

印度查谟和克什米尔斯利那加市部分旅游景点颗粒物和二氧化碳浓度的空间插值

法鲁克·艾哈迈德·隆¹, 所罗门·凯·博纳^{1*}, 伊姆提亚兹·贾汉吉尔·汗¹, 纳吉纳·纳兹尔², 纳亚尔·阿法克·基马尼³ 和 阿赫塔尔·阿里·汗⁴

1. 印度查谟和克什米尔夏利马尔克什米尔农业科技大学环境科学系
2. 印度克什米尔夏利马尔农业科技大学农业统计系
3. 土壤科学部, Sher-E-Kashmir 农业科技大学克什米尔, Shalimar, 查谟和克什米尔, 印度
4. 印度克什米尔夏利马尔农业科技大学昆虫学系

摘要: 本次调查旨在监测和制作大气颗粒物 (PM₁、PM_{2.5}、PM₄) 浓度月空间变异性专题图 (PM₁₀ 和 TSP) 和一些选定旅游景点 (即 Shalimar 花园、Chesmeshahi 植物园、Harwan 花园、Nishat 花园、Naseem Bagh、Lal Chowk 和 Sher-e-Kashmir 农业科学大学) 的二氧化碳 (CO₂) 和克什米尔技术 (SKUAST-K) 克什米尔山谷斯利那加市 Shalimar 校区, 于 2019 年 11 月至 2020 年 4 月使用量子地理信息系统 (QGIS) 中的反距离加权 (IDW) 插值技术。考虑到斯利那加市是一个成长中的城市人口、建筑、车辆等方面, 查谟和克什米尔邦污染控制委员会在一份关于管理斯利那加市空气质量的报告中确定了该市的污染源, 其估计来源比例如下: 车辆排放 (65–75%)、坏路产生的灰尘 (10–15%)、生物质和垃圾燃烧 (10–20%)、建筑和拆除排放 (5–8%)、小型工业活动 (7–8%) 和其他来源 (3%)。因此, 斯利那加市的这些来源使空气质量恶化。因此, 本研究试图揭示颗粒物和 CO₂ 的月变化和空间插值。每个月使用 Aerocet 831-Aerosol Mass Monitor 和 CDM 901-CO₂ Monitor 监测早上、下午和晚上的环境中颗粒物和 CO₂ 浓度, 重复采样 3 次。由数据可知, 各监测点各污染物早、午、晚平均浓度分别为: PM₁ (67.07、55.87、57.62 μg/m³); PM_{2.5} (129.49、95.52、112.50 μg/m³); PM₄ (170.44、121.09、161.81 μg/m³); PM₁₀ (315.49、203.09、383.97 μg/m³); TSP (376.43、240.49、496.55 μg/m³); 和 CO₂ (595.33、557.94、601.07ppm) 表明斯利那加市早晚污染物浓度最高。此外, 数据和 IDW 图清楚地表明, 大多数监测点之间监测的污染物的月平均值和平均 6 个月浓度存在统计显著性 (p ≤ 0.05) 变化。这告诉我们, 颗粒物和二氧化碳的浓度每月都会随着斯利那加市一个地点到另一个地点的距离而变化。大多数地点的月平均值在大多数参数之间呈非显著正相关, 但在 PM₁、PM_{2.5} 和 PM₄ 之间呈显著强正相关, p ≤ 0.01。此外, PM₄ 和 PM₁₀ 以及 PM₁₀ 和 TSP 之间存在显著强正相关 (p ≤ 0.05)。因此, 表明所有监测参数同时增加或减少。因此得出的结论是, 斯利那加市的空气质量差随着距离的变化而变化, 如数据和 IDW 地图关于监测点和监测的污染物所描绘的那样。因此, 可以了解城市上空的污染物。

关键词: 二氧化碳; 相关性; 反距离; 颗粒物; 污染物; 斯利那加市; 权重图

Spatial Interpolation of the Concentrations of Particulate Matter and Carbon Dioxide of Some Selected Tourist Sites in Srinagar City, Jammu and Kashmir, India

FAROOQ AHMAD LONE¹, SOLOMON KAI BONA^{1*}, IMTIYAZ JAHANGIR KHAN¹, NAGEENA NAZIR², NAYAR AFAQ KIRMANI³ and AKHTAR ALI KHAN⁴

1. Division of Environmental Sciences, Sher-E-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology Kashmir, Shalimar, Jammu and Kashmir, India.
2. Division of Agricultural Statistics, Sher-E-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology Kashmir, Shalimar, Jammu and Kashmir, India.

