

# 타지키스탄 주요 도시의 기후, 날씨, 일사량 및 태양에너지 분석

나태유<sup>1</sup> · 노정두<sup>2</sup> · 김현태<sup>3</sup> · 강성승<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 심층처분환경연구센터 연구원, <sup>2</sup>전남연구원 전라남도탄소중립지원센터 전문연구위원, <sup>3</sup>벽산파워(주) 기술개발연구소 소장, <sup>4</sup>조선대학교 에너지자원공학과 교수

## Analysis of Climate, Weather, Solar Radiation and Solar Energy in Major Cities of Tajikistan

Taeyoo Na<sup>1</sup> · Jeongdu Noh<sup>2</sup> · Hyeontae Kim<sup>3</sup> · Seong-Seung Kang<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Geology and Space Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>2</sup>Researcher, Jeollanamdo Carbon Neutral Center, Jeonnam Research Institute

<sup>3</sup>Research Director, Research and Development Center, Byucksan Power Co., Ltd.

<sup>4</sup>Professor, Department of Energy and Resources Engineering, Chosun University

### Abstract

Climate, weather, insolation (solar radiation), and solar energy in major cities of Tajikistan were investigated prior to construction of infrastructure for the Dushanbe Solar Station. In Dushanbe city there was a 70% probability of sunny days from May 16 to October 23, a period of 5.2 months. August had the most sunny days of in the year, with 99% probability of a sunny, the cloudiest month was February with a 41% chance of being sunny. In major cities of the Sughd and Gorno-Badakhshan states, the average number of cloudy days per month was ~3.3, with Dzhauz having 53 day and Fedchnko Glacier 79 days. For the 18 major cities of Tajikistan, the average annual total solar radiation was 2,429 W/m<sup>2</sup>, and the average monthly solar radiation was 202 W/m<sup>2</sup>. The city with the lowest annual total and monthly average solar radiation was Shartuz in Sughd state, with values ~2.7% less than the national average. The cities with the highest annual total and monthly average solar radiation were Khorog and Jirgatal in Gorno-Badakhshan state, with values ~10% above the national average. The daily average incident shortwave solar energy in the cities Dushanbe, Karakul, and Jirgatal was ~7.8 kWh per 2.4 m<sup>2</sup> during summer (May-August), and 2.7 kWh during winter (November-February), or ~35% that of summer.

**Keywords:** Tajikistan, Dushanbe, sunny day, solar radiation, incident shortwave solar energy

### 초 록

본 연구는 타지키스탄 두산베 솔라스테이션 인프라 구축을 위한 예비조사로 타지키스탄 주요 도시들의 기후, 날씨, 일사량(태양 복사량), 그리고 태양에너지 등을 분석한 결과이다. 타지키스탄 수도인 두산베의 기후를 분석한 결과, 맑은 날이 70% 이상 확률인 달은 5월 16일~10월 23일까지로 약 5.2개월이며, 일년 중 가장 맑은 날이 많은 달은 8월로 맑을 확률은 99%, 흐린 날이 가장 많은 달은 2월로 맑을 확률은 41%인 것으로 나타났다. 타지키스탄 대표 주민 수그드 주와 고르노바다흐산 자치주의 주요 도시별 날씨를 분석한 결과, 월평균 흐린 날은 약 3.3일이며, 수그드 주에서 흐린 날이 가장 많이 관측된 도시는 53일을 보인 Dzhauz, 고르노바다흐산 자치주에서는 79일을 보인 Fedchenko Glacier인 것으로 나타났다.

### OPEN ACCESS

\*Corresponding author: Seong-Seung Kang  
E-mail: kangss@chosun.ac.kr

Received: 28 June, 2023  
Revised: 17 August, 2023  
Accepted: 31 August, 2023

© 2023 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

타지키스탄 주요 도시 18개 지역의 일사량을 분석한 결과, 평균 연간 총 일사량은 2,429 W/m<sup>2</sup>이며, 평균 월평균 일사량은 202 W/m<sup>2</sup>인 것으로 나타났다. 연간 총 일사량과 월평균 일사량을 가장 적게 보인 도시는 수그드 주의 Shartuz이며 평균보다 2.7% 작게, 가장 크게 보인 도시는 고르노바다흐산 자치주의 Khorog와 Jirgatal이며 평균보다 10% 높은 것으로 나타났다. 타지키스탄 주요 도시 Dushanbe, Karakul, 그리고 Jirgatal에 대한 태양에너지를 분석한 결과, 1년 중 여름 기간(5~8월)의 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지는 7.8 kWh인 반면, 겨울 기간(11~2월)에는 2.7 kWh로 여름 기간의 35% 정도인 것으로 분석되었다.

**주요어:** 타지키스탄, 두산베, 맑은 날, 일사량, 입사단파 태양에너지

## 서론

중앙아시아에 위치하고 있는 타지키스탄(Tajikistan)은 1991년 소련이 해체된 이후 독립한 국가로, 국토면적은 143,100 km<sup>2</sup>, 인구는 약 1,019만 명이며, 수도는 서쪽에 위치한 두산베(Dushanbe)이다. 강, 자연 호수 및 빙하 등 비교적 풍부한 수자원을 보유하고 있는 타지키스탄은 세계 최대 규모의 수력 발전소를 보유할 만큼 전력 생산을 위해 거의 전적으로 수력 발전(대규모 6개, 중규모 5개, 소규모 16개)에 의존하고 있다(Kudusov et al., 2021). 타지키스탄의 수력 발전 잠재력은 약 527 TWh로 세계 8위이지만 현재는 약 4%에 불과한 상황이다. 전기는 타지키스탄 경제에 있어 매우 중요한 부분을 차지하며, 청정하고 저렴하면서 안전한 전기 공급을 위해 정부는 다양한 에너지 공급 정책을 추진하고 있다. 즉, 에너지를 비수력이나 재생에너지 도입으로 다양화하고 기존 에너지 인프라를 재활용 및 현대화하여 에너지 절약과 지역 통합을 확대할 계획을 설정하였다. 현재 타지키스탄은 전체 발전 프로젝트의 90%를 차지하는 수력 발전과 6%를 차지하는 석탄 화력 발전과 더불어 나머지를 재생에너지로 대체하려는 전력 공급 통합 프로젝트 전략을 계획하고 있다. 이러한 통합 프로젝트는 겨울 동안의 전력 부족 현상을 해결하고 여름과 겨울 사이의 에너지 공급 불균형을 해소하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 이것은 타지키스탄 정부가 설정한 전력 생산량 목표를 2015년 17.1 TWh, 2020년 26.2 TWh, 2030년 40.7 TWh에서 45.0 TWh로 늘리려는데 크게 이바지할 것으로 판단된다(IEA, 2022). 정부가 환경 친화적인 재생에너지자원을 적극 개발하기 위하여 다양한 재정 및 규제 인센티브를 제공하고 있는 것도 전력 생산 다양화 정책의 일환이라 할 수 있다. 무엇보다 중요한 것은 타지키스탄의 수력 발전에 의한 전력 생산이 기후 조건(매년 건조한 날씨)과 강 흐름의 계절적 특성에 따라 달라지고 수력 발전의 제한된 생산 능력이 증가하는 전력 수요를 더 이상 적절하게 충족시키지 못한다는 점이다. 더군다나 환경문제와 석탄 화석 연료로 인한 SO<sub>x</sub>와 같은 대기오염 및 온실가스 배출에 대한 높은 요구 사항으로 인해 타지키스탄의 재생에너지 사용 필요성은 더욱 절실하다. 여러 유형의 재생에너지 중 복사 태양에너지는 일광 시간이 연간 2,100~3,635시간이기 때문에 타지키스탄의 높은 산악 조건을 고려해 볼 때 가장 저렴하고 지속 가능한 대체 에너지원이라 할 수 있다(Kudusov et al., 2021).

