Prozhefa.com

u \ N	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8
1.03	0.618	0.535	0.469	0.415	0.370	0.333	0.300	0.272	0.249	0.228
1.04	0.554	0.477	0.415	0.365	0.324	0.290	0.262	0.236	0.214	0.195
1.05	0.504	0.432	0.374	0.328	0.289	0.259	0.231	0.208	0.189	0.174
1.06	0.464	0.396	0.342	0.298	0.262	0.233	0.209	0.187	0.170	0.154
1.07	0.431	0.366	0.315	0.273	0.239	0.212	0.191	0.168	0.151	0.136
1.08	0.403	0.341	0.292	0.252	0.220	0.194	0.172	0.153	0.137	0.123
1.09	0.379	0.319	0.272	0.234	0.204	0.179	0.158	0.140	0.125	0.112
1.10	0.357	0.299	0.254	0.218	0.189	0.165	0.146	0.129	0.114	0.102
1.11	0.338	0.282	0.239	0.204	0.176	0.154	0.135	0.119	0.105	0.094
1.12	0.321	0.267	0.225	0.192	0.165	0.143	0.125	0.110	0.097	0.086
1.13	0.305	0.253	0.212	0.181	0.155	0.135	0.117	0.102	0.090	0.080
1.14	0.291	0.240	0.201	0.170	0.146	0.126	0.109	0.095	0.084	0.074
1.15	0.278	0.229	0.191	0.161	0.137	0.118	0.102	0.089	0.078	0.068
1.16	0.266	0.218	0.181	0.153	0.130	0.111	0.096	0.084	0.072	0.064
1.17	0.255	0.208	0.173	0.145	0.123	0.105	0.090	0.078	0.068	0.060
1.18	0.244	0.199	0.165	0.138	0.116	0.099	0.085	0.073	0.063	0.055
1.19	0.235	0.191	0.157	0.131	0.110	0.094	0.080	0.068	0.059	0.051
1.20	0.226	0.183	0.150	0.215	0.105	0.088	0.076	0.064	0.056	0.048
1.22	0.209	0.168	0.138	0.114	0.095	0.080	0.068	0.057	0.049	0.042
1.24	0.195	0.156	0.127	0.104	0.086	0.072	0.060	0.051	0.044	0.038
1.26	0.182	0.145	0.117	0.095	0.079	0.065	0.055	0.046	0.039	0.033
1.28	0.170	0.135	0.108	0.088	0.072	0.060	0.050	0.041	0.035	0.030
1.30	0.160	0.126	0.100	0.081	0.066	0.054	0.045	0.037	0.031	0.026
1.32	0.150	0.118	0.093	0.075	0.061	0.050	0.041	0.034	0.028	0.024
1.34	0.142	0.110	0.087	0.069	0.056	0.045	0.037	0.030	0.025	0.021
1.36	0.134	0.103	0.081	0.064	0.052	0.042	0.034	0.028	0.023	0.019
1.38	0.127	0.097	0.076	0.060	0.048	0.038	0.032	0.026	0.021	0.017
1.40	0.120	0.092	0.071	0.056	0.044	0.036	0.028	0.023	0.019	0.016
1.42	0.114	0.087	0.067	0.052	0.041	0.033	0.026	0.021	0.017	0.014
1.44	0.108	0.082	0.063	0.049	0.038	0.030	0.024	0.019	0.016	0.013
1.46	0.103	0.077	0.059	0.046	0.036	0.028	0.022	0.018	0.014	0.012
1.48	0.098	0.073	0.056	0.043	0.033	0.026	0.021	0.017	0.013	0.010
1.50	0.093	0.069	0.053	0.040	0.031	0.024	0.020	0.015	0.012	0.009
1.55	0.083	0.061	0.046	0.035	0.026	0.020	0.016	0.012	0.010	0.008
1.60	0.074	0.054	0.040	0.030	0.023	0.017	0.013	0.010	0.008	0.006
1.65	0.067	0.048	0.035	0.026	0.019	0.014	0.011	0.008	0.006	0.005
1.70	0.060	0.043	0.031	0.023	0.016	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004
1.75	0.054	0.038	0.027	0.020	0.014	0.010	0.008	0.006	0.004	0.003
1.80	0.049	0.034	0.024	0.017	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004	0.003
1.85	0.045	0.031	0.022	0.015	0.011	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002

Prozhefa.com

u \ N	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8
1.90	0.041	0.028	0.020	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002
1.95	0.038	0.026	0.018	0.012	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002
2.00	0.035	0.023	0.016	0.011	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001
2.10	0.030	0.019	0.013	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
2.20	0.025	0.016	0.011	0.007	0.005	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
2.3	0.022	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
2.4	0.019	0.012	0.008	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
2.5	0.017	0.010	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001
2.6	0.015	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
2.7	0.013	0.008	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2.8	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2.9	0.010	0.006	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
3.0	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
3.5	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.0	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.5	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.0	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.0	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.0	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Prozhefa.com

u \ N	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.220	0.220	0.220	0.200	0.220
0.24	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
0.28	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
0.30	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.32	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
0.34	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
0.36	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360
0.38	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
0.40	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
0.42	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420
0.44	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440
0.46	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460
0.48	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480
0.50	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.52	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520
0.54	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540
0.56	0.561	0.560	0.560	0.560	0.560
0.58	0.581	0.581	0.580	0.580	0.580
0.60	0.601	0.601	0.601	0.600	0.600
0.61	0.611	0.611	0.611	0.611	0.610
0.62	0.621	0.621	0.621	0.621	0.621
0.63	0.632	0.631	0.631	0.631	0.631
0.64	0.642	0.641	0.641	0.641	0.641
0.65	0.652	0.652	0.651	0.651	0.651
0.66	0.662	0.662	0.662	0.661	0.661
0.67	0.673	0.672	0.672	0.672	0.671
0.68	0.683	0.683	0.682	0.682	0.681
0.69	0.694	0.693	0.692	0.692	0.692

Prozhefa.com

u \ N	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8
0.70	0.704	0.704	0.703	0.702	0.702
0.71	0.715	0.714	0.713	0.713	0.712
0.72	0.726	0.725	0.724	0.723	0.723
0.73	0.736	0.735	0.734	0.734	0.733
0.74	0.747	0.746	0.745	0.744	0.744
0.75	0.758	0.757	0.756	0.755	0.754
0.76	0.769	0.768	0.767	0.766	0.765
0.77	0.780	0.779	0.778	0.777	0.776
0.78	0.792	0.790	0.789	0.788	0.787
0.79	0.804	0.802	0.800	0.799	0.798
0.80	0.815	0.813	0.811	0.810	0.809
0.81	0.827	0.825	0.823	0.822	0.820
0.82	0.839	0.837	0.835	0.833	0.831
0.83	0.852	0.849	0.847	0.845	0.844
0.84	0.856	0.862	0.860	0.858	0.856
0.85	0.878	0.875	0.873	0.870	0.868
0.86	0.892	0.889	0.886	0.883	0.881
0.87	0.907	0.903	0.900	0.897	0.894
0.88	0.921	0.918	0.914	0.911	0.908
0.89	0.937	0.933	0.929	0.925	0.922
0.90	0.954	0.949	0.944	0.940	0.937
0.91	0.972	0.967	0.961	0.957	0.953
0.92	0.991	0.986	0.980	0.975	0.970
0.93	1.012	1.006	0.999	0.994	0.989
0.94	1.036	1.029	1.022	1.016	1.010
0.950	1.062	1.055	1.047	1.040	1.033
0.960	1.097	1.085	1.074	1.063	1.053
0.970	1.136	1.124	1.112	1.100	1.087
0.975	1.157	1.147	1.134	1.122	1.108
0.980	1.187	1.175	1.160	1.150	1.132
0.985	1.224	1.210	1.196	1.183	1.165
0.990	1.275	1.260	1.243	1.228	1.208
0.995	1.363	1.342	1.320	1.302	1.280
0.999	1.560	1.530	1.500	1.476	1.447
1.000	∞	∞	∞	∞	∞
1.001	0.614	0.577	0.546	0.519	0.494
1.005	0.420	0.391	0.368	0.350	0.331
1.010	0.337	0.313	0.294	0.278	0.262
1.015	0.289	0.269	0.255	0.237	0.223
1.020	0.257	0.237	0.221	0.209	0.196

Prozhefa.com

u \ N	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8
1.03	0.212	0.195	0.181	0.170	0.159
1.04	0.173	0.165	0.152	0.143	0.134
1.05	0.158	0.143	0.132	0.124	0.115
1.06	0.140	0.127	0.116	0.106	0.098
1.07	0.123	0.112	0.102	0.094	0.086
1.08	0.111	0.101	0.092	0.084	0.077
1.09	0.101	0.091	0.082	0.075	0.069
1.10	0.092	0.083	0.074	0.067	0.062
1.11	0.084	0.075	0.067	0.060	0.055
1.12	0.077	0.069	0.062	0.055	0.050
1.13	0.071	0.063	0.056	0.050	0.045
1.14	0.065	0.058	0.052	0.046	0.041
1.15	0.061	0.054	0.048	0.043	0.038
1.16	0.056	0.050	0.045	0.040	0.035
1.17	0.052	0.046	0.041	0.036	0.032
1.18	0.048	0.042	0.037	0.033	0.029
1.19	0.045	0.039	0.034	0.030	0.027
1.20	0.043	0.037	0.032	0.028	0.025
1.22	0.037	0.032	0.028	0.024	0.021
1.24	0.032	0.028	0.024	0.021	0.018
1.26	0.028	0.024	0.021	0.018	0.016
1.28	0.025	0.021	0.018	0.016	0.014
1.30	0.022	0.019	0.016	0.014	0.012
1.32	0.020	0.017	0.014	0.012	0.010
1.34	0.018	0.015	0.012	0.010	0.009
1.36	0.016	0.013	0.011	0.009	0.008
1.38	0.014	0.012	0.010	0.008	0.007
1.40	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
1.42	0.011	0.009	0.008	0.006	0.005
1.44	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
1.46	0.009	0.008	0.006	0.005	0.004
1.48	0.009	0.007	0.005	0.004	0.004
1.50	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003
1.55	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
1.60	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
1.65	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001
1.70	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
1.75	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
1.80	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
1.85	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001

Prozhefa.com

u \ N	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8
1.90	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
1.95	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
2.00	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2.10	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
2.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Prozhefa.com

جدول محاسبهٔ $F(u, N)$ برای شیب منفی

u \ N	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.099	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.199	0.119	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.139	0.139	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.158	0.159	0.159	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.178	0.179	0.179	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.197	0.198	0.199	0.199	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.216	0.217	0.218	0.219	0.219	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.24	0.234	0.236	0.237	0.238	0.239	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.253	0.255	0.256	0.257	0.258	0.259	0.259	0.260	0.260	0.260
0.28	0.272	0.274	0.275	0.276	0.277	0.278	0.278	0.279	0.280	0.280
0.30	0.291	0.293	0.294	0.295	0.296	0.297	0.298	0.298	0.299	0.299
0.32	0.308	0.311	0.313	0.314	0.316	0.317	0.318	0.318	0.319	0.319
0.34	0.326	0.329	0.331	0.333	0.335	0.337	0.338	0.338	0.339	0.339
0.36	0.344	0.347	0.350	0.352	0.354	0.356	0.357	0.357	0.358	0.358
0.38	0.362	0.355	0.368	0.371	0.373	0.374	0.375	0.376	0.377	0.377

Prozhefa.com

u \ N	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
0.40	0.380	0.384	0.387	0.390	0.392	0.393	0.394	0.395	0.396	0.396
0.42	0.397	0.401	0.405	0.407	0.409	0.411	0.412	0.413	0.414	0.414
0.44	0.414	0.419	0.423	0.426	0.429	0.430	0.432	0.433	0.434	0.435
0.46	0.431	0.437	0.440	0.444	0.447	0.449	0.451	0.452	0.453	0.454
0.48	0.447	0.453	0.458	0.461	0.464	0.467	0.469	0.471	0.472	0.473
0.50	0.463	0.470	0.475	0.479	0.482	0.485	0.487	0.489	0.491	0.492
0.52	0.479	0.485	0.491	0.494	0.499	0.502	0.505	0.507	0.509	0.511
0.54	0.494	0.501	0.507	0.512	0.516	0.520	0.522	0.525	0.527	0.529
0.56	0.509	0.517	0.523	0.528	0.533	0.537	0.540	0.543	0.545	0.547
0.58	0.524	0.533	0.539	0.545	0.550	0.554	0.558	0.561	0.563	0.567
0.60	0.540	0.548	0.555	0.561	0.566	0.571	0.575	0.578	0.581	0.583
0.61	0.547	0.556	0.563	0.569	0.575	0.579	0.583	0.587	0.589	0.592
0.62	0.554	0.563	0.571	0.578	0.583	0.578	0.591	0.595	0.598	0.600
0.63	0.562	0.571	0.579	0.585	0.590	0.595	0.599	0.603	0.607	0.609
0.64	0.569	0.579	0.586	0.592	0.598	0.602	0.607	0.611	0.615	0.618
0.65	0.576	0.585	0.592	0.599	0.606	0.610	0.615	0.619	0.623	0.626
0.66	0.583	0.593	0.600	0.607	0.613	0.618	0.622	0.626	0.630	0.634
0.67	0.590	0.599	0.607	0.614	0.621	0.626	0.631	0.635	0.639	0.643
0.68	0.597	0.607	0.615	0.622	0.628	0.634	0.639	0.643	0.647	0.651
0.69	0.603	0.613	0.621	0.629	0.635	0.641	0.646	0.651	0.655	0.659
0.70	0.610	0.620	0.629	0.637	0.644	0.649	0.654	0.659	0.663	0.667
0.71	0.617	0.627	0.636	0.644	0.651	0.657	0.661	0.666	0.671	0.674
0.72	0.624	0.634	0.643	0.651	0.658	0.664	0.669	0.674	0.679	0.682
0.73	0.630	0.641	0.650	0.659	0.665	0.672	0.677	0.682	0.687	0.691
0.74	0.637	0.648	0.657	0.665	0.672	0.679	0.684	0.689	0.694	0.698
0.75	0.643	0.655	0.664	0.671	0.679	0.686	0.691	0.696	0.701	0.705
0.76	0.649	0.661	0.670	0.679	0.687	0.693	0.699	0.704	0.709	0.713
0.77	0.656	0.667	0.677	0.685	0.693	0.700	0.705	0.711	0.715	0.719
0.78	0.662	0.673	0.683	0.692	0.700	0.707	0.713	0.718	0.723	0.727
0.79	0.668	0.680	0.689	0.698	0.705	0.713	0.719	0.724	0.729	0.733
0.80	0.674	0.685	0.695	0.703	0.712	0.720	0.726	0.732	0.737	0.741
0.81	0.680	0.691	0.701	0.710	0.719	0.727	0.733	0.739	0.744	0.749
0.82	0.686	0.698	0.707	0.717	0.725	0.733	0.740	0.745	0.751	0.755
0.83	0.692	0.703	0.713	0.722	0.731	0.740	0.746	0.752	0.757	0.762
0.84	0.698	0.709	0.719	0.729	0.737	0.746	0.752	0.758	0.764	0.769
0.85	0.704	0.715	0.725	0.735	0.744	0.752	0.759	0.765	0.770	0.775
0.86	0.710	0.721	0.731	0.741	0.750	0.758	0.765	0.771	0.777	0.782
0.87	0.715	0.727	0.738	0.747	0.756	0.764	0.771	0.777	0.783	0.788
0.88	0.721	0.733	0.743	0.753	0.762	0.770	0.777	0.783	0.789	0.794
0.89	0.727	0.739	0.749	0.758	0.767	0.776	0.783	0.789	0.795	0.800