3. Division of Soil Science, Sher-E-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology Kashmir, Shalimar, Jammu and Kashmir, India.

4. Division of Entomology, Sher-E-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology Kashmir, Shalimar, Jammu and Kashmir, India.

Abstract: This investigation was carried out to monitor and prepare thematic maps of the monthly spatial variability of the ambient concentrations of particulate matter (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_4 , PM_{10} , and TSP) and carbon dioxide (CO_2) of some selected tourist sites (viz. Shalimar Garden, Cheshmashahi Botanical Garden, Harwan Garden, Nishat Garden, Naseem Bagh, Lal Chowk, and Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Kashmir (SKUAST-K) Shalimar campus of Srinagar city, Kashmir valley from November 2019 to April 2020 using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation technique in Quantum Geographical Information System (QGIS). Considering Srinagar city as a growing city in terms of population, construction, vehicles, etc., the Jammu and Kashmir State Pollution Control Board in a report on managing air quality in Srinagar city identified the pollution sources in the city with their estimated source proportion as follows: vehicular emission (65-75 %), dust from bad roads (10-15 %), biomass and garbage burning (10-20 %), construction and demolition emissions (5-8 %), minor industrial activities (7-8 %) and other sources (3 %). Thus, Srinagar city's air quality is deteriorated by these sources. Therefore, this research attempts to reveal the monthly variation and spatial interpolation of particulate matter and CO_2 . The Aerocet 831-Aerosol Mass Monitor and CDM 901- CO_2 Monitor were used fortnightly in each month to monitor the ambient concentration of particulate matter and CO_2 in the morning, afternoon, and evening and the sampling was carried out by taking three replications. From the data, the average mean morning, afternoon and evening concentrations of each pollutant at all the monitoring sites were as follows respectively: PM_1 (67.07, 55.87, 57.62 $\mu g/m^3$); $PM_{2.5}$ (129.49, 95.52, 112.50 $\mu g/m^3$); PM_4 (170.44, 121.09, 161.81 $\mu g/m^3$); PM_{10} (315.49, 203.09, 383.97 $\mu g/m^3$); TSP (376.43, 240.49, 496.55 $\mu g/m^3$); and CO_2 (595.33, 557.94, 601.07ppm) showing that the morning and evening concentrations of pollutants were highest in Srinagar city. Also, the data and IDW maps make it clear that there was a statistically significant ($p \leq 0.05$) variation of the monthly mean and the average six months concentrations of the monitored pollutants between most of the monitoring sites. This informs us that the concentration of particulate matter and carbon dioxide varies on monthly basis with distance from one location to another in Srinagar city. The correlation of the monthly average of most locations was non-significantly positive between most parameters but significantly strongly positive between PM_1 , $PM_{2.5}$, and PM_4 at $p \leq 0.01$ with each other. Also, there was a significantly strong positive correlation ($p \leq 0.05$) between PM_4 and PM_{10} , and likewise PM_{10} and TSP. Thus, indicating that all the monitored parameters increase or decrease with each other simultaneously. It is therefore concluded that the poor air quality of Srinagar city varies with distance as depicted by the data and IDW maps with respect to the monitoring sites and the monitored pollutants. Thus, giving an idea of the pollutants blanket over the city.

Keywords: Carbon dioxide; Correlation; Inverse distance; Particulate matter; Pollutants; Srinagar city; Weighting maps

介绍

颗粒物污染和二氧化碳浓度增加被视为当今人类在健康和环境方面面临的主要问题。2016年,健康影响研究所(IHE)指出,长期暴露于环境 $PM_{2.5}$ 导致约410万人死亡,并导致残疾调整生命年(DALYs)损失达1.06亿;印度(25%)和中国(26%)的总死亡人数最高。¹这些数据是通过发达国家城市地区广泛的空气质量监测网络和对空气质量的卫星观测获得的,并结合从全球化学运输模型中获得的信息来估计全球 $PM_{2.5}$ 浓度及其对人类的影响。¹ $PM_{2.5}$ 源自发电厂的化石燃料燃烧、拥挤的交通流量、使用石油、煤炭或木材的住宅和工业区供