본 연구의 목적은 타지키스탄의 두산베 솔라스테이션 인프라 구축을 위한 예비연구로써 Weather Spark에서 제공하는 1980~2016년까지 관측한 자료(Weather Spark, 2022)와 타지키스탄 일사량 자료(Unpublished Report, 2022)를 참고하여, i) 타지키스탄 수도인 두산베의 연중 기후 분석, ii) 타지키스탄 수그드(Sughd) 주와 고르노바다흐산(Gorno-Badakhshan) 자치주 주요 도시의 월간 맑은 날과 흐린 날 분석, iii) 타지키스탄 주요 도시의 월간 일사량(태양 복사량) 분석, 그리고 iv) 타지키스탄 수도 두산베와 주요 도시의 태양에너지 분석을 실시하였다.

## 연구 지역

타지키스탄은 크게 북부 페르가나 분지(Fergana basin) 방향에 있는 수그드 주와 파미르고원(Pamir plateau)이 있는 고르노바다흐산 자치주로 구분할 수 있다. 타지키스탄의 주요 도시로는 Kairakum, Penjakent, Dushanbe, Bokhtar, Karakul, Fedchenko Glacier, Khorog 등이 있다(Fig. 1). 타지키스탄은 국토의 약 93%가 산악지대로 이루어져 있으며, 히말라야산맥과 연결된 지진대에 속하여 작은 규모의 지진이 빈번하게 일어난다. 타지키스탄 기후는 온화한 대륙성 기후이며, 연평균 기온의 격차가 매우 큰 편이다(Kang, 2023; Kang et al., 2023). 연중 기후 분석은 타지키스탄 서쪽에 위치한 Dushanbe를 대상으로 하였다. 타지키스탄 월간 맑은 날과 흐린 날의 날씨 분석은 수그드 주의 Kairakum, Leninabad, Penjakent, Dzhauz, Dushanbe, Pakhtaboy, Bokhtar 등 8개 도시와 고르노바다흐산 자치주의 Karakul, Fedchenko Glacier, Khaburabad, Khorog 등 4개 도시를 대상으로 하였다(Fig. 1). 타지키스탄 일사량 분석은 수도인 Dushanbe를 포함하여 수그드 주와 고르노바다흐산 주에 속하는 Khujand, Bokhtar, Kulob, Tursunzade, Yovon, Shartuz, Nurek, Kanibadam, Ura-Tyube, Penjakent, Khorog, Dangara, Jirgatal, Kamsomolobod, Garm, Nau, Isfara 등 18개 도시를 대상으로 하였다(Fig. 1). 그리고 타지키스탄 태양에너지 분석은 수도인 Dushanbe와 Karakul, Jirgatal를 대상으로 하였다.



Fig. 1. Major cities of Tajikistan: red: capital of Tajikistan, blue: Sugd province, green: Gorno-Badakhshan province (modified from IEA, 2022).

## 연구 방법

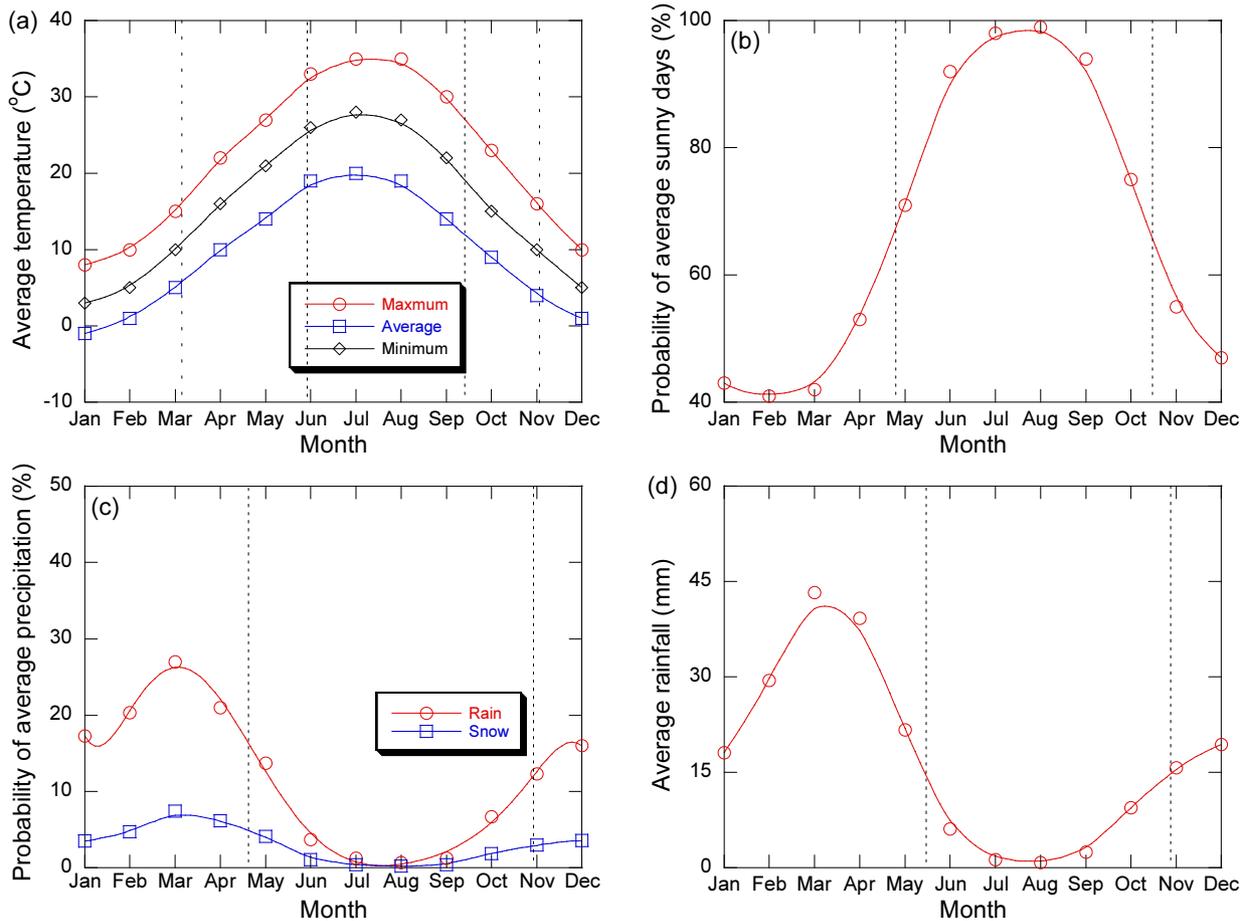
타지키스탄 두산베의 연중 기후, 수그드 주와 고르노바다흐산 자치주 주요 도시의 월간 맑은 날과 흐린 날, 타지키스탄 주요 도시의 월간 일사량, 타지키스탄 두산베와 주요 도시의 태양에너지 등을 분석하기 위하여 Weather Spark에서 제공한 1980~2016년까지 관측된 자료(Weather Spark, 2022)와 타지키스탄 지역별 태양에너지 자원 잠재성 평가 보고서(Unpublished Report, 2022)를 이용하였다. 본 연구를 수행하기 위해서 가장 필요한 것은 타지키스탄 각 지역에 대한 기후, 날씨, 일사량, 태양에너지에 대한 시간별 자료이다. 하지만 타지키스탄 정부에서 제공하는 공개 자료는 거의 없기 때문에 대부분의 자료는 간접적으로 획득된 자료들(Kudusov et al., 2021; GSA Report, 2022; IEA, 2022; Unpublished Report, 2022)을 목적별(Tables 1~5)로 재가공하여 사용하였다.