Prozhefa.com

u \ N	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
0.90	0.732	0.744	0.754	0.764	0.773	0.781	0.789	0.795	0.801	0.807
0.91	0.738	0.750	0.760	0.770	0.779	0.787	0.795	0.801	0.807	0.812
0.92	0.743	0.754	0.766	0.776	0.785	0.793	0.800	0.807	0.813	0.818
0.93	0.749	0.761	0.772	0.782	0.791	0.799	0.807	0.812	0.818	0.823
0.94	0.754	0.767	0.777	0.787	0.795	0.804	0.813	0.813	0.824	0.829
0.950	0.759	0.772	0.783	0.793	0.801	0.809	0.819	0.823	0.829	0.835
0.960	0.764	0.777	0.788	0.798	0.807	0.815	0.824	0.829	0.835	0.841
0.970	0.770	0.782	0.793	0.803	0.812	0.820	0.826	0.834	0.840	0.846
0.975	0.772	0.785	0.796	0.805	0.814	0.822	0.828	0.836	0.843	0.848
0.980	0.775	0.787	0.798	0.808	0.818	0.825	0.830	0.839	0.845	0.851
0.985	0.777	0.790	0.801	0.811	0.820	0.827	0.833	0.841	0.847	0.853
0.990	0.780	0.793	0.804	0.814	0.822	0.830	0.837	0.844	0.850	0.856
0.995	0.782	0.795	0.806	0.816	0.824	0.832	0.840	0.847	0.753	0.859
1.000	0.785	0.797	0.808	0.818	0.826	0.834	0.842	0.849	0.856	0.862
1.005	0.788	0.799	0.810	0.820	0.829	0.837	0.845	0.852	0.858	0.864
1.010	0.790	0.801	0.812	0.822	0.831	0.840	0.847	0.855	0.861	0.867
1.015	0.793	0.804	0.815	0.824	0.833	0.843	0.850	0.858	0.864	0.870
1.020	0.795	0.807	0.818	0.828	0.837	0.845	0.853	0.860	0.866	0.872
1.03	0.800	0.811	0.822	0.832	0.841	0.850	0.857	0.864	0.871	0.877
1.04	0.805	0.816	0.829	0.837	0.846	0.855	0.862	0.870	0.877	0.883
1.05	0.810	0.821	0.831	0.841	0.851	0.859	0.867	0.874	0.881	0.887
1.06	0.815	0.826	0.837	0.846	0.855	0.864	0.871	0.879	0.885	0.891
1.07	0.819	0.831	0.841	0.851	0.860	0.869	0.876	0.883	0.889	0.896
1.08	0.824	0.836	0.846	0.856	0.865	0.873	0.880	0.887	0.893	0.900
1.09	0.828	0.840	0.851	0.860	0.870	0.877	0.885	0.892	0.898	0.904
1.10	0.833	0.845	0.855	0.865	0.874	0.881	0.890	0.897	0.903	0.908
1.11	0.837	0.849	0.860	0.870	0.878	0.886	0.894	0.900	0.907	0.912
1.12	0.842	0.854	0.864	0.873	0.882	0.891	0.897	0.904	0.910	0.916
1.13	0.846	0.858	0.868	0.878	0.886	0.895	0.902	0.908	0.914	0.919
1.14	0.851	0.861	0.872	0.881	0.890	0.899	0.905	0.912	0.918	0.923
1.15	0.855	0.866	0.876	0.886	0.895	0.903	0.910	0.916	0.922	0.928
1.16	0.859	0.870	0.880	0.890	0.899	0.907	0 914	0.920	0.926	0.931
1.17	0.864	0.874	0.884	0.893	0.902	0.911	0.917	0.923	0.930	0.934
1.18	0.868	0.878	0.888	0.897	0.906	0.915	0.921	0.927	0.933	0.939
1.19	0.872	0.882	0.892	0.901	0.910	0.918	0.925	0.931	0.937	0.942
1.20	0.876	0.886	0.896	0.904	0.913	0.921	0.928	0.934	0.940	0.945
1.22	0.880	0.891	0.900	0.909	0.917	0.929	0.932	0.938	0.944	0.949
1.24	0.888	0.898	0.908	0.917	0.925	0.935	0.940	0.945	0.950	0.955
1.26	0.900	0.910	0.919	0.927	0.935	0.942	0.948	0.954	0.960	0.964
1.28	0.908	0.917	0.926	0.934	0.945	0.948	0.954	0.960	0.965	0.970

Prozhefa.com

u \ N	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
1.30	0.915	0.925	0.933	0.941	0.948	0.955	0.961	0.966	0.981	0.975
1.32	0.922	0.931	0.940	0.948	0.955	0.961	0.967	0.972	0.976	0.980
1.34	0.930	0.939	0.948	0.955	0.962	0.967	0.973	0.978	0.982	0.986
1.36	0.937	0.946	0.954	0.961	0.968	0.973	0.979	0.983	0.987	0.991
1.38	0.944	0.952	0.960	0.967	0.974	0.979	0.985	0.989	0.993	0.996
1.40	0.951	0.959	0.966	0.973	0.979	0.984	0.989	0.993	0.997	1.000
1.42	0.957	0.965	0.972	0.979	0.984	0.989	0.995	0.998	1.001	1.004
1.44	0.964	0.972	0.979	0.984	0.990	0.995	1.000	1.003	1.006	1.009
1.46	0.970	0.977	0.983	0.989	0.995	1.000	1.004	1.007	1.010	1.012
1.48	0.977	0.983	0.989	0.994	0.999	1.005	1.008	1.011	1.014	1.016
1.50	0.983	0.990	0.996	1.001	1.005	1.009	1.012	1.015	1.017	1.019
1.55	0.997	1.002	1.007	1.012	1.016	1.020	1.022	1.024	1.026	1.028
1.60	1.012	1.017	1.020	1.024	1.027	1.030	1.032	1.034	1.035	1.035
1.65	1.026	1.029	1.032	1.035	1.037	1.039	1.041	1.041	1.042	1.042
1.70	1.039	1.042	1.044	1.045	1.047	1.048	1.049	1.049	1.049	1.048
1.75	1.052	1.053	1.054	1.055	1.056	1.057	1.056	1.056	1.055	1.053
1.80	1.064	1.064	1.064	1.064	1.065	1.065	1.064	1.062	1.060	1.058
1.85	1.075	1.074	1.074	1.073	1.072	1.071	1.069	1.067	1.066	1.063
1.90	1.086	1.085	1.084	1.082	1.081	1.079	1.077	1.074	1.071	1.066
1.95	1.097	1.095	1.092	1.090	1.087	1.085	1.081	1.079	1.075	1.071
2.00	1.107	1.103	1.100	1.096	1.093	1.090	1.085	1.082	1.078	1.075
2.10	1.126	1.120	1.115	1.110	1.104	1.100	1.094	1.089	1.085	1.080
2.20	1.144	1.136	1.129	1.122	1.115	1.109	1.102	1.096	1.090	1.085
2.3	1.161	1.150	1.141	1.133	1.124	1.117	1.110	1.103	1.097	1.090
2.4	1.176	1.163	1.152	1.142	1.133	1.124	1.116	1.109	1.101	1.094
2.5	1.190	1.175	1.162	1.150	1.140	1.131	1.121	1.113	1.105	1.098
2.6	1.204	1.187	1.172	1.159	1.147	1.137	1.126	1.117	1.106	1.000
2.7	1.216	1.196	1.180	1.166	1.153	1.142	1.130	1.120	1.110	1.102
2.8	1.228	1.208	1.189	1.173	1.158	1.146	1.132	1.122	1.112	1.103
2.9	1.239	1.216	1.196	1.178	1.162	1.150	1.137	1.125	1.115	1.106
3.0	1.249	1.224	1.203	1.184	1.168	1.154	1.140	1.128	1.117	1.107
3.5	1.292	1.260	1.232	1.206	1.185	1.167	1.151	1.138	1.125	1.113
4.0	1.326	1.286	1.251	1.223	1.198	1.176	1.158	1.142	1.129	1.117
4.5	1.352	1.308	1.270	1.235	1.205	1.183	1.162	1.146	1.131	1.119
5.0	1.374	1.325	1.283	1.245	1.212	1.188	1.166	1.149	1.134	1.121
6.0	1.406	1.342	1.292	1.252	1.221	1.195	1.171	1.152	1.136	1.122
7.0	1.430	1.360	1.303	1.260	1.225	1.199	1.174	1.153	1.136	1.122
8.0	1.447	1.373	1.313	1.266	1.229	1.201	1.175	1.154	1.137	1.122
9.0	1.461	1.384	1.319	1.269	1.231	1.203	1.176	1.156	1.137	1.122
10.0	1.471	1.394	1.324	1.272	1.233	1.203	1.176	1.156	1.137	1.122

Prozhefa.com

u \ N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.24	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
0.28	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
0.30	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.32	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
0.34	0.339	0.340	0.340	0.340	0.340
0.36	0.359	0.360	0.360	0.360	0.360
0.38	0.378	0.379	0.380	0.380	0.380
0.40	0.397	0.398	0.398	0.400	0.400
0.42	0.417	0.418	0.418	0.419	0.420
0.44	0.436	0.437	0.437	0.439	0.440
0.46	0.455	0.456	0.457	0.458	0.459
0.48	0.474	0.475	0.476	0.478	0.479
0.50	0.493	0.494	0.495	0.497	0.498
0.52	0.512	0.513	0.515	0.517	0.518
0.54	0.531	0.532	0.533	0.536	0.537
0.56	0.549	0.550	0.552	0.555	0.558
0.58	0.567	0.569	0.570	0.574	0.576
0.60	0.585	0.587	0.589	0.593	0.595
0.61	0.594	0.596	0.598	0.602	0.604
0.62	0.603	0.605	0.607	0.611	0.613
0.63	0.612	0.615	0.616	0.620	0.622
0.64	0.620	0.623	0.625	0.629	0.631
0.65	0.629	0.632	0.634	0.638	0.640
0.66	0.637	0.640	0.643	0.647	0.650
0.67	0.646	0.649	0.652	0.656	0.659
0.68	0.654	0.657	0.660	0.665	0.668
0.69	0.662	0.665	0.668	0.674	0.677

Prozhefa.com

u \ N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
0.70	0.670	0.673	0.677	0.682	0.686
0.71	0.678	0.681	0.685	0.690	0.694
0.72	0.686	0.689	0.694	0.699	0.703
0.73	0.694	0.698	0.702	0.707	0.712
0.74	0.702	0.705	0.710	0.716	0.720
0.75	0.709	0.712	0.717	0.724	0.728
0.76	0.717	0.720	0.725	0.731	0.736
0.77	0.724	0.727	0.733	0.739	0.744
0.78	0.731	0.735	0.740	0.747	0.752
0.79	0.738	0.742	0.748	0.754	0.760
0.80	0.746	0.750	0.755	0.762	0.768
0.81	0.753	0.757	0.762	0.770	0.776
0.82	0.760	0.764	0.769	0.777	0.783
0.83	0.766	0.771	0.776	0.784	0.790
0.84	0.773	0.778	0.783	0.791	0.798
0.85	0.780	0.784	0.790	0.798	0.805
0.86	0.786	0.791	0.797	0.804	0.812
0.87	0.793	0.797	0.803	0.811	0.819
0.88	0.799	0.803	0.810	0.818	0.826
0.89	0.805	0.810	0.816	0.825	0.832
0.90	0.811	0.816	0.822	0.831	0.839
0.91	0.817	0.821	0.828	0.837	0.845
0.92	0.823	0.828	0.834	0.844	0.851
0.93	0.829	0.833	0.840	0.850	0.857
0.94	0.835	0.840	0.846	0.856	0.864
0.950	0.840	0.845	0.852	0.861	0.869
0.960	0.846	0.861	0.857	0.867	0.875
0.970	0.851	0.866	0.863	0.972	0.881
0.975	0.854	0 859	0.866	0.875	0.883
0.980	0.857	0.861	0.868	0.878	0.886
0.985	0.859	0.863	0.870	0.880	0.889
0.990	0.861	0.867	0.873	0.883	0.891
0.995	0.864	0.869	0.876	0.885	0.894
1.000	0.867	0.873	0.879	0.887	0.897
1.005	0.870	0.874	0.881	0.890	0.899
1.010	0.873	0.878	0.884	0.893	0.902
1.015	0.875	0.880	0.886	0.896	0.904
1.020	0.877	0.883	0.889	0.898	0.907
1.03	0.882	0.887	0.893	0.902	0.911
1.04	0.888	0.893	0.898	0.907	0.916