暖。² PM_{10} 通过对鼻和支气管通道的阻塞和破坏作用对人类健康产生不利影响,引发不同的呼吸相关影响,最终导致疾病或死亡。³ PM_1 由人为产生的颗粒组成,对人类呼吸和心血管系统具有危险影响通过直接进入血液系统。⁴非常小的颗粒($<1 \mu m$)进入肺部,然后通过血液屏障进入血流,并导致一些严重的健康并发症。⁴在当今情况下,与空气相关的主要问题之一是增加二氧化碳浓度及其在环境中的作用。自2001年以来,大气中的 CO_2 每年增加3ppm,这可归因于全球化石燃料使用量的增加,特别是在中国和印度。⁵克什米尔的情况与印度其他地区和世界。由于工业化和车辆数量的增加,即

使是斯利那加市的颗粒物和二氧化碳浓度也有所增加。⁶ 2019年至2020年,斯利那加市监测了由车辆污染引起的环境颗粒物和二氧化碳浓度,结果表明,在整个时期,PM₁平均浓度范围为15.10–108.9 μg/m³,PM_{2.5}(28.70–577.50 μg/m³),PM₄(44.50–780.87 μg/m³),PM₁₀(57.13–1225.53 μg/m³),TSP(77.77)–1410.27 μg/m³)和CO₂(332.4–655.0 ppm)。⁷

QGIS、ArcGIS等地理空间工具中可用的空间插值的逆距离加权(IDW)技术通过对每个已处理像元附近的几何数据的加权值来估计像元值。在加权过程中,离单元格中心越近的对处理后的单元格的影响或权重越大。该技术假设随着与采样点的距离增加,输入变量对地图的影响相对于采样点减少。⁸反距离加权已被证明是城市敏感区域空气质量评估数据插值的最佳技术。⁹它还被证明可以更好地比较悬浮颗粒物、SO₂和NO₂的插值和测量值。在评估布莱尔港环境空气质量参数的不同插值技术时,比克里金法更胜一筹。¹⁰在评估PM₂的每日趋势时,IDW是确定健康影响与空气污染之间关系的非常必要的工具。⁵2009年以来美国连续性的浓度,分别在县和人口普查区组一级。¹¹它还用于测量和插值兰契市区40个地点的气溶胶厚度(AOT)浓度和量化南卡兰普拉煤田42个地点的大气状况。¹²插值技术的主要用途是绘制基岩、土壤、空气质量评估以及地下水和地表水研究。^{13,14}由于反距离加权在插值和绘制空气质量参数方面具有如此重要的用处,而且由于斯利那加市没有发表此类工作,也没有过多关注对其空气质量及其影响因素的深入/系统研究恶化,¹⁵本文介绍了六个月的研究IDW地图,研究了颗粒物和二氧化碳的空间变化和插值,以了解城市上空的污染物覆盖层,使用一些游客的位置作为采样/监测点。

材料和方法

研究区域

斯利那加市位于克什米尔山谷北纬34.08度和北纬74.80度,以其非凡的花园和湖泊而闻名于世。斯利那加花园的壮丽景色有迷人的山坡、开花的灌木和树木,以及迷人的水体。尽管见证了几个世纪的变化,花园仍然吸引着来自世界各地的游客。图1所示的研究区域包括Chesmashahi植物园(N 34.09°, E 074.87°),Nishat Garden(N 34.12°, E 074.88°),Naseem Bagh(N 34.14°, E 074.84°),Harwan Garden(N 34.16°, E 074.90°),Shalimar Garden(N 34.14°, E 074.87°),Lal Chowk(N 34.07°, E 076.81°)和克什米尔农业科技

大学(SKUAST-K)Shalimar校区(北纬34.15°,东经074.88°)。交通量较大的地区是Lal Chowk、Naseem Bagh、Nishat Garden和Shalimar Garden。交通较少的是切斯马沙希植物园、哈万花园和SKUAST-K Shalimar校园。