### 두산베의 기후 분석

타지키스탄의 수도인 두산베는 국토의 서쪽에 위치하며 평균 해발 고도 769 m, 최대 고도 차는 86 m로 타지키스탄 내에서는 고도차가 크지 않은 편에 속한다. 두산베의 기후는 여름은 무덥고 건조하며, 겨울은 춥고 눈이 많이 내리며, 연중 기온은 35°C 이하 ~ -1°C 이상 분포를 보인다(Table 1). 두산베의 여름은 6월 4일~9월 16일까지 약 3.4개월로 일 평균 기온은 30°C 이상으로 가장 더운 달은 7월이며, 일 평균 고온은 35°C, 일 평균 저온은 20°C이다. 겨울은 11월 26일~3월 10일까지 약 3.5개월로 일 평균 기온은 13°C 이하로 가장 추운 달은 1월이며, 일 평균 고온은 8°C, 일 평균 저온은 -1°C이다 (Fig. 2a). 두산베의 맑은 날, 강수 확률, 강수량은 Table 2에 정리하였다. 두산베에서 70% 이상 확률로 맑은 날은 5월 16일~10월 23일까지로 약 5.2개월 정도이다. 맑은 날이 가장 많은 달은 8월이며, 흐린 날이 가장 많은 달은 2월이다(Fig. 2b).

**Table 1.** Average, maximum, and minimum temperatures by month in Dushanbe

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Avg.	3°C	5°C	10°C	16°C	21°C	26°C	28°C	27°C	22°C	15°C	10°C	5°C
Max.	8°C	10°C	15°C	22°C	27°C	33°C	35°C	35°C	30°C	23°C	16°C	10°C
Min.	-1°C	1°C	5°C	10°C	14°C	19°C	20°C	19°C	14°C	9°C	4°C	1°C



**Fig. 2.** Climate conditions in Dushanbe: (a) average temperature; (b) probability of average sunny days; (c) probability of average precipitation; and (d) average rainfall with month (modified from IEA, 2022).

**Table 2.** Climate conditions in Dushanbe: probability of sunny days; precipitation; number of rainy days by month

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<sup>1</sup> Sunny	43%	41%	42%	53%	71%	92%	98%	99%	94%	75%	55%	47%
<sup>2</sup> Prec.	18.1 mm	29.5 mm	43.3 mm	39.2 mm	21.7 mm	6.1 mm	1.3 mm	0.8 mm	2.5 mm	9.5 mm	15.7 mm	19.4 mm
<sup>3</sup> Rainy	3.5	4.7	7.4	6.2	4.1	1.1	0.4	0.2	0.4	1.9	3.0	3.6

강수는 주로 12~5월에 발생하며, 최소 한 달에 1 mm 이상의 강우가 발생하는 날은 평균 3일이다. 두산베에서 비가 가장 많이 내리는 달은 3월로 강수량은 43.4 mm로 최대값을 나타내며, 비가 가장 적게 내리는 달은 8월로 0.8 mm 정도로 최소 강수량을 보이는 것으로 분석되었다(Figs. 2c and 2d). 대륙성 기후에 속하는 타지키스탄은 대체적으로 더운 기간인 5~9월에는 강수가 거의 없는 상태다.

### 수그드 주와 고르노바다흐산 자치주 날씨 분석

타지키스탄은 크게 북서부의 수그드 주와 동부의 고르노바다흐산 자치주로 구분할 수 있다. 수그드 주의 주요 도시로는 Kairakum, Leninabad, Penjakent, Dzhaus, Dushanbe, Pakhtaboy, Bokhtar 등이며, 고르노바다흐산 자치주의 주요 도시로는 Karakul, Fedchenko Glacier, Khaburabad, Khorog 등이다(Fig. 1). 이들 각 도시의 기상센터에서 측정된 월별 흐린 날의 결과를 정리하면 Table 3과 같다. 결과에서 알 수 있듯이 이들 대부분의 도시는 4~10월에 맑은 날 수가 많으며, 11~3월에는 한 달 평균 흐린 날이 4~9일 정도 되는 것으로 분석되었다. 이들 관계를 좀 더 세밀하게 분석하기 위해 월 평균 흐린 날, 연간 및 월 평균 맑은 날과 흐린 날을 그래프로 나타내었다(Figs. 3~5). Fig. 3에서 보는 바와 같이 수그드 주의 주요 도시들의 월평균 흐린 날은 Kairakum 2.7일, Leninabad 3일, Penjakent 3.2일, Dzhaus 4.4일, Dushanbe 3.4일, Dushanbe GMO 3.3일, Pakhtaboy 3.4일, Bokhtar 3.1일로 대부분 도시에서 월평균 3.3일 이상의 흐린 날을 보이는 것으로 분석되었다. 고르노바다흐산 자치주의 주요 도시들의 월평균 흐린 날은 Karakul 0.6일, Fedchenko Glacier 6.6일, Khaburabad

**Table 3.** Number of cloudy days per month in major cities in Sughd and Gorno-Badakhshan provinces: 1. Kairakum; 2. Lenninabad; 3. Penjakent; 4. Dzhaus; 5. Dushanbe; 6. Dushanbe GMO; 7. Pakhtaboy; 8. Bokhtar; 9. Karakul; 10. Fedchenko Glacier; 11. Khaburabad; 12. Khorog