Prozhefa.com

u \ N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
1.05	0.892	0.897	0.903	0.911	0.920
1.06	0.896	0.901	0.907	0.915	0.924
1.07	0.901	0.906	0.911	0.919	0.928
1.08	0.905	0.910	0.916	0.923	0.932
1.09	0.909	0.914	0.920	0.927	0.936
1.10	0.913	0.918	0.923	0.931	0.940
1.11	0.917	0.921	0.927	0.935	0.944
1.12	0.921	0.926	0.931	0.939	0.948
1.13	0.925	0.929	0.935	0.943	0.951
1.14	0.928	0.933	0.938	0.947	0.954
1.15	0.932	0.936	0.942	0.950	0.957
1.16	0.936	0.941	0.945	0.953	0.960
1.17	0.939	0.944	0.948	0.957	0.963
1.18	0.943	0.947	0.951	0.960	0.965
1.19	0.947	0.950	0.954	0.963	0.968
1.20	0.950	0.953	0.958	0.966	0.970
1.22	0.956	0.957	0.964	0.972	0.976
1.24	0.962	0.962	0.970	0.977	0.981
1.26	0.968	0.971	0.975	0.982	0.986
1.28	0.974	0.977	0.981	0.987	0.990
1.30	0.979	0.978	0.985	0.991	0.994
1.32	0.985	0.986	0.990	0.995	0.997
1.34	0.990	0.992	0.995	0.999	1.001
1.36	0.994	0.996	0.999	1.002	1.005
1.38	0.998	1.000	1.003	1.006	1.008
1.40	1.001	1.004	1.006	1.009	1.011
1.42	1.005	1.008	1.010	1.012	1.014
1.44	1.009	1.013	1.014	1.016	1.016
1.46	1.014	1.016	1.017	1.018	1.018
1.48	1.016	1.019	1.020	1.020	1.020
1.50	1.020	1.021	1.022	1.022	1.022
1.55	1.029	1.029	1.029	1.028	1.028
1.60	1.035	1.035	1.034	1.032	1.030
1.65	1.041	1.040	1.039	1.036	1.034
1.70	1.047	1.046	1.043	1.039	1.037
1.75	1.052	1.051	1.047	1.042	1.039
1.80	1.057	1.055	1.051	1.045	1.041
1.85	1.061	1.059	1.054	1.047	1.043
1.90	1.065	1.060	1.057	1.049	1.045
1.95	1.068	1.064	1.059	1.051	1.046

Prozhefa.com

u \ N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
2.00	1.071	1.068	1.062	1.053	1.047
2.10	1.076	1.071	1.065	1.056	1.049
2.20	1.080	1.073	1.068	1.058	1.050
2.3	1.084	1.079	1.071	1.060	1.051
2.4	1.087	1.081	1.073	1.061	1.052
2.5	1.090	1.083	1.075	1.062	1.053
2.6	1.092	1.985	1.076	1.063	1.054
2.7	1.094	1.087	1.077	1.063	1.054
2.8	1.096	1.088	1.078	1.064	1.054
2.9	1.098	1.089	1.079	1.065	1.055
3.0	1.099	1.090	1.080	1.065	1.055
3.5	1.103	1.093	1.082	1.066	1.055
4.0	1.106	1.097	1.084	1.067	1.056
4.5	1.108	1.098	1.085	1.067	1.056
5.0	1.110	1.099	1.085	1.068	1.056
6.0	1.111	1.100	1.085	1.068	1.056
7.0	1.111	1.100	1.086	1.068	1.056
8.0	1.111	1.100	1.086	1.068	1.056
9.0	1.111	1.100	1.086	1.068	1.056
10.0	1.111	1.100	1.086	1.068	1.056

Prozhefa.com

توابع I_2 از توابع کیفروچو (Kiefer and Chu, 1955)

$y/d_c = \eta$	مقادیر Q_r									
	0.40	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.07	1.20	1.40	1.60
1.00	0					0.0016	0.0245	0.1128	0.0680	0.0482
0.98	0.0003	0				0.0053	0.0186	0.1120	0.0677	0.0479
0.96	0.0008	0.0003	0			0.0098	0	0.1105	0.0671	0.0477
0.94	0.0015	0.0010	0.0004	0		0.0150	0.0824	0.1079	0.0663	0.0470
0.92	0.0023	0.0019	0.0012	0.0006	0	0.0215	0.1614	0.1051	0.0652	0.0466
0.90	0.0034	0.0029	0.0023	0.0015	0.0009	0.0303	0.2500	0.1028	0.06..	0.0458
0.88	0.0044	0.0042	0.0036	0.0028	0.0024	0.0438	0.1604	0.0983	0.0627	0.0452
0.86	0.0058	0.0055	0.0050	0.0045	0.0043	0.0667	0.1439	0.0950	0.0613	0.0444
0.84	0.0071	0.0072	0.0063	0.0063	0.0067	0.1321	0.1321	0.0913	0.0598	0.0435
0.82	0.0087	0.0090	0.0087	0.0080	0.0096	0.1806	0.1230	0.0879	0.0583	0.0426
0.80	0.0106	0.0112	0.0110	0.0112	0.0132	0.1546	0.1153	0.0847	0.0568	0.0416
0.78	0.0128	0.0136	0.0136	0.0143	0.0175	0.1394	0.1088	0.0816	0.0552	0.0405
0.76	0.0150	0.0164	0.0166	0.0180	0.0230	0.1288	0.1032	0.0784	0.0537	0.0396
0.74	0.0177	0.0196	0.0204	0.0225	0.0299	0.1200	0.0980	0.0755	0.0521	0.0384
0.72	0.0206	0.0236	0.0247	0.0282	0.0389	0.1130	0.0933	0.0727	0.0505	0.0375
0.70	0.0240	0.0278	0.0300	0.0349	0.0524	0.1066	0.0891	0.0699	0.0489	0.0363
0.68	0.0280	0.0333	0.0361	0.0440	0.0768	0.1011	0.0851	0.0673	0.0473	0.0354
0.66	0.0324	0.0395	0.0443	0.0571	1.8457	0.0960	0.0813	0.0648	0.0458	0.0343
0.64	0.0377	0.0475	0.0556	0.0817	0.1950	0.0916	0.0777	0.0599	0.0426	0.0322
0.62	0.0438	0.0576	0.0724	0.1747	0.1650	0.0870	0.0743	0.0575	0.0411	0.0310
0.60	0.0511	0.0721	0.0978	0.2320	0.1465	0.0830	0.0710	0.0550	0.0396	0.0299
0.58	0.0600	0.0915	0.2500	0.1882	0.1352	0.0795	0.0678	0.0529	0.0381	0.0288
0.56	0.0705	0.1290	0.2780	0.1680	0.1263	0.0790	0.0647	0.0506	0.0365	0.0278
0.54	0.0840	0.3909	0.2265	0.1545	0.1189	0.0753	0.0618	0.0485	0.0351	0.0266
0.52	0.1014	0.3080	0.2006	0.1437	0.1120	0.0717	0.0588	0.0463	0.0336	0.0256
0.50	0.1253	0.2580	0.1828	0.1343	0.1054	0.0682	0.0561	0.0441	0.0321	0.0244
0.48	0.1609	0.2293	0.1686	0.1260	0.0997	0.0648	0.0533	0.0420	0.0306	0.0233
0.46	0.2085	0.2085	0.1562	0.1186	0.0944	0.0616	0.0505	0.0399	0.0291	0.0221
0.44	0.2235	0.1912	0.1452	0.1117	0.0895	0.0582	0.0478	0.0378	0.0276	0.0210
0.42	1.4143	0.1770	0.1350	0.1054	0.0850	0.0552	0.0451	0.0357	0.0261	0.0199
0.40	0.0500	0.1643	0.1256	0.0993	0.0803	0.0519	0.0444	0.0339	0.0247	0.0188
0.35	0.4116	0.1528	0.1090	0.0826	0.0641	0.0444	0.0386	0.0306	0.0224	0.0171
0.30	0.3090	0.1271	0.0917	0.0700	0.0546	0.0370	0.0321	0.0255	0.0188	0.0143
0.25	0.2432	0.1038	0.0755	0.0580	0.0454	0.0297	0.0258	0.0205	0.0151	0.0114
0.20	0.1903	0.0825	0.0607	0.0466	0.0366	0.0227	0.0197	0.0157	0.0115	0.0088
0.15	0.1425	0.0627	0.0462	0.0356	0.0281	0.0158	0.0138	0.0110	0.0081	0.0062
0	0.1000	0.0442	0.0327	0.0250	0.0197	0	0	0	0	0

Prozhefa.com

توابع I_1 از توابع کیفروچو (Kiefer and Chu, 1955)

$y/d_c = \eta$	مقادیر Q_r									
	0.40	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.07	1.20	1.40	1.60
1.00	0					0.1085	1.161	0.9166	0.4075	0.2543
0.98	0.0235	0.0299	0.0368	0.0495	0.0817	0.1517	0.760	0.8567	0.3830	0.2397
0.96	0.0468	0.0592	0.0720	0.0954	0.1517	0.2777	0	0.7822	0.3555	0.2238
0.94	0.0700	0.0883	0.1067	0.1403	0.2188	0.4277	2.872	0.7016	0.3269	0.2074
0.92	0.0932	0.1173	0.1415	0.1851	0.2857	0.5763	5.052	0.6203	0.2982	0.1909
0.90	0.1165	0.1465	0.1764	0.2305	0.3541	0.7345	2.7491	0.5427	0.2701	0.1748
0.88	0.1398	0.1759	0.2119	0.2769	0.4257	0.9160	1.4754	0.4714	0.2432	0.1591
0.86	0.1632	0.2057	0.2491	0.3250	0.5023	1.1459	1.0082	0.4076	0.2178	0.1441
0.84	0.1868	0.2360	0.2852	0.3754	0.5868	1.5020	0.7486	0.3515	0.1942	0.1299
0.82	0.2105	0.2668	0.3236	0.4389	0.6835	2.5439	0.5803	0.3025	0.1724	0.1166
0.80	0.2344	0.2985	0.3637	0.4868	0.8002	0.8911	0.4619	0.2600	0.1524	0.1043
0.78	0.2585	0.3311	0.4059	0.5508	0.9552	0.6046	0.3740	0.2233	0.1343	0.0928
0.76	0.2830	0.3649	0.4509	0.6237	1.2090	0.4518	0.3065	0.1916	0.1179	0.0823
0.74	0.3077	0.4002	0.4997	0.7110	1.5967	0.3521	0.2533	0.1643	0.1031	0.0727
0.72	0.3329	0.4374	0.5536	0.8239	0.5844	0.2810	0.2105	0.1407	0.0899	0.0639
0.70	0.3585	0.4770	0.6151	0.9955	0.4016	0.2275	0.1765	0.1202	0.0781	0.0560
0.68	0.3818	0.5199	0.6885	1.5361	0.3001	0.1858	0.1465	0.1026	0.0676	0.0488
0.66	0.4117	0.5674	0.7831	0.5102	0.2329	0.1527	0.1228	0.0873	0.0583	0.0424
0.64	0.4394	0.6215	0.9263	0.3311	0.1845	0.1259	0.1023	0.0741	0.0500	0.0366
0.62	0.4683	0.6860	1.3682	0.2403	0.1479	0.1039	0.0837	0.0627	0.0428	0.0315
0.60	0.4985	0.7699	0.4083	0.1825	0.1196	0.0858	0.0713	0.0529	0.0364	0.0269
0.58	0.5304	0.8986	0.2596	0.1416	0.0970	0.0708	0.0593	0.0444	0.0308	0.0229
0.56	0.5647		0.1851	0.1113	0.0789	0.0583	0.0492	0.0371	0.0259	0.0193
0.54	0.6022	0.3114	0.1380	0.0882	0.0640	0.0478	0.0406	0.0309	0.0217	0.0163
0.52	0.6446	0.1971	0.1051	0.0701	0.0512	0.0391	0.0334	0.0255	0.0180	0.0136
0.50	0.6947	0.1385	0.0811	0.0557	0.0410	0.0318	0.0274	0.0210	0.0149	0.0112
0.48	0.7591	0.1014	0.0628	0.0442	0.0331	0.0257	0.0221	0.0171	0.0122	0.0092
0.46	0.8585	0.0756	0.0487	0.0347	0.0265	0.0206	0.0178	0.0138	0.0099	0.0075
0.44	3.3677	0.0569	0.0377	0.0273	0.0210	0.0164	0.0142	0.0110	0.0080	0.0061
0.42	0.1827	0.0430	0.0291	0.0212	0.0164	0.0130	0.0113	0.0088	0.0063	0.0048
0.40	0.1107	0.0324	0.0223	0.0165	0.0127	0.0101	0.0088	0.0069	0.0050	0.0038
0.35	0.0419	0.0155	0.0110	0.0082	0.0064	0.0052	0.0045	0.0035	0.0026	0.0020
0.30	0.0169	0.0068	0.0049	0.0038	0.0029	0.0024	0.0021	0.0016	0.0012	0.0009
0.25	0.0062	0.0027	0.0019	0.0015	0.0012	0.0009	0.0009	0.0006	0.0005	0.0004
0.20	0.0019	0.0008	0.0006	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001
0.15	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	—	—	—
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Prozhefa.com

مسایل

۶-۱ از یک دریچه دبی $11m^3/s$ وارد یک کانال ذوزنقه‌ای به عرض کف $6/00m$ و شیب کناره‌های ۱:۱ می‌شود. اگر عمق جریان در فاصلهٔ کوتاهی از دریچه $0/17m$ باشد نوع نیمرخ سطح آب در پایین‌دست دریچه را تعیین کنید. این نیمرخ را محاسبه و با مقیاس ترسیم نمایید.

