0608
Shannxi	0.1343	0.1227	0.0910	0.0905	0.0879	0.1053
Gansu	0.0600	0.0685	0.0389	0.0475	0.0471	0.0524
Qinghai	0.0848	0.0799	0.0471	0.0466	0.0472	0.0611
Ningxia	0.1019	0.1044	0.0635	0.0617	0.0597	0.0782
Xinjiang	0.1171	0.1125	0.1190	0.1196	0.1149	0.1166
Weight distribution	X1 (0.11) ; X2 (0.80) ; X3 (0.09) .	X1 (0.09) ; X2 (0.83) ; X3 (0.08) .	X1 (0.07) ; X2 (0.69) ; X3 (0.24) .	X1 (0.07) ; X2 (0.69) ; X3 (0.24) .	X1 (0.06) ; X2 (0.70) ; X3 (0.24) .	/

Figure S3. Temporal evolution of composite social factor evaluation indices across Chinese regions.

	2019	2020	2021	2022	2023	Average
Beijing	0.2392	0.2167	0.1580	0.1929	0.1630	0.1939
Tianjin	0.2883	0.2378	0.1622	0.2084	0.1964	0.2186
Hebei	0.2142	0.1831	0.1112	0.1270	0.1137	0.1498
Shanxi	0.1852	0.1330	0.0976	0.1026	0.0962	0.1229
Inner Mongolia	0.2125	0.2053	0.1237	0.1224	0.1180	0.1564
Liaoning	0.1790	0.1454	0.1339	0.1299	0.1292	0.1435
Jilin	0.1967	0.1807	0.1352	0.1316	0.1269	0.1542
Heilongjiang	0.2668	0.2615	0.2339	0.2077	0.1888	0.2318
Shanghai	0.4999	0.4830	0.4525	0.5076	0.4695	0.4825
Jiangsu	0.3447	0.2691	0.2470	0.3240	0.2491	0.2868
Zhejiang	0.1446	0.1445	0.1200	0.1366	0.1378	0.1367
Anhui	0.2329	0.1942	0.1856	0.2039	0.1824	0.1998
Fujian	0.1749	0.1811	0.1570	0.1400	0.1378	0.1582
Jiangxi	0.2209	0.2101	0.1900	0.1917	0.1709	0.1968
Shandong	0.1791	0.1464	0.1099	0.1145	0.1276	0.1355
Henan	0.2017	0.1562	0.1144	0.1371	0.1120	0.1443
Hubei	0.2174	0.1789	0.1868	0.1990	0.1741	0.1913
Hunan	0.2236	0.1823	0.1755	0.1706	0.1665	0.1837
Guangdong	0.2017	0.2007	0.1915	0.1789	0.1789	0.1903
Guangxi	0.2843	0.2425	0.2337	0.2150	0.2157	0.2382
Hainan	0.2354	0.1945	0.1810	0.1706	0.1715	0.1906
Chongqing	0.1749	0.1361	0.1261	0.1358	0.1262	0.1398
Sichuan	0.1518	0.1260	0.1124	0.1194	0.1127	0.1245
Guizhou	0.1768	0.1383	0.1354	0.1231	0.1186	0.1384
Yunnan	0.1599	0.1382	0.1192	0.1155	0.1092	0.1284
Tibet	0.2955	0.2378	0.1994	0.2052	0.1831	0.2242
Shannxi	0.1362	0.1184	0.0898	0.1016	0.0909	0.1074
Gansu	0.1923	0.1690	0.1445	0.1464	0.1425	0.1589
Qinghai	0.1722	0.1518	0.1282	0.1277	0.1227	0.1405
Ningxia	0.4106	0.4234	0.4099	0.3972	0.4125	0.4108
Xinjiang	0.3674	0.3502	0.3075	0.2757	0.2790	0.3160
Weight distribution	Natural factors (1/3); Economic factors (1/3); Social factors (1/3).					/

Figure S4. Temporal distribution of the comprehensive evaluation index of regional composite factors in China.