City	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Average
1	6	4	4	1	0	0	0	0	0	1	5	11	32	2.7
2	8	5	5	0	0	0	0	0	0	2	4	12	36	3.0
3	8	6	5	2	1	0	0	0	0	2	4	10	38	3.2
4	10	9	8	3	1	0	0	0	0	3	7	12	53	4.4
5	8	6	8	2	2	0	0	0	0	2	5	8	41	3.4
6	9	7	6	2	1	0	0	0	0	2	4	8	39	3.3
7	7	7	7	3	1	0	0	0	0	2	5	9	41	3.4
8	8	6	6	2	1	0	0	0	0	2	4	8	37	3.1
9	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7	0.6
10	13	13	12	7	3	1	1	0	0	5	10	14	79	6.6
11	6	7	7	3	2	0	0	0	0	1	6	10	42	3.5
12	8	5	4	1	0	1	0	0	0	1	2	7	29	2.4

3.5일, Khorog 2.4일로 Karakul의 월평균 흐린 날이 가장 적게 나타난 반면, Fedchenko Glacier에서 가장 많이 관측된 것으로 분석되었다(Fig. 4). 월평균 흐린 날의 경우 수그드 주 도시들은 그 차이가 크지 않았지만, 고르노바다흐산 자치주에서는 도시들 사이의 차이가 매우 큰 것으로 분석되었다. 수그드 주에서 흐린 날이 가장 많이 관측된 도시는 53일을 보인 Dzhaus이고, 고르노바다흐산 자치주에서는 79일을 보인 Fedchenko Glacier로 분석되었다. 또한 타지키스탄의 12개의 주요 도시 중 연중 흐린 날이 가장 많이 관측된 도시는 고르노바다흐산 자치주의 Fedchenko Glacier이며, 가장 적게 관측된 도시는 Karakul인 것으로 나타났다(Fig. 5a). 두 지역이 이러한 날씨 차이를 보이는 이유는 고르노바다흐산 자치주가 수

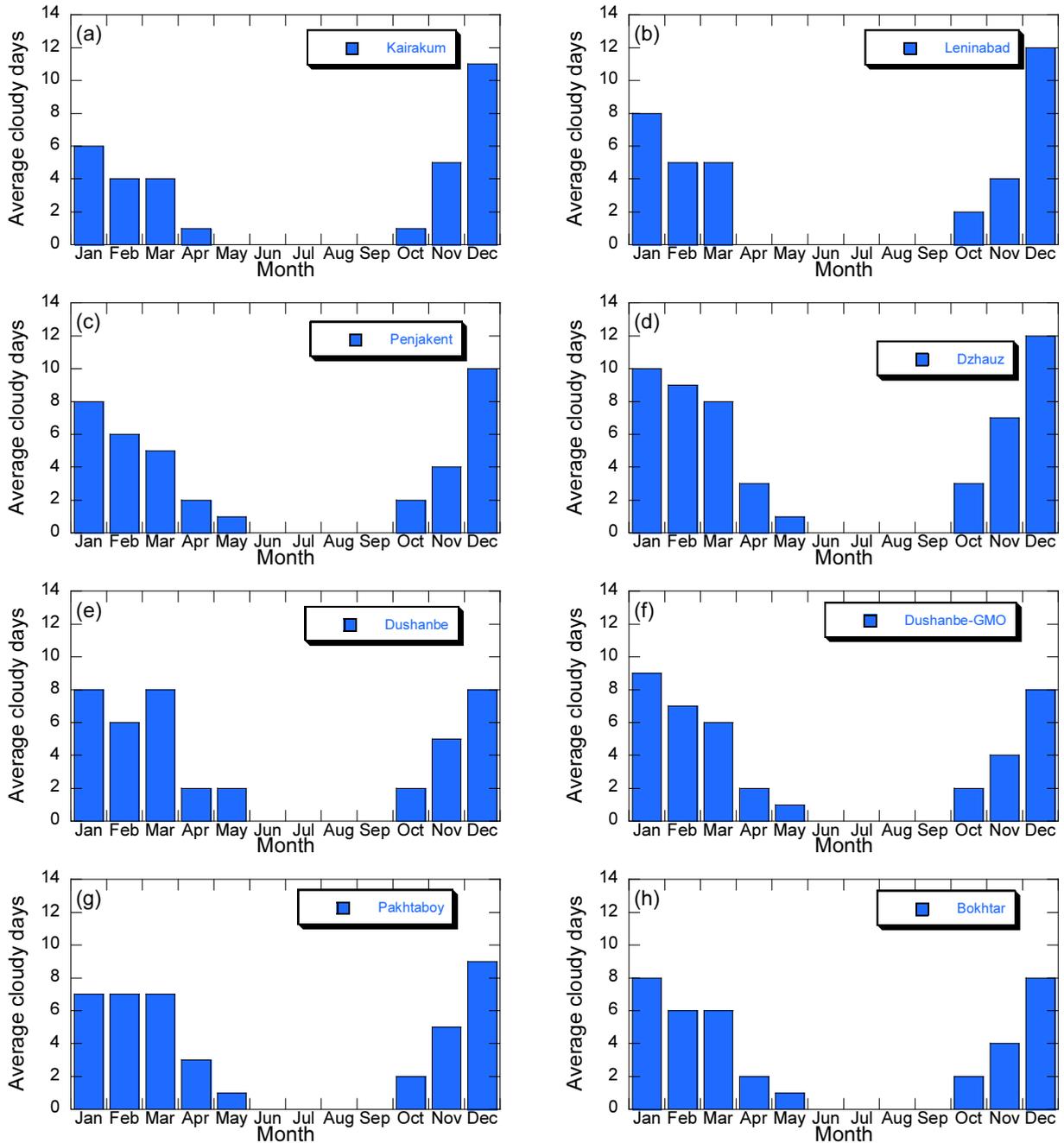


Fig. 3. Monthly average number of cloudy days in major cities of Sughd province: (a) Kairakum, (b) Leninabad, (c) Penjakent, (d) Dzhaus, (e) Dushanbe, (f) Dushanbe-GMO, (g) Pakhtaboy, and (h) Bokhtar.

그드 주보다 고산지대에 위치하고 있는 지형적 요인이 크게 영향을 미친 것으로 판단된다. 하지만 월별 평균 흐린 날은 두 지역 모두 비슷한 경향을 보인 것으로 분석되었다(Fig. 5b).