کانال پایین‌دست دریچه دارای شیب طولی ۰/۰۱ و ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۴ می‌باشد. روش گام به گام مستقیم را به کار برده و تغییرات عمق را حدود $0/05m$ درنظر بگیرید.

۶-۲ در یک کانال مستطیلی به عرض $3/00m$ و شیب طولی ۰/۰۱۵ آب با دبی $11/3m^3/s$ به‌طور یکنواخت جریان دارد. اگر شیب کانال به‌طور ناگهانی به ۰/۰۰۱۶ تبدیل شود، ضمن تحلیل نیمرخ جریان در محل تغییر شیب موقعیت پرش هیدرولیکی احتمالی را تعیین و توان از دست رفته در طول پرش را محاسبه نمایید ($n = 0/013$). در محاسبهٔ نیمرخ یک گام کفایت می‌کند.

۶-۳ در یک کانال مستطیلی به عرض $3/00m$ و شیب طولی ۰/۰۳۵۵ آب به طور یکنواخت و بادبی $11/3m^3/s$ جریان دارد. اگر شیب کانال به‌طور ناگهانی به ۰/۰۰۴۷ تبدیل شود، ضمن تحلیل نیمرخ سطح آب در محل تغییر شیب محاسبات زیر را انجام دهید ($n = 0/013$):

الف: فاصلهٔ محل اتصال دو کانال را تا محلی که عمق جریان $0/75m$ می‌باشد با استفاده از روش گام به گام مستقیم تعیین نمایید. دوگام کفایت می‌کند.

ب: فاصلهٔ محل اتصال دو کانال را تا محلی که عمق جریان برابر $0/75m$ می‌باشد با استفاده از روش برس تعیین نمایید. جوابهای خود را تفسیر نمایید.

۶-۴ در یک کانال مستطیلی طولانی به عرض $3/00m$ آب با دبی $8m^3/s$ جریان دارد. اگر کانال دارای شیب طولی ۰/۰۰۰۷ و ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۵ باشد و در انتها به یک شیب‌شکن قائم منتهی گردد، نیمرخ سطح آب را به روش انتگرال‌گیری ترسیمی محاسبه نمایید. $\alpha = 1/05$ وفرض نمایید در محل شیب‌شکن عمق، عمق بحرانی می‌باشد.

در محاسبات تغییرات عمق معادل $0/2m$ کافی است.

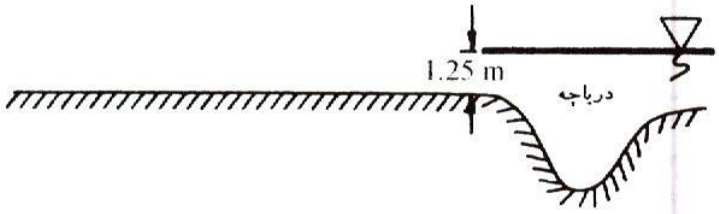
۶-۵ یک کانال ذوزنقه‌ای دارای مشخصات زیر می‌باشد:

$$b = 5/0m \qquad S_0 = 0/0004 \qquad z = 2 \qquad n = 0/02$$

اگر عمق نرمال در کانال $3/00m$ باشد و مطابق شکل جریان به یک دریاچه ختم شود (سطح آب در دریاچه $1/25m$ بالاتر از کف کانال در انتها می‌باشد) ضمن تحلیل جریان، نیمرخ سطح آب در کانال را با استفاده از روش چاو محاسبه و ترسیم نمایید ($\alpha = 1/0$) شش نقطه در ترسیم نیمرخ کفایت می‌کند. M و N مناسب را به گونه‌ای انتخاب نمایید که استفاده از جداول محاسبهٔ انتگرال سهل باشد.

Prozhefa.com

اگر $y_1 = 2{,}25\text{m}$ باشد عمق جریان در فاصلهٔ ۱۳۰۰ متری بالادست این مقطع چقدر است؟

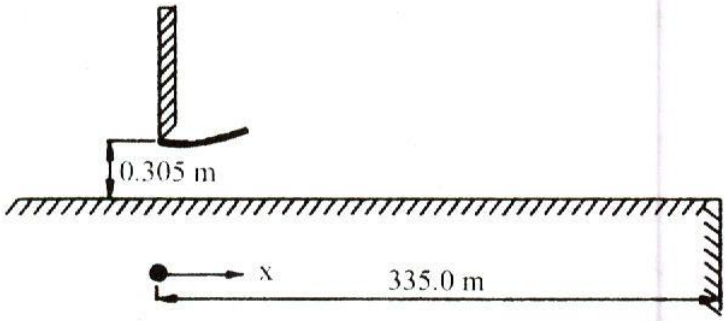


۶-۶ مطابق شکل در یک کانال مستطیلی عریض افقی که به یک شیب‌شکن منتهی می‌شود دریچه‌ای در فاصلهٔ ۳۳۵٫۰ متری از شیب‌شکن نصب شده است. اگر در زمان بازشدگی دریچه به‌میزان ۰٫۳۰۵m دبی جریان $4{,}0\text{m}^3/\text{s.m}$ باشد، فاصلهٔ محلی را که عمق جریان در آن ۱٫۵۲۴m است نسبت به دریچه محاسبه نمایید ($n = 0{,}025$). این محاسبه را به دو طریق زیر انجام دهید:

الف: روش چاو را به‌کار ببرید.

ب: روش گام به گام مستقیم را با دو گام به‌کار ببرید.

از طول پرش هیدرولیکی احتمالی در مسیر صرفنظر نمایید و ضریب انقباض دریچه را واحد بگیرید.



۷-۶ یک کانال ذوزنقه‌ای با شیب تند دارای مشخصات زیر می‌باشد:

$$b = 1{,}52\text{m} \qquad z = 1{,}0 \qquad n = 0{,}013 \qquad S_0 = 0{,}01$$

این کانال از یک دریاچه که ارتفاع آب در آن ۱٫۵۲m بالاتر از کف کانال می‌باشد منشعب می‌گردد. شیب این کانال پس از طی یک مسافت طولانی به یک شیب ملایم که عمق نرمال آن ۱٫۸۳m می‌باشد، تبدیل می‌گردد. ضمن تعیین دبی و تحلیل نیمرخهای سطح آب، موضع پرش هیدرولیکی احتمالی را تعیین نمایید.

۸-۶ با درنظر گرفتن کف کانال به عنوان محور xها، معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیر تدریجی در شیبهای زیاد را به‌دست آورده و با معادلهٔ مربوط به کانالهای با شیب کم مقایسه نمایید. از رابطهٔ زیر استفاده نمایید.

Prozhefa.com

$$H = Z + d\cos\theta + \alpha\frac{V^2}{2g}$$

۹-۶ در شکل داده شده به مسایل زیر پاسخ دهید:

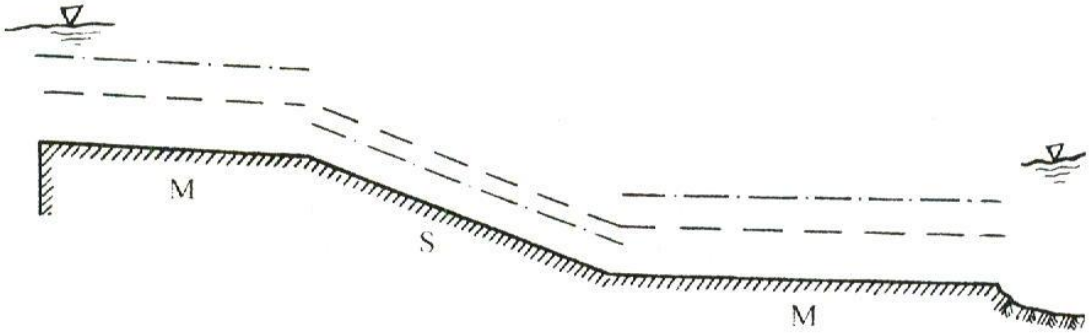
الف) اگر سطح آب در دریاچهٔ بالادست ۲٫۱۳m بالاتر از کف کانال و کانال مستطیلی خروجی دارای زبری مانینگ ۰٫۰۱۴، شیب طولی ۰٫۰۰۰۸ و عرض ۹٫۱۴m باشد، دبی جریان را محاسبه نمایید. فرض نمایید این کانال طولانی می‌باشد.

ب: تفسیر نمایید که اگر کانال خروجی خیلی کوتاه باشد چه تغییری در میزان دبی رخ خواهد داد.

ج: اگر کانال خروجی دارای طول ۱۵٫۲m باشد دبی جریان را محاسبه نمایید.

د: پایین‌دست‌ترین کانال (با شیب ملایم) مستطیلی، به عرض ۶٫۱m، شیب طولی ۰٫۰۰۰۲۴۲۵ و ضریب زبری مانینگ ۰٫۰۱۴ می‌باشد. اگر دبی خروجی $13.6 m^3/s$، و سطح دریاچه ۲٫۲۹m بالاتر از کف این کانال در انتها باشند طول نیمرخ $M1$ حاصل را محاسبه نمایید.

از افتهای انرژی موضعی در بدو ورود آب از دریاچه به کانال صرفنظر نمایید.



۱۰-۶ مثال ۶-۱۶ را برای حالتی که طول کانال ۲۰۰m باشد حل نمایید.

۱۱-۶ یک برنامهٔ کامپیوتری بنویسید که بتواند نیمرخ سطح آب را در یک کانال ذوزنقه‌ای که در آن جریان زیربحرانی برقرار است به روش اولر بهبود یافته محاسبه نماید. به عنوان حالت خاص مثال ۶-۲ را با این روش حلّ نموده و جوابها را مقایسه نمایید. روش را تا همگرایی کامل ادامه داده و در برنامه معیار همگرایی را ۰٫۰۰۰۱m قرار دهید.

۱۲-۶ برنامهٔ کامپیوتری بنویسید که بتواند برای هر کانال با مقطع ذوزنقه‌ای شکل با شیب ملایم و با هر طول ممکن که دو دریاچه با ترازهای متغیر را به یکدیگر متصل می‌کند، منحنی‌های هم‌دبی را ارائه داده و آنها را رسم نماید. برنامه مذکور را برای یک حالت خاص که کانال مستطیلی به عرض ۳٫۵m و $n = 0.014$ و طول کانال ۷۰۰m باشد اجرا نمایید.

۱۳-۶ مثال ۶-۳ را با استفاده از برنامهٔ کامپیوتری ارائه شده در انتهای فصل حل نمایید. روشهای مختلف میانگین‌گیری از شیب‌های خط انرژی را بکار ببرید و حساسیّت جواب را به این روشها بررسی نمایید.

Prozhefa.com

برنامهٔ کامپیوتری محاسبهٔ نیمرخهای سطح آب در کانالهای ذوزنقه‌ای به روش گام به گام مستقیم

```
C**********************************************************************
C*    Computation of Water Surface Profile in a Trapezoidal Channel    *
C*                        using Direct Step                            *
C**********************************************************************
      DIMENSION Y(25),SF(25),E(25),X(25),V(25),P(25),R(25),A(25)
      OPEN(UNIT=5, FILE= 'WSPDSM.DAT')
      OPEN(UNIT=6, FILE= 'WSPDSM.OUT')
C
C
C     Q= DISCHARGE
C     ALPHA= ENERGY CORRECTION FACTOR
C     CMAN= MANNING ROUGHNESS COEFFICIENT
C     B= BOTTOM WIDTH
C     Z= SIDE SLOPE (1(V):Z(H))
C     NNODE= NUMBER OF SELECTED DEPTHS
C     Y(1)= DEPTH AT CONTROL SECTION
C     Y(I)= DEPTH AT SECTION I
C     ITYPE= REFERS TO DIFFERENT METHODS FOR FINDING
C     AVERAGE FRICTION SLOPE (1= ARITHMETIC MEAN 2=
C     GEOMETRIC MEAN AND 3= HARMONIC MEAN)
C
C
      READ (5,*)Q,ALPHA,SO,CMAN
      WRITE(6,6)
    6 FORMAT(5X,'DIRECT STEP METHOD FOR WATER SURFACE PROFILE'/)
      WRITE(6,20)Q,ALPHA,SO,CMAN
   20 FORMAT(3X,'DISCHARGE=',F8.2,'M3/s'/3X,'ALPHA='
     1,F5.2/3X,'CHANNEL BOTTOM SLOPE=',F8.5,/3X,
     2'MANNING ROUGHNESS COEFFICIENT=',F8.4/)
      READ (5,*)B,Z
      WRITE(6,21)B,Z
   21 FORMAT(3X,'BOTTOM WIDTH=',F5.2,'M'/3X,'SIDE SLOPE=',F4.2/)
      READ(5,*)NNODE
      READ(5,*)(Y(I),I=1,NNODE)
      READ(5,*)ITYPE
      IF(ITYPE.EQ.1)WRITE(6,*)'ARITHMETIC MEAN FRICTION SLOPE IS USED'
      IF(ITYPE.EQ.2)WRITE(6,*)'GEOMETRIC MEAN FRICTION SLOPE IS USED'
```