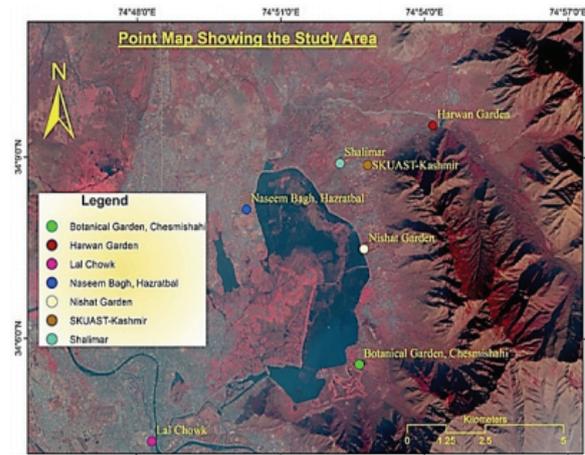


图1 环境空气监测点/位置的数字地图

环境空气监测方法

从2019年11月起,每两周使用Aerocet 831-气溶胶质量监测仪和CDM 901-CO₂监测仪,分别在上午、下午和晚上监测环境中颗粒物和二氧化碳的浓度,获取一式三份的采样数据,为期六个月至2020年4月,两台仪器均远离车辆移动和人群聚集等干扰,在某一高度保持约1分钟,分别记录颗粒物(PM₁、PM_{2.5}、PM₄、PM₁₀和TSP)和二氧化碳的数据。Aerocet 831-气溶胶质量监测仪是一种小型手持式仪器,使用电池供电,用于测量环境中颗粒物的质量。它重约0.79kg,可使用长达24小时进行间歇采样。该仪器具有从0.3 μm高到0.5 μm低的灵敏度范围,因此可同时监测PM₁、PM_{2.5}、PM₄、PM₁₀和TSP的水平。¹⁶提供简单高效的操作是由于旋转拨盘的许多功能。它能够通过计数和确定大小来区分七个范围的颗粒,然后使用专有算法将计数数据转换为质量测量值(μg/m³)。它为每个检测到的粒子计算一个体积,然后为转换分配一个标准密度值,该值通过设置K因子得到改进,以使校准气溶胶的测量精度达到±10%。¹⁶Comet软件是一个程序从Met One Instruments的产品中提取信息(警报、数据、设置等)¹⁷修改了这些K因子,这些K因子可以通过分析获得参考单位。或者在参考单元不可用的情况下使用推荐的K因子设置3.0。该仪器使用粒子计数到使用散射激光的质量转换的工作原理。¹⁸当粒子通过包含光电探测器的检测室进入时一次采样一个粒子,激光被散射并被光电探测器探测到。该仪器可以分析散射光的强度并推断粒子的大小。此外,仪器可

以使用光电探测器上接收到的光的数量来计算检测室中的粒子数量。这种方法是有利的，因为它可以使用单个检测器/分析器来同时检测不同直径的粒子。

鉴于，CDM 901-CO₂ 显示器的工作原理是 NDIR (非色散红外辐射)，NDIR 传感器的工作原理是特定气体吸收红外辐射 (IR)。红外光谱中的不同吸收带。在 4.3 μm 波长处，二氧化碳强烈吸收 IR 辐射，从而避开吸收水蒸气的 2.5 至 2.9 和 5.2 至 7.5 μm 波段。¹⁹ 检测器和源之间的 IR 路径长度使传感器可以检测到的气体水平和比尔定律， $I = I^0 \exp(-\alpha l)$ 描述了这种关系。由上式可知，通过气室的透射光为 I，气室上的入射光为 I⁰，样品的吸收系数 (cm⁻¹ 单位) 为 α，气室的光程为 1.20 随着光程长度的增加，接收到的信号和红外辐射的强度随之呈指数下降。随着路径长度的减少，红外探测器会产生更高的信号。但是，灵敏度会降低，因为较短的光程会缩短气体对辐射的吸收距离。²¹ CDM 901 的范围为 0-2000 ppm。分辨率为满量程的 1%，即 20 ppm。采样通过扩散技术完成，无需泵。读数的响应时间小于 15 秒。内置 LCD 显示环境空气的湿度和温度范围以及 CO₂ 浓度。²¹

颗粒物 IDW 图的制备和二氧化碳浓度

在 QGIS 软件版本 3.16.3 中可获得的反距离加权 (IDW) 用于通过对七 (7) 个监测站点生成的数据进行插值来绘制颗粒物 (PM) 和二氧化碳 (CO₂) 的浓度。为了预测未进行采样的地点的污染物浓度，IDW 对采样地点获得的数据进行插值，假设彼此靠近的区域比相距较远的区域相似。²² 在每张地图上，每月对污染物进行插值为六个月的监测提供依据，以显示未进行采样的采样地点附近区域污染物的空间变异性。地理参数的未知值/浓度，例如海拔、化学浓度和噪音水平等难以进入、成本高昂或甚至无法进入的地方，已通过插值技术预测，采样区域/点的数据很少。^{23, 14} IDW 插值技术^{4, 24, 14} 提供了对任何给定数量样本的空间变化进行有效和最优的插值 通过观察地图按比例缩放的十 (10) 个分区来预测附近位置的污染物浓度。