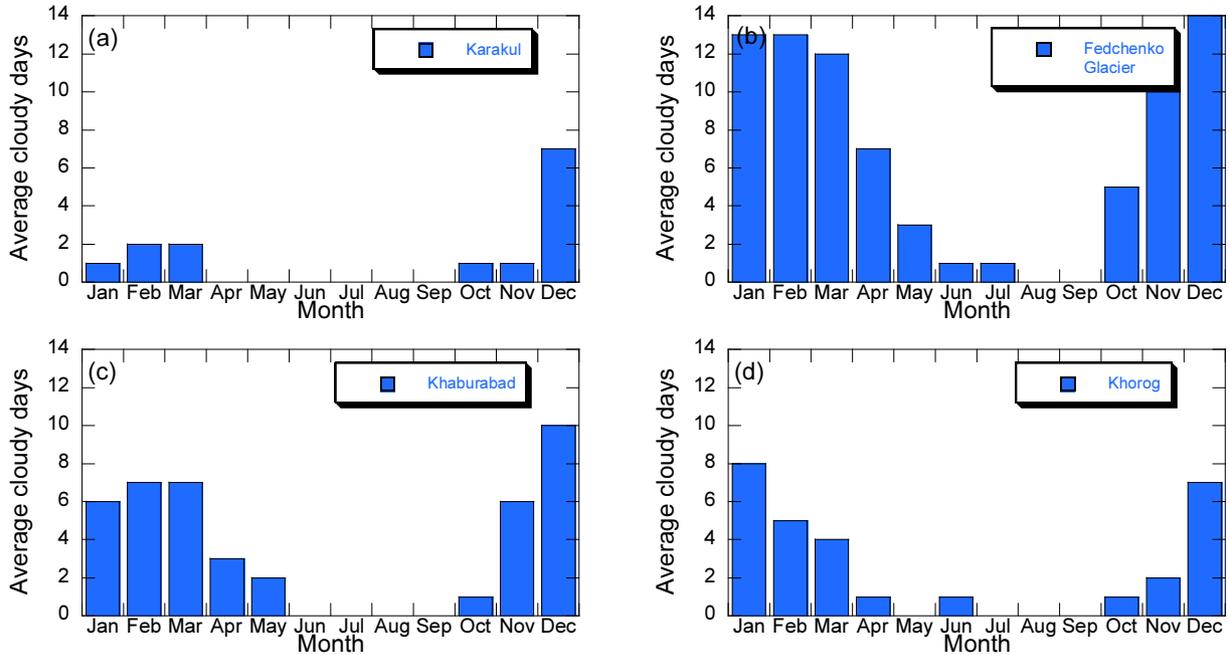


Fig. 4. Monthly average number of cloudy days in major cities of Gorno-Badakhshan province: (a) Karakul, (b) Fedchenko Glacier, (c) Khaburabad, and (d) Khorog.

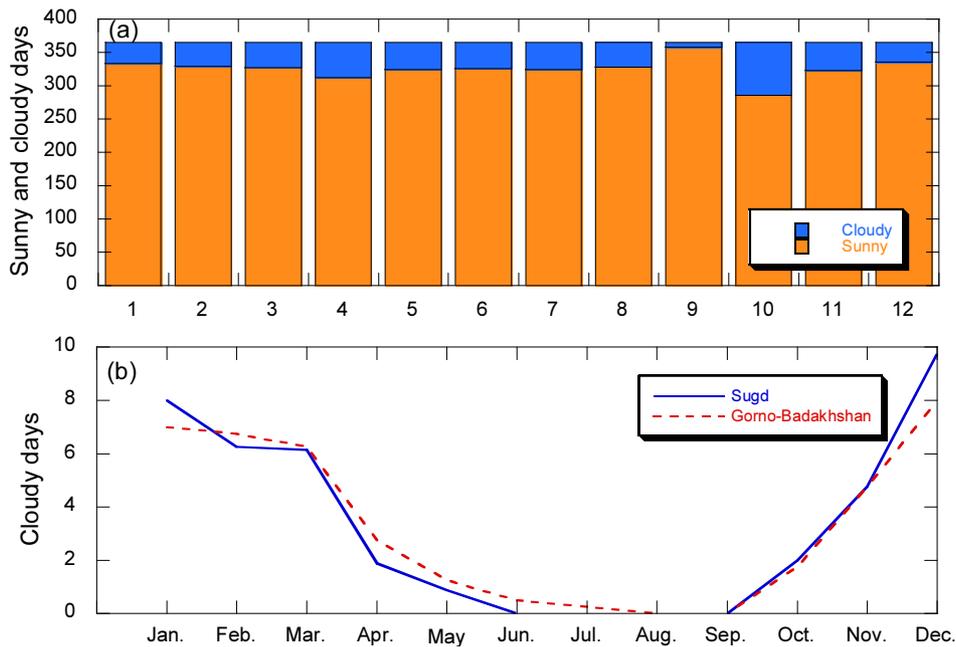


Fig. 5. Number of sunny and cloudy days in Sughd and Gorno-Badakhshan provinces: (a) major cities: 1. Kairakum; 2. Leninabad; 3. Penjakent; 4. Dzhaуз; 5. Dushanbe; 6. Dushanbe GMO; 7. Pakhtaboy; 8. Bokhtar; 9. Karakul; 10. Fedchenko Glacier; 11. Khaburabad; 12. Khorog; and (b) monthly average.

### 타지키스탄 주요 도시의 일사량 분석

타지키스탄 기상 측정 보고서에 의하면 타지키스탄 일사량(태양 복사열)은 약 1,000 W/m<sup>2</sup>이며 연간 총 2,000 kWh/m<sup>2</sup>을 초과하는 것으로 분석되었다. 특히 6~7월에는 10 kWh/m<sup>2</sup>, 12~1월에는 5.9 kWh/m<sup>2</sup>을 보이는 것으로 나타났다. 타지키스탄 주요 도시 18지역(Fig. 1)의 월별 일사량을 분석하여 그 결과를 Table 4에 정리하였다. 이들 지역에 대한 월별 일사량과 최소, 최대 평균 일사량을 그래프로 나타내면 Figs. 6 and 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 Dushanbe의 연간 총 일사량은 2,401 W/m<sup>2</sup>이며, 월평균 일사량은 약 200 W/m<sup>2</sup>으로 나타났다. Khujand의 연간 총 일사량과 월평균 일사량은 2,428 W/m<sup>2</sup>과 약 202 W/m<sup>2</sup>, Bokhtar에서는 2,403 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Kulob에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Tursunzade에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Yovon에서는 2,400 W/m<sup>2</sup>과 200 W/m<sup>2</sup>, Shartuz에서는 2,363 W/m<sup>2</sup>과 약 197 W/m<sup>2</sup>, Nurek에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Kanibadam에서는 2,398 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Ura-Tyube에서는 2,391 W/m<sup>2</sup>과 약 199 W/m<sup>2</sup>, Penjakent에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Khorog에서는 2,669 W/m<sup>2</sup>과 약 222 W/m<sup>2</sup>, Dangara에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Jirgatal에서는 2,669 W/m<sup>2</sup>과 약 222 W/m<sup>2</sup>, Kamsomolobod에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Garm에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Nau에서는 2,398 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>, Isfara에서는 2,401 W/m<sup>2</sup>과 약 200 W/m<sup>2</sup>으로 각각 나타났다. 이들 주요 도시 18개 지역의 평균 연간 총 일사량은 약 2,429 W/m<sup>2</sup>이며, 평균 월평균 일사량은 약 202 W/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. 연간 총 일사량과 월평균 일사량을 가장 적게 보이는 도시는 수그드 주의 Shartuz로 평균보다 약 2.7% 작았으며, 가장 크게 보이는 도시는 고르노바다흐산 자치주의 Khorog와 Jirgatal로 평균보다 약 10% 높은 것으로 분석되었다. 모든 주요 도시들의 4~9월(6개월)의 월평균 일사량이 평균 월평균