Prozhefa.com


```
      IF(ITYPE.EQ.3)WRITE(6,*)'HARMONIC  MEAN FRICTION SLOPE IS USED'
      A(1)=(B+Z*Y(1))*Y(1)
      P(1)=B+2.*(SQRT(1+Z**2))*Y(1)
      R(1)=A(1)/P(1)
      V(1)=Q/A(1)
      E(1)=Y(1)+(V(1)**2)/(2*9.81)
      SF(1)=(V(1)**2)*(CMAN**2)/(R(1)**(1.3333))
      X(1)=0.
      DO 10 I=1,NNODE-1
      A(I)=A(I)
      P(I)=P(I)
      R(I)=R(I)
      V(I)=V(I)
      E(I)=E(I)
      SF(I)=SF(I)
      A(I+1)=(B+Z*Y(I+1))*Y(I+1)
      P(I+1)=B+2.*(SQRT(1+Z**2))*Y(I+1)
      R(I+1)=A(I+1)/P(I+1)
      V(I+1)=Q/A(I+1)
      E(I+1)=Y(I+1)+(V(I+1)**2)/(2*9.81)
      SF(I+1)=(V(I+1)**2)*(CMAN**2)/(R(I+1)**(1.3333))
      IF(ITYPE.EQ.1)SFBAR=(SF(I)+SF(I+1))/2.
      IF(ITYPE.EQ.2)SFBAR=(SQRT(SF(I)*SF(I+1)))
      IF(ITYPE.EQ.3)SFBAR=2./((1./SF(I))+(1./SF(I+1)))
      DE=E(I+1)-E(I)
      DX=DE/(SO-SFBAR)
      X(I+1)=X(I)+DX
 10   CONTINUE
      WRITE(6,23)
 23   FORMAT(3X,'DEPTH (m)',6X,'X (m)',6X,'VELOCITY (M/S)'
     1,3X,'AREA (M^2)')
      DO 37 I=1,NNODE
      WRITE(6,41)Y(I),X(I),V(I),A(I)
 41   FORMAT(3X,F9.3,5X,F8.3,3X,F9.3,7X,F8.3)
 37   CONTINUE
      STOP
      END
```

**********INPUT FILE**********

```
11.3 1.0 0.02 0.017
3.0 0.0
```

Prozhefa.com

3
2.9 2.28 1.66
1

**********OUTPUT FILE**********
DIRECT STEP METHOD FOR WATER SURFACE PROFILE

DISCHARGE= 11.30M3/s
ALPHA= 1.00
CHANNEL BOTTOM SLOPE= 0.02000
MANNING ROUGHNESS COEFFICIENT= 0.0170

BOTTOM WIDTH= 3.00M
SIDE SLOPE=0.00

ARITHMETIC MEAN FRICTION SLOPE IS USED

DEPTH (m)	X (m)	VELOCITY (M/S)	AREA (M^2)
2.900	0.000	1.299	8.700
2.280	-29.369	1.652	6.840
1.660	-56.178	2.269	4.980

Prozhefa.com

فصل ۷

جریانهای متغیر مکانی[1]

(یا جریانهای گسسته متغیر تدریجی)

جلیل ابریشمی - سیدمحمود حسینی

مقدمه

یک جریان متغیر مکانی عبارت است از جریان متغیر تدریجی دائمی با دبی متغیری که در طول کانال و در جهت جریان، مقدار دبی آن تغییر می‌یابد. لذا در هر مقطع تغییرات عمق جریان و دبی نسبت به زمان صفر ($\frac{dQ}{dt} = 0$ و $\frac{dy}{dt} = 0$) ولی مقادیر مذکور در طول مسیر تغییر می‌یابند ($\frac{dQ}{dx} \neq 0$ و $\frac{dy}{dx} \neq 0$). برحسب نوع تغییرات دبی، این نوع جریانها را به دوگروه تقسیم می‌کنند:

۱- جریانهای متغیرمکانی با افزایش شدت جریان.

۲- جریانهای متغیر مکانی باکاهش شدت جریان.

از جملهٔ این جریانهاکه در طبیعت به‌وفور یافت می‌شوند، می‌توان آبروهای کنار جاده‌ها، سرریزهای جانبی در سدها وکانالها و نیز لوله‌های زهکشی را نام بردکه با توجه به طبقه‌بندی بالا به‌صورت کلی مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

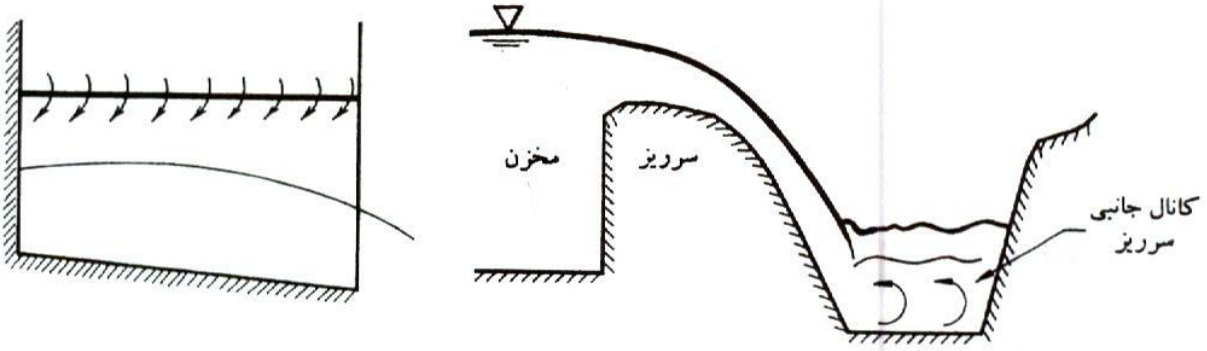
۷-۱ جریان متغیر مکانی با افزایش دبی (SVF With Increasing Discharge)

در این نوع جریان که در طبیعت به وفور مشاهده می‌شود (نظیر آبروهای کنار جاده‌ها، آبروهای پشت‌بامها، سرریزهای جانبی و سنگاب شستشو در تصفیه‌خانه‌های آب) بر شدت جریان آب در طول مسیر بتدریج افزوده شده و در نتیجهٔ اختلاط دو جریان و آشفتگی حاصله از آن، مقدار افت انرژی

---

1. Spatially Varried Flow

Prozhefa.com



شکل ۷-۱ سرریز جانبی در یک سد

به‌صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از آن‌جا که محاسبه و تعیین مقدار دقیق این افت انرژی غیرممکن است و از طرفی آب اضافه شده، دارای مقدار حرکتی در جهت جریان کانال نمی‌باشد، برای به‌دست آوردن معادلات مربوطه از معادله مقدار حرکت که تعیین آن به‌سهولت امکان‌پذیر است، استفاده می‌گردد.

۷-۱-۱ معادله دینامیکی جریانهای متغیر مکانی با افزایش دبی

برای اعمال معادله مقدار حرکت و استفاده از آن جهت تعیین معادله دینامیکی این نوع جریانها، فرضیات زیر انجام می‌گیرد:

۱- پخش فشار به‌صورت هیدرواستاتیکی صورت پذیرفته و لذا انحناء سطح آب معتدل فرض می‌گردد. بدیهی است منطقه‌های دارای انحناء زیاد (در صورت وجود) از این محاسبات مستثنی خواهند بود.

۲- تحلیل براساس روش یک‌بعدی انجام گرفته و ضریب β برای معین نمودن غیریکنواختی سرعت کفایت می‌کند.

۳- روابط مقاومت در برابر جریانهای یکنواخت نظیر معادله مانینگ برای نشان دادن میزان اصطکاک در برابر جریان کفایت می‌نماید.

۴-اثر مخلوط شدن و محبوس شدن هوا در آب که در معادله مقدار حرکت تأثیر می‌گذارد، قابل صرفنظر کردن است.

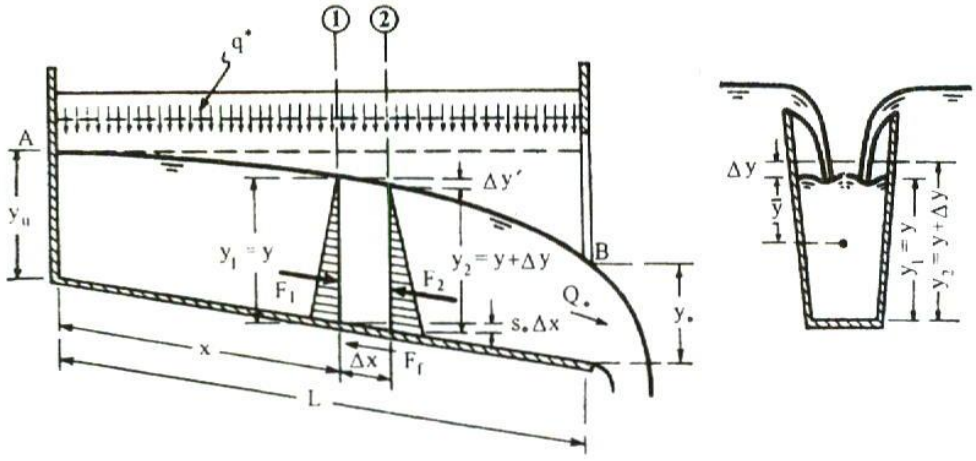
۵- جریان وارده به کانال باعث تغییر مقدار حرکت در جهت طولی کانال نمی‌شود.

۶- جریان دائمی در نظر گرفته می‌شود.

۷-کانال منشوری و دارای شیب کم (نسبتاً افقی) می‌باشد.

با توجه به فرضیات بالا، حجم آب موجود بین دو مقطع ۱ و ۲ از یک جریان متغیرمکانی با افزایش دبی

Prozhefa.com



شکل ۷-۲ شمای یک جریان متغیرمکانی

(شکل ۷-۲) راکه به‌فاصله Δx از یکدیگر قرار دارند در نظر گرفته، اضافه می‌گردد که مقدار دبی در واحد طول کانال (q^*) برابر است با:

$$q^* = \frac{dQ}{dx}$$

با اعمال معادله حرکت در جهت x داریم:

$$M_2 - M_1 = F_1 - F_2 + W \sin\theta - F_f \qquad (۱-۷)$$

$$\Delta M = -\Delta F + W \sin\theta - F_f \qquad (۲-۷)$$

که در آن:

$M = \beta\rho\frac{Q^2}{A}$

P = نیروی فشاری $= \gamma A\,\bar{y}$

$\bar{y}$ = فاصله مرکز ثقل مقطع تا سطح آب

W = وزن حجم آب مورد بررسی $= \gamma.A.\Delta x$

$S_\circ \approx \sin\theta$

F_f = نیروی اصطکاکی، که اگر تنش برشی متوسط وارده بر کناره‌ها در جهت x معادل $\tau_\circ$ باشد و با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده حین تعیین معادله مانینگ، $\tau_\circ = \gamma\, R.S_f$ بوده و لذا:

$$F_f = \tau_\circ.\, P.\, \Delta x = \gamma\,.\,R.\,S_f\,P.\,\Delta x = \gamma\,.\,A\,.\,S_f\,.\,\Delta x$$

S_f = شیب خط انرژی

با تقسیم رابطهٔ ۷-۲ بر Δx و در نظرگرفتن حد مربوطه موقعی‌که $\Delta x \to \circ$ خواهیم داشت:

$$\frac{dM}{dx} = -\frac{dF}{dx} + \gamma\, A\, S_\circ - \gamma\, A\, S_f \qquad (۳-۷)$$

از طرفی با توجه به مقدار M می‌توان نوشت:

Prozhefa.com

$$\frac{dM}{dx} = \beta\rho\frac{d(Q^2/A)}{dx} = \beta\rho\left(\frac{2Q}{A}\cdot\frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{A^2}\cdot\frac{dA}{dx}\right)$$
$$= \beta\rho\left(\frac{2Q}{A}.q^* - \frac{Q^2}{A^2}\cdot\frac{dA}{dy}\cdot\frac{dy}{dx}\right)$$
$$= \beta\rho\left(\frac{2Q}{A}q^* - \frac{Q^2T}{A^2}\cdot\frac{dy}{dx}\right) \qquad (۴-۷)$$

و نیز برای به‌دست آوردن $\frac{dF}{dx}$ به شکل زیر عمل می‌گردد:

$$\frac{dF}{dx} = \frac{d(\gamma A\,\bar{y})}{dx} = \gamma\left(A\cdot\frac{d\bar{y}}{dx} + \bar{y}\frac{dA}{dx}\right)$$

با لنگرگیری سطح حول تراز آب و صرفنظر کردن از توان ۲ مقادیر کوچک:

$$\frac{dF}{dx} = \gamma\cdot A.\frac{dy}{dx} \qquad (۵-۷)$$

باگذاشتن مقادیر $\frac{dF}{dx}$ و $\frac{dM}{dx}$ در معادلهٔ ۷-۳، داریم:

$$\frac{2\beta Q\,q^*}{gA^2} - \frac{\beta Q^2T}{gA^3}\frac{dy}{dx} = -\frac{dy}{dx} + S_\circ - S_f$$

و یا:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_\circ - S_f - \left(\frac{2\beta Q}{gA^2}\right)q^*}{\frac{1-\beta Q^2T}{gA^3}} = \frac{S_\circ - S_f - \left(\frac{2\beta Q}{gA^2}\right).q^*}{1-Fr^2} \qquad (۶-۷)$$

رابطهٔ فوق به معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیرمکانی با افزایش شدت جریان موسوم بوده که در حالت کلی q^* تابعی از x می‌باشد اما در اکثریت حالات نظیر سرریزهای جانبی مقداری است ثابت. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در رابطه بالا از ضریب β استفاده شده ولی در بسیاری از موارد به‌جای آن مقدار α را می‌گذارند که خطای چندانی را به‌وجود نمی‌آورد. در هر حال در مواقعی که پخش سرعت در مقطع از ناهماهنگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار باشد، لازم است تا مقدار کامل β در نظر گرفته شود، مثلاً در سرریزهای جانبی این مقدار می‌تواند تا ۱٫۶۰ نیز برسد.

قابل ذکر است که در صورت $q^* = \circ$ معادله ۷-۶ به همان معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیرتدریجی که قبلاً آورده شده است تبدیل می‌گردد. معادلهٔ فوق یک معادلهٔ غیرخطی بوده و به‌مراتب پیچیده‌تر از معادله جریانهای متغیرتدریجی است که برای حل آن به طریق ساده لازم است تا فرضیات زیادی به‌منظور تسهیل امر صورت گیرد و استفاده از روشهای عددی نیز در حل آن مناسب خواهد بود.