统计分析

在每个月的两周内，对每个采样/监测点进行三次重复，并使用 R 软件 4.0.4 版分析每个月获得的一式三份平均数据和七个地点的平均六个月监测污染物负荷。随机完全区组设计 (RCBD) 的单向方差分析 (ANOVA) 是一种用于比较具有同质实验单元的区组中的处理的实验设计，用于在 R 软件中进行分析以获得临界差 (CD) p

≤ 0.05 的显著性，以确定不同监测地点之间污染物的月度和平均六个月变化 (显著或不显著)。此外，对六个月采样监测的污染物的平均数据进行 Pearson 相关矩阵分析，以了解它们的关系模式 (正或负，显著或不显著)。

结果与讨论

表 1 中的数据显示了使用 QGIS 软件版本 3.16.3 中的反距离加权 (IDW) 技术每月插值的研究地点每个监测参数的月平均变化。

表 1 不同研究地点/监测地点的颗粒物和二氧化碳的月度变化

Location Months	Harwan Garden	Shalimar Garden	Naseem Bagh	Nishat Garden	Chesma shahi Botanical Garden	SKUAST-K Shalimar	Lal Chowk	C.D	SE(d)
a. Monthly variation of PM₁₀ (μg/m³) at different locations in Srinagar city									
Nov-19	81.10	86.97	81.37	85.63	82.00	115.30	83.43	4.31	1.96
Dec-19	63.30	68.90	63.73	60.43	59.87	62.00	50.87	2.80	1.27
Jan-20	82.93	80.77	89.10	75.30	79.03	59.60	83.87	3.76	1.71
Feb-20	56.23	56.17	56.80	57.20	51.80	51.90	59.03	2.01	0.91
Mar-20	54.03	57.87	48.83	48.47	45.33	55.57	50.27	2.49	1.13
Apr-20	29.87	31.03	25.43	22.20	22.27	28.77	23.27	0.86	0.39
b. Monthly variation PM_{2.5} (μg/m³) at different locations in Srinagar city									
Nov-19	150.80	230.37	173.23	201.80	141.33	356.07	196.27	12.78	5.80
Dec-19	105.07	140.20	136.83	108.07	98.40	114.00	88.200	8.37	3.80
Jan-20	157.17	138.90	165.53	117.67	128.53	108.83	133.17	13.23	6.01
Feb-20	89.73	88.07	94.03	91.73	76.73	86.80	94.87	6.62	3.00
Mar-20	83.57	106.17	90.20	84.07	72.40	105.17	83.73	6.14	2.79
Apr-20	43.00	43.03	37.60	39.53	40.70	50.43	33.03	3.41	1.55
c. Monthly variation PM₁₀ (μg/m³) at different locations in Srinagar city									
Nov-19	193.30	295.83	227.13	273.50	172.73	407.57	282.53	16.32	7.41
Dec-19	137.53	192.0	207.73	136.60	112.33	132.27	124.83	9.60	4.36
Jan-20	172.83	164.33	235.50	152.20	150.53	126.30	178.07	21.55	9.78
Feb-20	108.43	110.93	120.13	129.63	93.43	111.43	149.53	12.74	5.78
Mar-20	118.60	155.90	170.07	154.47	100.40	155.17	133.07	5.50	2.50
Apr-20	57.83	66.87	49.03	71.57	63.67	85.13	65.67	2.92	1.33
d. Monthly variation PM_{2.5} (μg/m³) at different locations in Srinagar city									
Nov-19	320.17	494.37	458.23	432.90	259.50	455.87	746.87	30.79	13.98
Dec-19	228.73	339.53	687.50	248.43	152.50	166.53	393.70	32.12	14.58
Jan-20	211.20	237.03	396.63	259.20	211.97	158.90	281.87	26.91	12.22
Feb-20	168.40	193.77	219.00	266.30	151.27	209.83	392.67	51.14	23.21
Mar-20	206.63	426.13	602.10	414.50	252.73	297.43	445.67	30.20	13.71
Apr-20	91.70	164.53	221.73	233.57	156.13	117.33	262.70	13.42	6.09
e. Monthly variation TSP (μg/m³) at different locations in Srinagar city									
Nov-19	366.27	589.87	552.93	499.10	298.63	470.60	959.80	46.23	20.99
Dec-19	240.00	442.47	966.30	318.87	165.03	176.13	470.07	25.73	11.68
Jan-20	227.03	263.53	486.10	307.97	232.40	166.37	337.33	35.44	16.09
Feb-20	188.20	226.57	260.07	317.10	172.30	250.60	501.30	68.43	31.06
Mar-20	234.97	550.10	838.33	577.63	330.40	343.47	569.23	34.38	15.60
Apr-20	108.23	242.90	366.47	318.23	190.37	147.53	317.80	52.20	23.70
f. Monthly variation CO₂ (ppm) at different locations in Srinagar city									
Nov-19	613.27	590.40	559.60	568.00	575.53	589.73	586.13	22.84	10.37
Dec-19	642.67	664.27	611.27	625.40	625.53	588.27	608.00	16.17	7.34
Jan-20	628.00	662.53	601.27	609.73	634.80	578.87	601.87	8.39	3.81
Feb-20	585.47	577.13	554.80	549.00	550.87	591.00	588.07	6.65	3.02
Mar-20	558.73	612.60	586.13	565.87	562.60	600.00	559.53	16.66	7.56
Apr-20	504.20	556.43	579.73	537.07	469.20	565.87	561.27	8.26	3.75