**Table 4.** Solar radiation (W/m<sup>2</sup>) in major cities of Tajikistan by month: 1. Dushanbe; 2. Khujand; 3. Bokhtar; 4. Kulob; 5. Tursunzade; 6. Yovon; 7. Shartuz; 8. Nurek; 9. Kanibadam; 10. Ura-Tyube; 11. Penjakent; 12. Khorog; 13. Dangara; 14. Jirgatal; 15. Kamsomolobod; 16. Garm; 17. Nau; and 18. Isfara

City	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Average
1	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
2	87	144	164	229	290	330	322	290	243	164	100	65	2,428	202
3	80	155	153	213	277	333	322	290	232	165	110	73	2,403	200
4	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
5	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
6	87	122	156	209	275	326	330	294	244	168	112	77	2,400	200
7	80	115	153	213	277	333	322	290	232	165	110	73	2,363	197
8	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
9	87	114	164	229	290	330	322	290	243	164	100	65	2,398	200
10	87	112	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,391	199
11	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
12	96	137	187	320	304	350	340	305	258	172	114	86	2,669	222
13	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
14	96	137	187	320	304	350	340	305	258	172	114	86	2,669	222
15	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
16	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200
17	87	114	164	229	290	330	322	290	243	164	100	65	2,398	200
18	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77	2,401	200

일사량보다 높은 것으로 분석되었으며, 12월과 1월의 월평균 일사량은 100 W/m<sup>2</sup> 미만으로 다른 달보다 매우 낮은 값을 보이는 것으로 분석되었다.

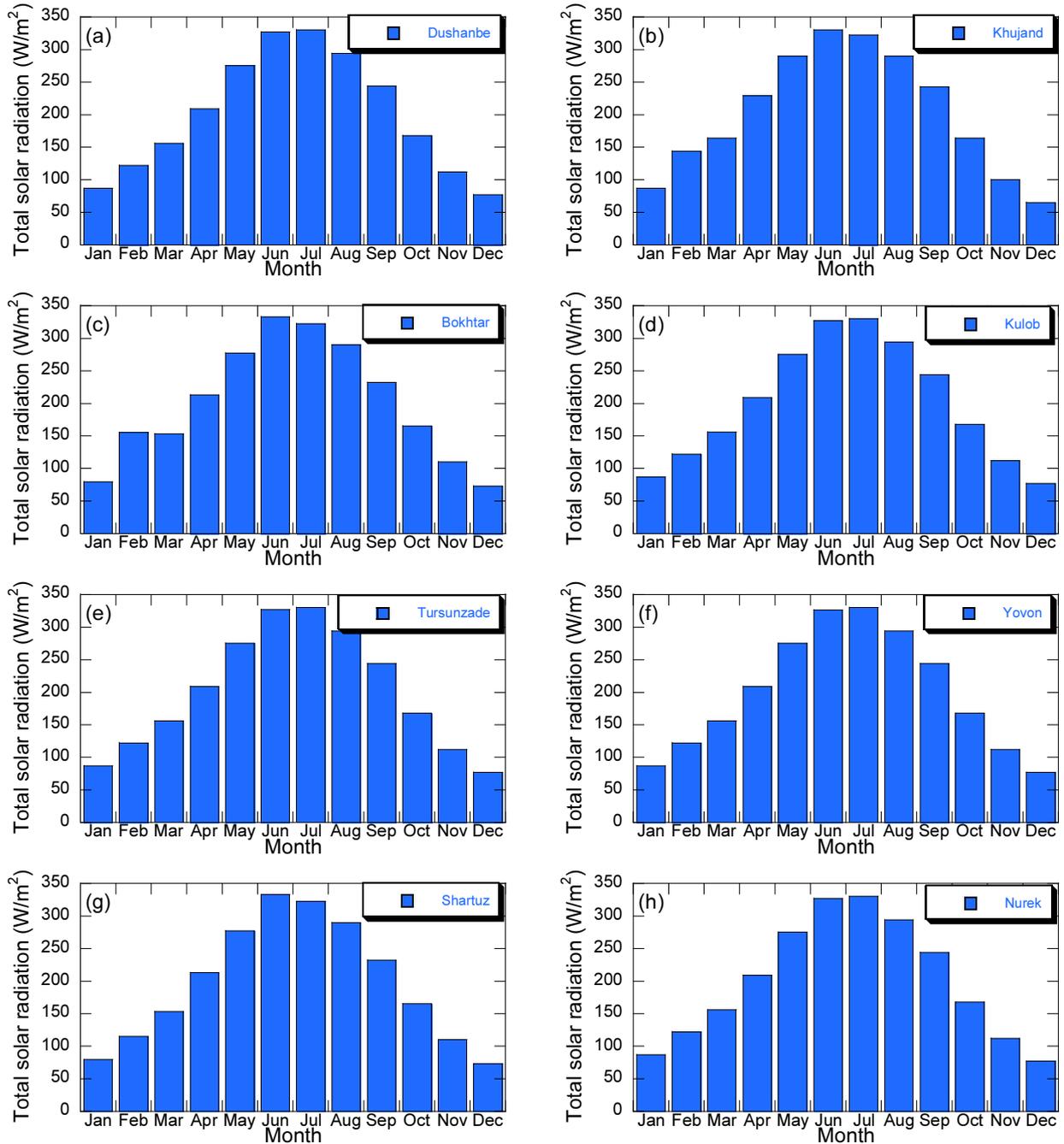


Fig. 6. Monthly solar radiation in major cities of Tajikistan: (a) Dushanbe, (b) Khujand, (c) Bokhtar, (d) Kulob, (e) Tursunzade, (f) Yovon, (g) Shartuz, (h) Nurek, (i) Kanibadam, (j) Ura-Tyube, (k) Penjakent, (l) Khorog, (m) Dangara, (n) Jirgatal, (o) Kamsomolobod, (p) Garm, (q) Nau, and (r) Isfara.