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، برای محاسبهٔ پروفیل سطح آب لازم است تا خصوصیات جریان در یک نقطه به‌عنوان مقطع کنترل مشخص بوده، از آن‌جاکه در این نوع جریانها مقطع بحرانی به‌عنوان مقطع کنترل در نظر گرفته می‌شود، لذا بایستی معین گردد که آیا در این حالت، مقطع بحرانی وجود خواهد داشت یا خیر.

Prozhefa.com

در سرریزهای جانبی، هرگاه حالت جریان در هر جای کانال زیر بحرانی باشد، مقطع کنترل پروفیل در انتهای پایین‌دست کانال خواهد بود و در هر حالت غیر از آن، لازم است تا برای شروع محاسبات، نقطهٔ کنترل معین گردد.

در جریانهای متغیر مکانی با افزایش دبی، خط عمق بحرانی نظیر حالت جریانهای متغیر تدریجی، موازی بستر کانال و مستقیم نبوده بلکه بسته به ترکیب شیب کف، زبری کانال و مشخصات هندسی آن، عمق بحرانی می‌تواند در بین دو انتهای کانال و در شرایطی که در بالادست، جریان زیر بحرانی و در پایین‌دست، جریان فوق بحرانی باشد، به‌وجود آید. حال چنانچه معادله ۷-۶ به‌صورت زیر نوشته شود:

$$\frac{dy}{dx}(1 - Fr^2) = S_0 - S_f - \frac{2\beta Q}{gA^2} \cdot q^* \qquad (۷-۷)$$

Henderson (۱۹۶۶) اظهار می‌دارد که جریان بحرانی و نیز حالت $\frac{dy}{dx} = 0$ موقعی به‌وجود می‌آید که:

$$S_0 - S_f - \frac{2\beta Q}{gA^2} \cdot q^* = 0 \qquad (۸-۷)$$

باشد. با توجه به این‌که q^* در اکثریت موارد مقدار ثابتی است، در این‌صورت داریم:

$$q^* = \frac{Q}{x} = Q_x \qquad (۹-۷)$$

که x عبارت است از فاصلهٔ مقطع مورد نظر تا ابتدای کانال و Q شدت جریان کلی در این فاصله (x) را نشان می‌دهد. پس:

$$S_0 = S_f + \frac{2\beta Q^2}{gA^2 x} = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} + \frac{2\beta Q^2}{gA^2 x}$$
$$= Fr^2 \left(\frac{n^2 . g . p}{\beta T . R^{4/3}} + \frac{2A}{T . x} \right) \qquad (۱۰-۷)$$

اگر معادلهٔ ۷-۱۰ درست باشد، $\frac{dy}{dx} \neq 0$ (مگر در موارد بسیار خاص طبق اظهارنظر Henderson، ۱۹۶۶) و لذا $Fr = 1$ می‌باشد و از طرفی:

$$Fr^2 \approx \frac{\beta Q^2 T}{gA^3} = 1$$
$$\frac{\beta Q_x^2 \times x^2 . T}{gA^3} = 1$$
$$\frac{A}{x} = \left(\frac{\beta Q_x^2 T}{g . x} \right)^{1/3} \qquad (۱۱-۷)$$

با قرار دادن معادلهٔ ۷-۱۱ در معادلهٔ ۷-۱۰، نهایتاً خواهیم داشت:

$$x = \frac{8\beta Q_x^2}{gT^2 \left(\frac{S_0 - n^2 gp}{\beta T R^{1/3}} \right)^3} \qquad (۱۲-۷)$$

Prozhefa.com

که می توان با استفاده از معادلهٔ ۷-۱۲، محل ایجاد جریان بحرانی را محاسبه نمود. بدیهی است در صورتی که x بزرگتر از طول کانال (L) باشد، مقطع بحرانی به‌وجود نیامده و از طرفی در حالت وجود مقطع بحرانی، چنانچه عمق جریان پایین‌دست به اندازهٔ کافی بالا باشد، ممکن است این مقطع مستغرق گردد. در عمل و با توجه به شیب و مشخصات هندسی مقطع عمدتاً در پایین‌دست مقطع بحرانی، جریان فوق بحرانی وجود داشته و در این‌صورت طبیعی است که در بالادست آن، جریان زیر بحرانی خواهد بود. هرگاه مقطع بحرانی و پس از آن جریان فوق بحرانی حاصل شود و در انتهای پایین‌دست کانال عمق کنترل وجود داشته باشد، در صورت کفایت این عمق، پرش هیدرولیکی به‌وجود آمده و حتی ممکن است همین پرش به‌سمت بالادست حرکت کرده و عمق بحرانی را مستغرق نماید.

مثال ۷-۱

یک سرریز جانبی با کانال ذوزنقه‌ای به عرض بستر ۵ m و شیب کناره‌های ۱:۱ و $n = ۰/۰۱۵$ دارای شیب بستری مساوی ۰/۱ می‌باشد. معین کنید محل عمق بحرانی را اگر $\alpha = \beta = ۱/۲۵$ و $Q_x = ۲\ \mathrm{m^3/s/m}$ باشد.

حل:

$$x = \frac{۸\beta Q_x^۲}{gT^۲\left(\frac{S_۰ - n^۲gP}{\beta T R^{۱/۳}}\right)^۳}$$

برای حل معادلهٔ فوق از آن‌جاکه در مقطع بحرانی P، T، R تابعی از y_c بوده و خود y_c تابعی از دبی کل موجود در آن مقطع یعنی $Q_c = Q_x . x$ می‌باشد، می‌بایست از روش آزمون و خطا استفاده شود. لذا در اولین آزمون $Q_c = ۷۵\ \mathrm{m^3/s}$ در نظر گرفته می‌شود:

$$Q_c = ۷۵\,\mathrm{m^3/s} \rightarrow \frac{Z}{b^{۲/۵}} = \frac{\frac{Q}{\sqrt{g/\alpha}}}{b^{۲/۵}} = ۰/۴۷۹$$

با استفاده از نمودار:

$$\frac{y_c}{b} = ۰/۵۲ \quad \rightarrow \quad y_c = ۲/۶\,\mathrm{m}$$

$$T = b + ۲zy_c = ۱۰/۲۰\,\mathrm{m}$$

$$P = b + ۲y_c\sqrt{۱+z^۲} = ۱۲/۳۵۴\,\mathrm{m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{y_c(b+zy_c)}{b+۲y_c\sqrt{۱+z^۲}} = ۱/۵۹۹\,\mathrm{m}$$

$$x = ۴۱/۴۲\mathrm{m} \rightarrow Q_c = ۴۱/۴۲ \times ۲ = ۸۲/۸۴\ \mathrm{m^3/s} > ۷۵$$

Prozhefa.com

در آزمون دوم:

$$Q_c = ۸۰\ \mathrm{m^۳/s} \rightarrow \frac{Z}{b^{۲/۵}} = \frac{\frac{Q}{\sqrt{g/\alpha}}}{b^{۲/۵}} = ۰/۵۱۱$$

$$\frac{y_c}{b} = ۰/۵۳۸ \rightarrow y_c = ۲/۶۹\mathrm{m}$$

$$T = ۱۰/۳۸\mathrm{m}$$

$$P = ۱۲/۶۱\mathrm{m}$$

$$R = ۱/۶۴\mathrm{m}$$

$$x = ۳۹/۹۹\mathrm{m} \rightarrow Q_c = ۷۹/۹۷\mathrm{m^۳/s}$$

پس ملاحظه می‌شود که $x_c \approx ۴۰\mathrm{m}$ می‌باشد.

۷-۱-۲ محاسبهٔ پروفیل سطح جریان

اگرچه برای محاسبه و تعیین پروفیل سطح جریان در جریانهای متغیر مکانی، می‌توان از روشهای متعدد آزمون و خطا استفاده نمود، به‌نظر می‌رسد که بهترین روش عبارت باشد از ترکیبی از روش عددی و روش آزمون و خطا. در این قسمت به یک روش مهم عددی موجود اشاره شده، اضافه می‌نماید که مطالعات تجربی Farney و همکار در سال ۱۹۶۲ و نیز Mc Cool و همکاران در سال ۱۹۶۶ نشان داده است که دراین نوع جریانها فرض $\beta = ۱$ غیرواقعی بوده و انتخاب کامل و دقیق β می‌تواند میزان دقت در پیش‌بینی پروفیل سطح جریان را به میزان قابل‌ملاحظه‌ای بالا برد.

۷-۱-۲-۱ روش Hinds هیندز (Hinds) در سال ۱۹۲۶ روش ساده‌ای با استفاده از معادلهٔ مقدار حرکت و روش اختلاف محدود (Finite Difference) و صرفنظر نمودن از تأثیر اصطکاک پیشنهاد نمود که براساس آن و با توجه به شکل ۷-۲ می‌توان نوشت:

$$\frac{\gamma\beta}{g}\left[(Q + \Delta Q)(V + \Delta V) - Q.V\right] = -\gamma.\bar{A}\,.\Delta y + \gamma S_{\circ}\,\bar{A}\,\Delta x - \gamma\bar{S}_f\bar{A}\,\Delta x \qquad (۱۳-۷)$$

که در آن هرجا علامت باربر روی عاملی آمده است، متوسط آن عامل را بین دو مقطع ۱ و ۲ می‌رساند. مثلاً:

$$\bar{A} = \frac{A_۱ + A_۲}{۲} = \frac{\bar{Q}}{\bar{V}} = \frac{Q_۱ + Q_۲}{V_۱ + V_۲}$$

ونیز $Q_۱ = Q$ ، $Q_۲ = Q + \Delta Q$ ، $V_۱ = V$، $V_۲ = V + \Delta V$ فرض گردیده است. معادلهٔ ۷-۱۳ را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\Delta y = (S_{\circ} - \bar{S}_f)\,\Delta x - \frac{\beta\bar{Q}}{g\bar{A}}\left[\Delta V + \frac{(V + \Delta V)}{Q}\,.\,\Delta Q\right]$$

Prozhefa.com

$$= (S_\circ - \bar{S}_f)\,\Delta x - \frac{\beta Q}{g} \cdot \frac{\bar{V}}{\bar{Q}} \left[\Delta V + \frac{(V + \Delta V)}{Q} \cdot \Delta Q\right] \qquad (۱۴-۷)$$

و یا:

$$\Delta y = -\frac{\beta Q_۱ (V_۱ + V_۲)}{g(Q_۱ + Q_۲)} \left[\Delta V + \frac{V_۲}{Q_۱} \cdot \Delta Q\right] + (S_\circ - \bar{S}_f) \cdot \Delta x \qquad (۱۵-۷)$$

میزان فروافتادگی سطح آب ($\Delta y'$) بین دو مقطع ۱ و ۲ عبارت است از:

$$\Delta y' = -\Delta y + S_\circ \cdot \Delta x \qquad (۱۶-۷)$$

که با گذاشتن معادلهٔ ۷-۱۶ در رابطهٔ ۷-۱۵، داریم:

$$\Delta y' = \frac{\beta Q_۱ (V_۱ + V_۲)}{g(Q_۱ + Q_۲)} \left[\Delta V + \frac{V_۲}{Q_۱} \cdot \Delta Q\right] + \frac{S_{f۱} + S_{f۲}}{۲} \cdot \Delta x \qquad (۱۷-۷)$$

جهت استفاده از رابطهٔ فوق، از نقطه بحرانی که ارتفاع سطح آب در آن معلوم است، شروع نموده و محاسبات برای دو قسمت بالادست با جریان زیر بحرانی و پایین‌دست با جریان فوق بحرانی انجام می‌پذیرد. با استفاده از روش آزمون و خطا و با داشتن خصوصیات جریان درهر مقطع، میزان افت سطح آب در مقطع پایین‌دست آن (مقطع ۲) محاسبه می‌گردد که در این جا لازم است $y_۲$ حدس زده شده و سپس با توجه به معادلهٔ ۷-۱۷ مقدار افت سطح آب بین دو مقطع ۱ و ۲ به‌دست آید. اگر مجموع $y_۲$ انتخاب شده و ارتفاع کف بستر در مقطع شمارهٔ ۲، مساوی مجموع ارتفاع کف بستر در مقطع ۱ و $y_۱$ و $\Delta y'$ محاسبه شده باشد، $y_۲$ انتخابی صحیح و در غیراین‌صورت باید عدد دیگری حدس زده شود. برای این منظور راحت‌تر آن است که ابتدا $\Delta y'$ حدس زده شده، با انتخاب $\Delta y'$ مقدار $y_۲$ به‌دست آید و نهایتاً با استفاده از معادلهٔ ۷-۱۷ مجدداً $\Delta y'$ محاسبه گردد. اگر مقدار $\Delta y'$ محاسبه شده با مقدار انتخابی برابر باشد، $y_۲$ صحیح و در غیراین‌صورت محاسبه تکرار می‌گردد.

بدیهی است دقت محاسبات به طول Δx انتخاب شده بستگی دارد و هرچه Δx کوچکتر باشد، محاسبه پروفیل دقیقتر خواهد بود. مجدداً یادآوری می‌گردد که انتخاب $\beta = ۱$ تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای روی پروفیل جریان (در صورتی‌که در واقع $\beta > ۱$ باشد) می‌گذارد به گونه‌ای که در قسمت زیر بحرانی، پروفیل را پایین‌تر و در منطقهٔ فوق بحرانی، پروفیل را بالاتر از حد واقع نشان می‌دهد.