临界差异 (CD) 在 p ≤ 0.05 时显著; SE (d) 是差值的标准误

逆距离加权 (IDW) 图 (图 2 - 7) 显示了每个月采样点监测污染物浓度到未采样位置的变化插值，以预测未采样位置的监测污染物浓度值。这些地图显著表明，污染物的浓度随着与各自采样点的距离而降低。因此，假设每个监测的采样点在局部具有随距离减小的影响。在每张地图上，厚红色区域代表污染物浓度最高的区域，随着距离的增加逐渐消失，表明污染物浓度随着与研究地点距离的增加而降低。厚蓝色区域表示污染物浓度最低的区域。每张图上的图例由深蓝到深红从高到低表示污染物浓度增加; 并且按升序，即从浓红色到浓

蓝色, 显示出减少。可以根据缩放区域覆盖地图上坐标的距离来预测污染物对附近不同位置的影响。调查的主要目的是制作简单但包容性的地图, 分别显示和预测城市上监测污染物的变化和覆盖范围, 以便立即要求估算斯利那加不同地点的污染物, 因为地形的同质性。

表 1 (a 和 b) 和图。图 2 和图 3 分别为监测点 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 月空间变化数据和 IDW 图。数据和 IDW 图显示, 每个月 PM_{10} 浓度存在显著的月空间变化和大多数研究地点之间的 $PM_{2.5}$ 。这可能是由于两种颗粒的尺寸都非常小, 这使得它们很容易被风吹散。 PM_{10} 也存在显著的空间变化 ($p \leq 0.05$) 和 $PM_{2.5}$ 浓度分别在每个月记录最高的研究地点与其他地点之间 (例如, 在 $115.30 \mu g/m^3$ 之间有显著差异) 在 SKUAST-K 和 $81.10 \mu g/m^3$ 2019 年 11 月在 Harwan Garden)。获得的冬季数据范围为 $88.20 \mu g/m^3$, 12 月为 $356.07 \mu g/m^3$ 在 2019 年 11 月, 与克什米尔山谷空气冬季爆发的一项研究获得的范围 ($70 - 348 \mu g/m^3$) 相似。因此, 这证明了冬季与 $PM_{2.5}$ 相关的不利空气条件, 这主要归因于国内燃煤的排放和从阿富汗干旱地区吹入克什米尔的西风。¹⁵ PM_{10} 之间的关系 $PM_{2.5}$ 为正, 即 PM_{10} 增加浓度导致 $PM_{2.5}$ 相应增加。 PM_{10} 的气溶胶重金属、有机碳、持久性有机污染物 (POPs)、黑碳等是约 70-80% $PM_{2.5}$ 的主要贡献者。⁴ 纳米粒子主要包括来自汽车发动机的废气 (尤其是在克什米尔常用的柴油废气)。这些颗粒虽然只占 $PM_{2.5}$ 总质量的一小部分, 但它们的反应表面积对于指定的质量更大。²