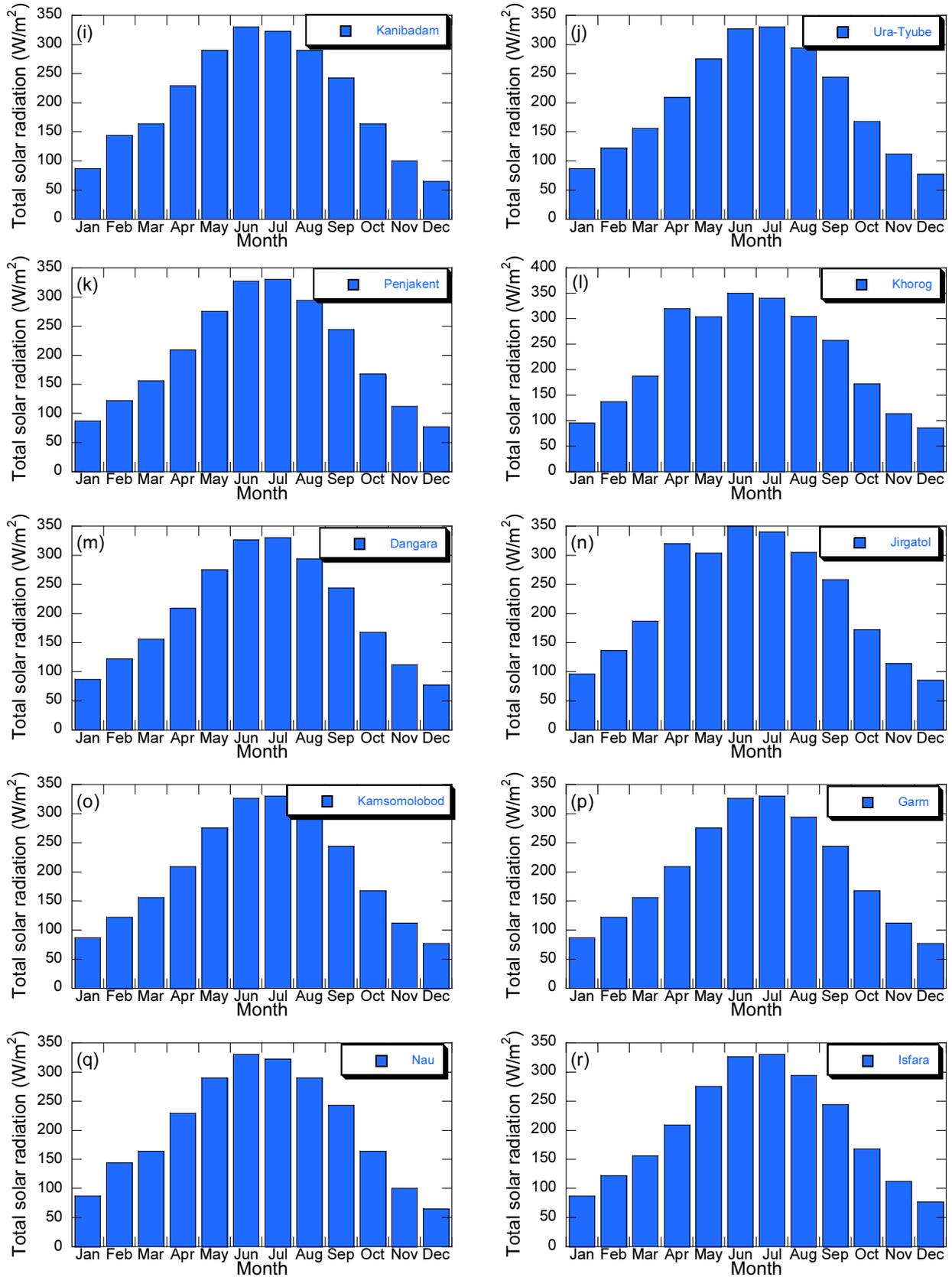


Fig. 6. Continued.

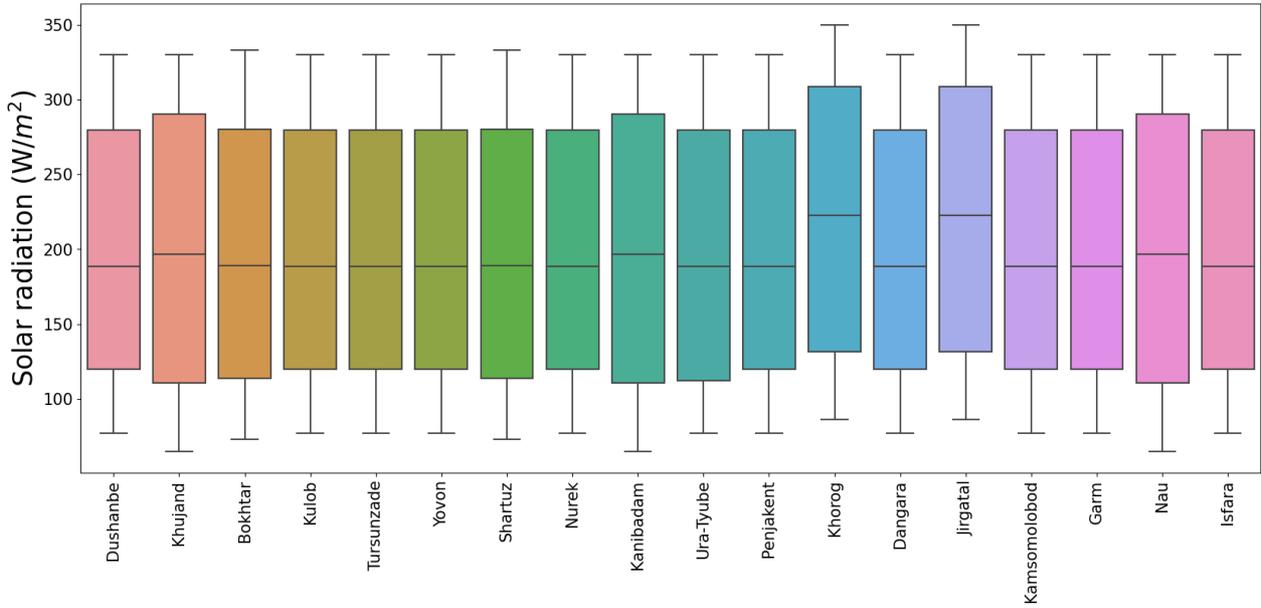


Fig. 7. Minimum, maximum, and average solar radiation in major cities of Tajikistan.

### 타지키스탄 주요 도시의 태양에너지 분석

Weather Spark에서는 계절적 변화, 수평선 위 태양의 고도, 구름 및 기타 대기에 의한 흡수량을 등을 고려하여 넓은 지역에 걸쳐 지표면에 도달하는 총 일일 입사 단파 태양에너지(solar energy)를 산정한다. 단파 복사(shortwave radiation)는 가시광선(visible light)과 자외선(ultraviolet)을 포함하며, 일 평균 단파 태양에너지는 계절적 변화에 민감하기 때문에 계절성(seasonality)을 보인다. Table 5는 Dushanbe, Karakul, Jirgatal 지역의 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지 값을 정리한 것이다. Dushanbe의 1년 중 맑은 날이 많은 여름 기간(5~8월)의 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지는 7.8 kWh인 반면, 흐린 날이 많은 겨울 기간(11~2월)은 약 2.7 kWh로 여름 기간의 약 34% 정도인 것으로 분석되었다. 같은 기간 Karakul 지역에서는 1년 중 여름 기간의 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지가 7.7 kWh, 겨울 기간에는 약 2.8 kWh로 여름 기간의 약 37%를 나타냈다. Jirgatal 지역의 경우, 1년 중 여름 기간의 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지는 7.8 kWh, 겨울 기간에는 약 2.7 kWh로 여름 기간의 약 34%로 분석되었다. 결과적으로 Fig. 8에서 보이는 바와 같이, 이들 3개 지역에서 관측된 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지는 달에 따라 작은 차이를 보이지만, 대체로 매우 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Table 5. Average monthly incident shortwave solar energy (kWh per 2.4 m<sup>2</sup>) in (1) Dushanbe, (2) Karakul, and (3) Jirgatal