مثال ۷-۲

یک سرریز جانبی به طول ۱۲۲m و کانالی ذوزنقه‌ای برای عبور شدت جریانی معادل $Q_x = ۳٫۷۲\text{m}^۳/\text{s/m}$ طرح گردیده است. عرض کف سرریز ۳m و شیب کناره‌های آن ۰٫۵:۱ می‌باشد. شیب طولی کانال ۰٫۱۵۰۵ و رقوم کف آن در نقطهٔ شروع (بالادست) ۲۲٫۵۰m فرض می‌گردد. مطلوب است تعیین پروفیل سطح آب اگر $n = ۰٫۰۱۵$ و $\beta = ۱$ باشد.

Prozhefa.com

حل :

اولین گام عبارت است از تعیین مقطع کنترل که همان مقطع بحرانی خواهد بود و لذا:

$$x=\frac{8Q_x^2}{gT^2\left(S_0-\frac{n^2gp}{TR^{1/3}}\right)^3}$$

$$Q = ۱۸۵\text{m}^3/\text{s}$$

$$\frac{Z}{b^{2/5}}=\frac{\frac{Q}{\sqrt{g}}}{b^{2/5}}=\frac{۱۸۵}{\sqrt{۹/۸۱}(۳/۰)^{2/5}}=۳/۷۹$$

$$\frac{y_c}{b} = ۱/۸۲ \rightarrow y_c = ۵/۴۶m$$

$$p=۳/۰+۲\times۵/۴۶\sqrt{۱+(۰/۵)^2}=۱۵/۲۱\text{m}$$

$$T = ۳ + ۲ \times ۰/۵ \times ۵/۴۶ = ۸/۴۶\text{m}$$

$$R = \frac{۵/۴۶(۳ + ۰/۵ \times ۵/۴۶)}{۱۵/۲۱} = ۲/۰۵۷\text{m}$$

$$x=\frac{8(۳/۷۲)^2}{۹/۸۱(۸/۴۶)^2\left(\frac{۰/۱۵۰۵-[(۰/۰۱۵)^2\times۹/۸۱\times۱۵/۲۱]}{۸/۴۶(۲/۰۵۷)^{1/3}}\right)^3}=۴۹/۲۵$$

$$Q = ۴۹/۲۵ \times ۳/۷۲ = ۱۸۳/۲۳\ \text{m}^3/\text{s} < ۱۸۵\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = ۱۸۳/۲۳\ \text{m}^3/\text{s}$$

$$\frac{Z}{b^{2/5}} = ۳/۷۵۳ \rightarrow \frac{y_c}{b} \approx ۱/۸۲$$

$$y_c = ۵/۴۶\text{m}$$

$$x = ۴۹/۲۵\text{m}$$

$$Q = ۱۸۳/۲۳\ \text{m}^3/\text{s}$$

با داشتن محل و مشخصات مقطع بحرانی، می توان پروفیل سطح جریان را در بالادست و پایین دست آن و با استفاده از معادلهٔ ۷-۱۷، مطابق آنچه در جدول ۷-۱ نشان داده شده است، معین نمود.

Prozhefa.com

جدول ۷-۱ حل مثال ۷-۲

x	Δx	Z_0	$\Delta y'$	$Z=Z_0+y$	y	A	$Q=۲/۲۱x$	V	Q_1+Q_2	V_1+V_2	$\Delta Q=Q_2-Q_1$	$\Delta V=V_2-V_1$	$\Delta y'_m$	R	S_f	$\bar{S}_f\Delta x$	$\Delta y'=\Delta y'_m+\bar{S}_f\Delta x$
m	m	m	m	m	m	m^2	m^3/s	m/s	m^3/s	m/s	m^3/s	m/s	m	m			m
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)	(۱۱)	(۱۲)	(۱۳)	(۱۴)	(۱۵)	(۱۶)	(۱۷)	(۱۸)
۴۹/۲۵		۱۵/۰۹		۲۰/۵۵	۵/۴۶	۳۱/۲۹	۱۸۳/۲۳	۵/۸۶					۲/۰۶	۰/۰۰۲۹			
۳۰	۱۹/۲۵	۱۷/۹۸۵	۲	۲۲/۵۵	۴/۵۶۵	۲۴/۱۱	۱۱۱/۶۰	۴/۶۴	۲۹۴/۸۳	۱۰/۵۰	۷۱/۶۳	۱/۲۲	۲/۰۱	۱/۸۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۴۹	۲/۰۶
			۲/۰۵	۲۲/۶۰	۴/۶۱۵	۲۴/۴۹	۱۱۱/۶۰	۴/۵۶	۲۹۴/۸۳	۱۰/۴۲	۷۱/۶۳	۱/۳۰	۲/۰۳	۱/۸۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۴۹	۲/۰۸
۱۵		۲۰/۲۴	۱/۶۰	۲۴/۲۰	۳/۹۶	۱۹/۷۲	۵۵/۸۰	۲/۸۳	۱۶۷/۶۰	۷/۳۹	۵۵/۸۰	۱/۷۳	۱/۵۸	۱/۶۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲	۱/۶۰
۷/۵	۷/۵	۲۱/۳۷	۰/۸۰	۲۵/۰	۳/۶۳	۱۷/۴۸	۲۷/۹۰	۱/۶۰	۸۳/۷۰	۴/۴۳	۲۷/۹۰	۱/۲۳	۰/۶۱۱	۱/۵۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۶۱۵
			۰/۶۱	۲۴/۸۱	۳/۴۴	۱۶/۲۴	۲۷/۹۰	۱/۷۲	۸۳/۷۰	۴/۵۵	۲۷/۹۰	۱/۱۱	۰/۶۱	۱/۵۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۶۱۵
۳	۴/۵	۲۲/۰۵	۰/۲۶	۲۵/۷۰	۳/۰۲	۱۳/۶۲	۱۱/۱۶	۰/۸۲	۳۹/۰۶	۲/۵۴	۱۶/۷۴	۰/۸۰	۰/۲۶	۱/۴۰	۰	۰	۰/۲۶
۰	۳	۲۲/۵	۰/۰۷	۲۵/۱۴	۲/۶۴												

با توجه به کوچک بودن فاصله تا مقطع قبلی، $\Delta y'$ دوباره $۷^2/۲g$ در مقطع قبل فرض می‌گردد.

ب: محاسبه پروفیل سطح آب برای جریان فوق بحرانی پایین دست

۴۹/۲۵		۱۵/۰۹		۲۰/۵۵	۵/۴۶	۳۱/۲۹	۱۸۳/۲۳	۵/۸۶					۲/۰۶	۰/۰۰۲۹			
۶۰	۱۰/۷۵	۱۳/۴۷	۱/۵۵	۱۹/۰	۵/۵۳	۳۱/۸۸	۲۲۳/۲۰	۷/۰۰	۴۰۶/۴۳	۱۲/۸۶	۳۹/۹۷	۱/۱۴	۱/۵۷۶	۲/۰۷	۰/۰۰۴۲	۰/۰۴	۱/۶۱۶
			۱/۵۲	۱۹/۰۳	۵/۵۶	۳۲/۱۴	۲۲۳/۲۰	۶/۹۴	۴۰۶/۴۳	۱۲/۸۰	۳۹/۹۷	۱/۰۸	۱/۵۲۶	۲/۰۸	۰/۰۰۴۱	۰/۰۴	۱/۵۶۶
			۱/۴۴	۱۹/۱۱	۵/۶۴	۳۲/۸۲	۲۲۳/۲۰	۶/۸۰	۴۰۶/۴۳	۱۲/۶۶	۳۹/۹۷	۰/۹۴	۱/۴۱	۲/۱۰	۰/۰۰۳۹	۰/۰۴	۱/۴۵
۱																	
۱																	
۱۲۲		۴/۱۴															

Prozhefa.com

در جدول ۷-۱، ستونها موارد ذیل را مشخص می‌نمایند:

ستون ۱: فاصلهٔ طولی مقطع انتخابی تا ابتدای کانال

ستون ۲: فاصلهٔ بین مقطع انتخابی و مقطع مجاور محاسبه شدهٔ قبلی

ستون ۳: رقوم کف کانال در مقطع انتخابی که با توجه به شیب کانال و یک رقوم داده شدهٔ آن معین می‌گردد.

ستون ۴: اختلاف رقوم دو سطح آب در دو مقطع که به‌صورت آزمونی انتخاب شده و سپس با $\Delta y'$ به‌دست آمده از محاسبات در ستون ۱۸ مقایسه می‌گردد. اگر دو $\Delta y'$ مساوی یکدیگر بودند، انتخاب صحیح و در غیراین‌صورت باید تعدیل گردد.

ستون ۵: رقوم سطح آب را نشان می‌دهد که با جمع جبری رقوم سطح آب در مقطع قبل با $\Delta y'$ انتخابی معین می‌گردد.

ستون ۶: عمق جریان در مقطع که از تفاضل ستون ۵ و ستون ۳ حاصل می‌گردد.

ستون ۷ تا ۱۳: سطح مقطع، دبی، سرعت و دیگر مشخصات مورد نیاز را مطابق آنچه در بالای ستونها نوشته شده است مشخص می‌نمایند.

ستون ۱۴: این ستون عبارت اول معادلهٔ ۷-۱۷ را معین می‌سازد یعنی:

$$\Delta y_m{}' = \frac{Q_1(V_1 + V_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left(\Delta V + \frac{V_2}{Q_1} \cdot \Delta Q\right)$$

ستون ۱۵: شعاع هیدرولیکی مقطع را با توجه به y انتخابی نشان می‌دهد.

ستون ۱۶: مقدار شیب خط انرژی با توجه به رابطه $S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}}$ برای هر مقطع، در این ستون محاسبه گردیده است.

ستون ۱۷: عبارت دوم معادلهٔ ۷-۱۷، در این ستون محاسبه شده است و برای $\bar{S}_f$ از رابطهٔ $\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$ استفاده گردیده است.

ستون ۱۸: مقدار افت سطح آب را بین دو مقطع مجاور نشان می‌دهد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد چنانچه این مقدار با مقدار ستون ۴ مساوی ویا نزدیک به هم باشند، محاسبات کامل و در غیراین‌حالت، مجدداً $\Delta y'$ در ستون ۴ حدس زده و روش تکرار می‌گردد.

۷-۲ جریان متغیرمکانی باکاهش دبی (SVF With Decreasing Discharge)

دراین نوع جریانها که موارد مثال آن در طبیعت فراوان مشاهده می‌شود (نظیر سرریزهای جانبی کنارهٔ کانالها یا سرریزهای کناری و کفهای مشبک)، کاسته شدن جریان باعث تغییرات قابل‌ملاحظه و مشخص آنی در جریان نشده و لذا افت انرژی را مساوی صفر قرار داده و از معادلهٔ انرژی استفاده می‌گردد.

Prozhefa.com

۷-۲-۱ معادله دینامیکی جریان متغیرمکانی با کاهش دبی

برای تعیین این معادله، فرضیات زیر صورت می‌گیرد:

۱- پخش فشار هیدرواستاتیکی خواهد بود،

۲- جریان یک بعدی در نظر گرفته می‌شود (برای اعمال اثر پخش غیریکنواخت سرعت در مقطع، ضریب تصحیح انرژی α به کار گرفته می‌شود)،

۳- افت اصطکاکی براساس معادلهٔ مانینگ معین می‌گردد،

۴- برداشت آب تأثیر چندانی در انرژی موجود در واحد جرم آب ندارد،

۵- جریان دائمی است،

۶- کانال منشوری‌شکل و دارای شیب کم می‌باشد،

در هر مقطع کانال، کل انرژی نسبت به یک سطح مبنا برابر است با:

$$H = Z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \qquad (۷-۱۸)$$

از معادلهٔ بالا نسبت به محور طولی کانال (x) مشتق گرفته می‌شود:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g}\left(\frac{2Q}{A^2}\cdot\frac{dQ}{dx} - \frac{2Q^2}{A^3}\cdot\frac{dA}{dx}\right) \qquad (۷-۱۹)$$

در این معادله:

$$\frac{dA}{dx} = \frac{dA}{dy}\cdot\frac{dy}{dx} = B\frac{dy}{dx} \quad , \quad \frac{dZ}{dx} = -S_0 \quad ، \quad \frac{dH}{dx} = -S_f$$

می‌باشد که با جایگذاری آنها در رابطهٔ ۷-۱۹، نتیجهٔ زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2}\right)\cdot\left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \alpha Q^2 \cdot \frac{B}{gA^3}} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2}\right)\cdot\left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - F_r^2} \qquad (۷-۲۰)$$

معادلهٔ فوق به معادلهٔ جریانهای متغیرمکانی با کاهش دبی موسوم بوده و ملاحظه می‌شود که تنها اختلافی که با معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیرمکانی با افزایش دبی دارد در ضریب عددی سومین جمله صورت کسر بوده و از طرفی در صورتی‌که $\frac{dQ}{dx} = 0$ باشد، به عبارت دیگر در حالتی‌که کاهش دبی وجود نداشته باشد، مجدداً به معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیر تدریجی که قبلاً اثبات شده است می‌رسد.

در این حالت از جریان مقدار $\frac{dQ}{dx}$ شبیه حالت قبل کاملاً مشخص نبوده و لذا تعیین مقطع جریان بحرانی به‌عنوان یک نقطهٔ کنترل مشکل خواهد بود. بنابراین برای رسم پروفیل سطح جریان، قبل از هر چیز لازم است تا معادلهٔ $\frac{dQ}{dx}$ مشخص شده و پس از آن با کمک یکی از روشهای عددی اقدام به محاسبهٔ پروفیل مزبور نمود. رابطهٔ $\frac{dQ}{dx}$ نیز تابعی است از خصوصیات و مشخصات جریان که از یک مورد تا مورد دیگر تغییر کرده و در این قسمت به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود.