City	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1	2.4	3.2	4.4	5.9	7.2	8.2	8.2	7.6	6.3	4.4	2.9	2.2
2	2.6	3.5	4.7	5.9	6.9	7.9	8.3	7.7	6.4	4.4	2.9	2.3
3	2.4	3.4	4.7	6.1	7.4	8.2	8.1	7.4	6.0	4.2	2.8	2.2

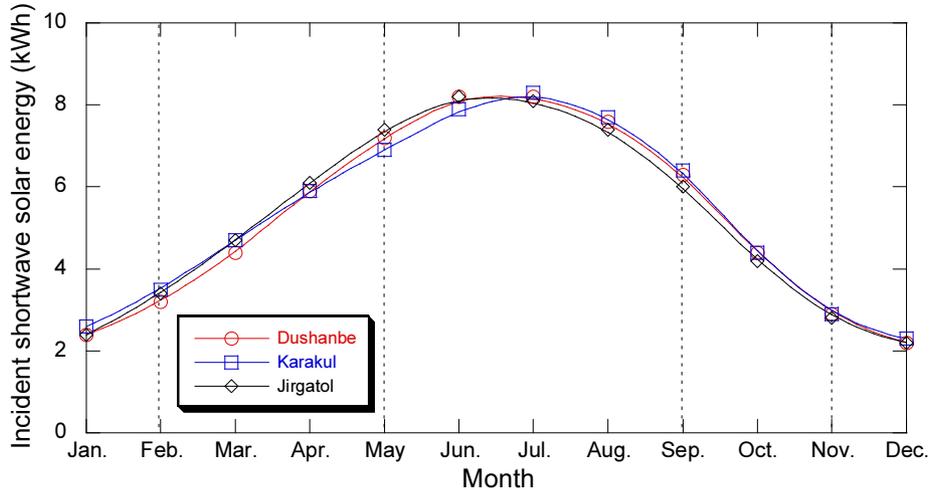


Fig. 8. Average incident shortwave solar energy (kWh per 2.4 m<sup>2</sup>) in Dushanbe, Karakul, and Jirgatol by month.

## 결론

타지키스탄 두산베 솔라스테이션 인프라 구축을 위하여 타지키스탄 주요 도시들의 기후, 날씨, 일사량(태양 복사량), 그리고 태양에너지 등을 분석하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

두산베의 기후를 분석한 결과, 연중 기온은 -7°C 이하~39°C 이상으로 맑은 날이 70% 이상 확률인 달은 5월 16일~10월 23일까지로 약 5.2개월인 것으로 분석되었다. 일 년 중 가장 맑은 날이 많은 달은 8월로 맑을 확률은 99%, 흐린 날이 가장 많은 달은 2월로 맑을 확률은 41%인 것으로 나타났다. 두산베의 연중 강수는 주로 12~5월에 발생하며, 강수량은 비가 가장 많이 내리는 달인 3월에 43.4 mm로써 최대 강수량을, 가장 적게 내리는 달인 8월에 0.8 mm로써 최소 강수량을 나타냈다. 타지키스탄 대표 주인 수그드 주와 고르노바다흐산 자치주의 주요 도시별 날씨를 분석한 결과, 수그드 주 7개와 고르노바다흐산 자치주 4개 주요 도시들의 월평균 흐린 날은 약 3.3일 이상인 것으로 분석되었다. 수그드 주에서 흐린 날이 가장 많이 관측된 도시는 53일을 보인 Dzhaуз, 고르노바다흐산 자치주에서는 79일을 보인 Fedchenko Glacier인 것으로 나타났다. 이러한 두 지역의 날씨 차이는 지형적 요인이 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

타지키스탄 주요 도시 18개 지역의 일사량을 분석한 결과, 타지키스탄의 일사량은 6~7월에는 10 kWh/m<sup>2</sup>, 12~1월에는 5.9 kWh/m<sup>2</sup>을 보이는 것으로 계절적 차이가 큰 것으로 나타났다. 주요 도시 18개 지역의 평균 연간 총 일사량은 약 2,429 W/m<sup>2</sup>이며, 평균 월평균 일사량은 약 202 W/m<sup>2</sup>인 것으로 분석되었다. 연간 총 일사량과 월평균 일사량을 가장 적게 보이는 도시는 수그드 주의 Shartuz로 평균보다 약 2.7% 작았으며, 가장 크게 보이는 도시는 고르노바다흐산 자치주의 Khorog와 Jirgatol로 평균보다 약 10% 높은 것으로 나타났다. 모든 주요 도시들의 4~9월(6개월)의 월평균 일사량이 평균 월평균 일사량보다 높은 것으로 분석되었으며, 12월과 1월의 월평균 일사량은 100 W/m<sup>2</sup> 미만으로 다른 달보다 매우 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.

타지키스탄 주요 도시 3개 지역에 대한 태양에너지를 분석한 결과, 1년 중 여름 기간(5~8월)의 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지는 약 7.8 kWh인 반면, 겨울 기간(11~2월)에는 약 2.7 kWh로 여름 기간의 약 35% 정도인 것으로 나타났다. 이들 주요 도시 3개 지역에서 관측된 2.4 m<sup>2</sup>당 일 평균 입사 단파 태양에너지는 달에 따라 작은 차이를 보이지만, 대체적으로 비슷한 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 결과적으로 타지키스탄 대표 도시들의 기후 조건, 날씨, 일사량 등의 자료를 고려해 볼 때, 타지키스탄은 솔라스테이션 인프라 구축을 위한 충분한 기후 조건을 갖추고 있는 것으로 판단된다.

## 사사

이 논문은 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며(2022학년도), 이에 감사드립니다.

## References

- GSA Report, 2022, Global solar atlas by the world bank group, Retrieved from <https://globalsolaratlas.info>.
- IEA (International Energy Agency), 2022, Tajikistan 2022: Energy sector review, 134p.
- Kang, S.S., 2023, Final report: Dushanbe electric vehicle solar station infrastructure construction project, Tajikistan, Industry Academic Cooperation Foundation, Chosun University, 1-15.
- Kang, S.S., Noh, J., Kim, D., Park, H., Kim, H., 2023, Comparison and analysis of solar radiation and solar energy of Tajikistan's representative cities, Proceedings of the Korean Society of Engineering Geology 2023 Spring Conference, April 6-7, Sono Calm Jeju, Seogwipo, 89-90.
- Kudusov, M.A., Madvaliev, U., Elistratov, V.V., 2021, Evaluation of the efficiency of already existing network solar photovoltaic plants operating 24/7/365 in low-voltage power supply systems of social facilities in the city of Dushanbe, Applied Solar Energy, 57(4), 323-332.
- Unpublished Report, 2022, Assessment of the potential of solar energy resources on the territory, Republic of Tajikistan.
- Weather Spark, 2022, Climate and average weather year round in Tajikistan, Retrieved from <https://weatherspark.com/countries/TJ>.