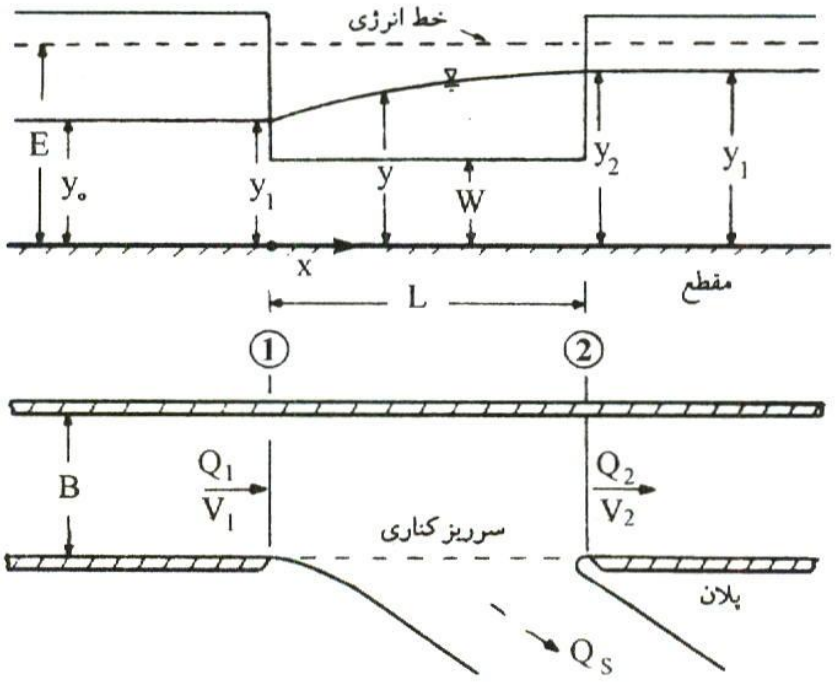
Prozhefa.com

۷-۲-۱-۱ سرریزهای موازی کانال یا سرریزهای کناری (Side Weirs) یک سرریز کناری عبارت است از یک سرریز با جریان آزاد که در کنارهٔ کانال و به موازات آن تعبیه شده و اجازه می‌دهد تا در موقعی که ارتفاع آب بالاتر از تاج سرریز است، مقداری از آب از روی آن خارج شود. این نوع سرریزها در انحراف آب اضافی در سیستمهای جمع‌آوری فاضلاب شهری، در کنترل ارتفاع سیلاب‌ها و... موارد استفادهٔ فراوانی دارند.

سرریزهای کناری معمولاً سازه‌های هیدرولیکی کوچکی بوده که در آنها $\frac{L}{B} \leq ۳$ است (شکل ۷-۳). انواع پروفیلهای جریانی که عموماً در سرریزهای موازی کانال به‌وجود می‌آید، به‌شرح زیر می‌باشد:

نوع ۱ در این حالت کانال دارای شیب ملایم و $W > y_{c۱}$ می‌باشد جایی‌که $y_{c۱}$ عبارت است از عمق بحرانی دبی ورودی $Q_۱$ در مقطع ۱ (شکل ۷a-۴). در انتهای پایین‌دست، عمق نرمال کانال با دبی $Q_۲$ حاکم بوده و لذا $y_۲ = y_t$ که y_t عمق پایاب در نظر گرفته شده است. عمق جریان در مقطع ۱ ($y_۱$) از $y_{c۱}$ بیشتر و از $y_۰$ عمق نرمال کانال بالادست که دارای شدت جریان $Q_۰ = Q_۱$ است کمتر می‌باشد. با استفاده از معادلهٔ انرژی مخصوص، واضح است که در چنین شرایطی و با توجه به شیب ملایم کانال، عمق جریان بتدریج در طول سرریز افزایش یافته تا از $y_۱$ به $y_۲$ برسد. مقطع کنترل برای این حالت عمق جریان پایین‌دست $y_۲ = y_t$ خواهد بود.

نوع ۲ کانال دارای شیب ملایم ($y_۰ > y_{c۱}$) ولی با $W < y_{c۱}$ می‌باشد (شکل ۷b-۴) که اگر سرریز طولانی باشد، امکان ایجاد جریانی با عمق کمتر از عمق بحرانی وجود دارد. در انتهای بالادست سرریز

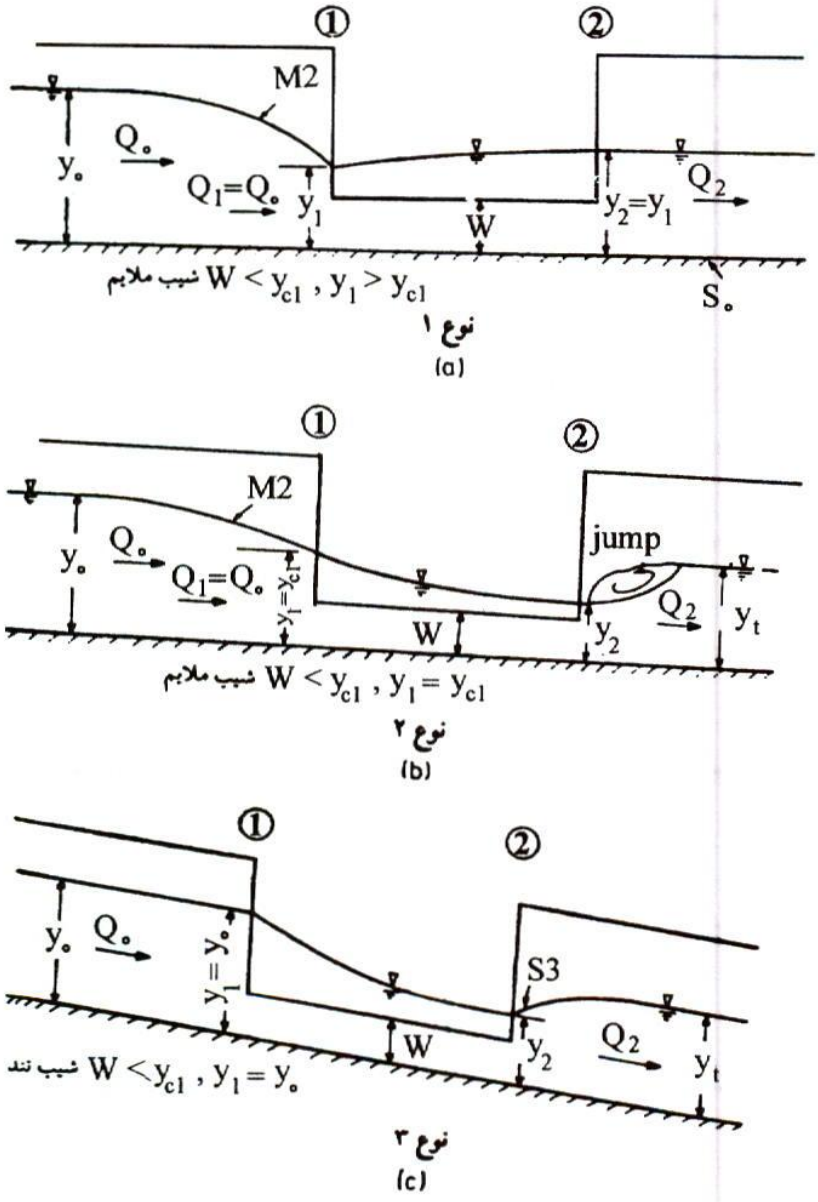


شکل ۷-۳ شمای یک سرریز کناری

Prozhefa.com

عمق y_1 می‌تواند مساوی y_{c1} در نظر گرفته شده و در پایین‌دست عمق y_2 از طریق یک پرش به y_t خواهد رسید. اضافه می‌نماید که بسته به عمق پایاب، پرش می‌تواند به داخل منطقهٔ سرریز نفوذ کرده و مقطع کنترل برای نیمرخ نوع ۲، مقطع ۱ خواهد بود.

نوع ۳ شیب کانال تند ($y_0 < y_{c1}$) و $W < y_{c1}$ است (شکل ۷c-۴). در طول سرریز بتدریج عمق جریان از $y_1 = y_0$ در مقطع ۱ کاهش پیدا کرده و در مقطع ۲ به حداقل خود می‌رسد و از آن‌جا برای رسیدن به عمق جریان پایاب (y_t) پروفیل سطح آب ناحیهٔ S3 را طی می‌کند. مقطع کنترل این نوع جریان $y_1 = y_0$ در ابتدای سرریز است.



شکل ۷-۴ انواع جریانهای ممکن بر روی سرریزهای کناری

Prozhefa.com

De Marchi ، در سال ۱۹۳۴ برای به‌دست آوردن معادله‌ای جهت سرریزهای کناری و با توجه به شکل ۷-۳، فرضیات زیر را در نظر گرفت:

۱-کانال مستطیلی و منشوری است.

۲- سرریز کناری دارای طول کوتاه بوده و انرژی مخصوص بین مقاطع ۱ و ۲ ثابت است. این امر معادل فرض $S_0 - S_f = 0$ یا $S_0 = 0$ و $S_f = 0$ بوده و نتایج تجربی نشان می‌دهد که یک فرض منطقی می‌باشد.

۳- سرریز کناری معادل یک سرریز لبه تیز بوده که هوادهی کامل صورت گرفته و آب به‌صورت آزاد خارج می‌شود.

۴- ضریب تصحیح انرژی α مساوی یک می‌باشد.

با توجه به فرضیات بالا، معادلهٔ دینامیکی ۷-۲۰ به شکل زیر در می‌آید:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q}{gB^2y^2}\left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{1-\frac{Q^2}{gy^3B^2}} = \frac{Qy\left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{gB^2y^3-Q^2} \qquad (۲۱-۷)$$

از طرفی دبی روی سرریز و در واحد طول آن مساوی است با:

$$-\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3}C_M\sqrt{2g}\,(y-W)^{3/2} \qquad (۲۲-۷)$$

که در آن C_M ضریب شدت جریان بوده و به ضریب De Marchi موسوم است. با توجه به فرض ثابت بودن انرژی مخصوص، مقدار شدت جریان در هر مقطع کانال، از عبارت زیر حاصل می‌گردد:

$$Q = By\sqrt{2g\,(E-y)} \qquad (۲۳-۷)$$

و از ترکیب معادلات ۷-۲۱، ۷-۲۲ و ۷-۲۳ خواهیم داشت:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4}{3}\cdot\frac{C_M}{B}\cdot\frac{\sqrt{(E-y)(y-W)^3}}{3y-2E} \qquad (۲۴-۷)$$

با انتگرال‌گیری از رابطهٔ فوق و فرض این‌که C_M مستقل از x است، عبارت زیر منتج می‌گردد:

$$x = \frac{3B}{2C_M}\left[\frac{2E-3W}{E-W}\sqrt{\frac{E-y}{y-W}} - 3\sin^{-1}\sqrt{\frac{E-y}{E-W}}\right] + \text{ثابت انتگرال} \qquad (۲۵-۷)$$

معادلهٔ ۷-۲۵ به عنوان معادلهٔ De Marchi معروف بوده و چنانچه خواسته شود فاصلهٔ بین دو مقطع ۱ و ۲ (L) محاسبه گردد کافی است با داشتن Q_1 ، Q_2 ، y_1 و y_2 مقادیر x_1 و x_2 را محاسبه و از تفاضل آنها،

Prozhefa.com

طول سرریز را معین نمود. در تعیین طول L، حذف ثابت انتگرال تأثیری نداشته و با این وصف اگر خواسته شود مقدار دبی خارج شده از روی سرریز (Q_s) به‌دست آید، برابر خواهد بود با:

$$Q_s = Q_1 - Q_2 \qquad (۲۶-۷)$$

تحقیقات تجربی انجام گرفته بوسیلهٔ Subramanya و Awasthy (۱۹۷۲) نشان می‌دهد که C_M تنها تابع Fr_1 بوده و می‌تواند از روابط تجربی زیر حاصل گردد:

برای جریان زیر بحرانی:

$$C_M = ۰/۶۱۱\sqrt{۱ - \frac{۳Fr_1^۲}{(Fr_1^۲ + ۲)}} \qquad (۲۷-۷)$$

جایی‌که $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$ می‌باشد و در صورت جریان فوق بحرانی با شرط $Fr_1 > ۲$:

$$C_M = ۰/۳۶ - ۰/۰۸Fr_1 \qquad (۲۸-۷)$$

Subramanya (۱۹۸۲) اظهار می‌دارد که C_M به هیچ‌کدام از عوامل $\frac{W}{y_1}$، $\frac{L}{B}$ و $\frac{y_1}{L}$ بستگی ندارد.

برای سرریزهای کناری لبه پهن که باعث خروج آب از کانال اصلی به یک کانال فرعی عمود بر کانال اصلی می‌شود، رابطهٔ تجربی زیر در سال ۱۹۷۹ توسط Rangaraju و همکاران برای محدوده $\frac{y_1 - W}{L} < ۲$ پیشنهاد شد:

$$C_M = (۰/۸۱ - ۰/۶Fr_1)\left(۰/۸ + ۰/۱\frac{y_1 - W}{L}\right) \qquad (۲۹-۷)$$

شایان ذکر است که در بعضی از موارد کاربرد سرریزهای کناری، نظیر سیستمهای کشاورزی و جمع‌آوری فاضلاب، لازم است تا سرریز به گونه‌ای طراحی گردد که مقدار $\frac{dQ}{dx}$ در طول سرریز ثابت باشد. از معادلهٔ ۷-۲۲ نتیجه گرفته می‌شود که اگر $\frac{dQ}{dx}$ ثابت باشد، مقدار $y - W$ نیز بایستی در طول سرریز ثابت باشد و به عنوان مثال اگر W ثابت در نظر گرفته شود، سطح آب نیز در طول چنین سرریزی ثابت خواهد بود. و چون انرژی مخصوص ثابت فرض می‌شود، سطح آب موازی خط انرژی و بنابراین سرعت نیز ثابت خواهد بود. یعنی:

$$V_1 = V = V_2$$

با استفاده از معادلهٔ پیوستگی:

$$Q_1 - \frac{dQ}{dx} \times x = Q$$

$$A_1 - \frac{\left(\frac{dQ}{dx}\right) \times x}{V_1} = A$$