观察到在 Naseem Bagh 和 SKUAST-K Shalimar 及其周围地区的 PM_{10} 浓度 [表 1 (c) 和图 4] 在大多数月份中都较高 (SKUAST-K 在 407.57 和 $85.13 \mu g/m^3$ 分别为 2019 年 11 月和 2020 年 4 月; 2019 年 12 月、2020 年 1 月和 2020 年 3 月在 Naseem Bagh 分别为 207.73 、 235.50 、 $170.07 \mu g/m^3$)。这可以归因于这两个地方都位于非常繁忙的道路附近, 尤其是 Naseem Bagh。此外, 在 SKUAST-K Shalimar 及其周围燃烧农业生物质可能提高了 PM_{10} 的浓度。 PM_{10} 浓度的月度空间变化在大多数监测站点之间以及浓度最高的站点与任何其他研究站点之间具有显著性 ($p \leq 0.05$)。 PM_{10} [表 1 (d) 和图 5] 和 TSP [表 1 (e) 和图 6] 的趋势看起来非常相似, 因为这两种颗粒在 Naseem Bagh 和 Lal chowk 的浓度分别在所有月份中最高 (2019 年 11 月、2020 年 1 月和 2020 年 4 月 Lal Chowk 的 PM_{10} 分别为 746.87 、 392.67 和 $262.70 \mu g/m^3$; 2019 年 12 月、2020 年 1 月和 2020 年 3 月 Naseem Bagh 的 PM_{10} 分别为 687.50 、

396.63 和 $602.10 \mu g/m^3$ 。对于 TSP, 2019 年 11 月和 2020 年 1 月分别在 Lal Chowk 记录了 959.80 和 $501.30 \mu g/m^3$; 在 2019 年 12 月、2020 年 1 月、3 月和 2020 年 4 月分别在 Naseem Bagh 记录了 966.30 、 486.10 、 838.33 和 $366.47 \mu g/m^3$) 和观察到大多数研究地点之间的显著 ($p \leq 0.05$) 月空间变化。在对斯利那加市的空气质量进行初步研究时, 对不同研究地点之间 PM_{10} 浓度的显著变化进行了类似的观察。²⁵ Naseem Bagh 和 Lal chowk 是所有研究地点中交通繁忙和其他商业活动最繁忙的地方。在同一研究中, 2018 年 10 月、11 月、12 月和 2018 年 1 月, Lal Chowk 的 PM_{10} 平均浓度较高 ($105.75 \pm 2.87 \mu g/m^3$), 这归因于车辆的高浓度。²⁵

靠近繁忙道路的高楼区域形成了阻碍路边排放分散的封闭空间, PM_{10} 和 TSP 等较大直径颗粒的浓度往往更差。²⁶ 此外, 由于这些较大的颗粒通常也由凝结、凝结、成核、雾蒸发和云滴, 其中也发生气体的溶解和反应²⁷, 它们的浓度在 Naseem Bagh 和 Lal Chowk 等地区肯定会更高。将我们的数据与 2014-15 至 2017-18 年斯利那加市空气质量管理修订行动计划中记录的 PM_{10} 浓度数据进行比较表明, 11 月至 1 月, 即冬季, 是空气质量最高的月份污染水平。⁶

发现在大多数研究地点之间, 表 1 (f) 和图 7 中显示的每月 CO_2 浓度的空间变化具有统计学意义 ($p \leq 0.05$)。这可能是由于一天中不同时间的车辆在不同地点及其周围的移动变化、生物质的燃烧、植物利用二氧化碳进行光合作用以及天气对二氧化碳浓度的影响。由于其位置靠近路边, 尤其是在早晚交通繁忙且被人类包围的路边附近, 因此 Shalimar Garden 在大部分月份的大部分时间里 (2019 年 12 月、2020 年 1 月和 2020 年 3 月分别为 664.27 、 662.53 和 612.60 ppm) 的二氧化碳含量都较高特别是在冬季 (2019 年 11 月至 2020 年 1 月), 为了取暖而进行大量生物质燃烧的居住区。车辆污染和农业残留物燃烧被认为是包括克什米尔在内的印度北部二氧化碳排放的主要来源。²⁸ 由于该研究是在冬季 (2019 年 11 月至 2020 年 1 月) 和春季 (2020 年 2 月至 2020 年 4 月) 进行的可以肯定的是, 两个季节, 尤其是冬季, 对颗粒物和二氧化碳浓度的增加都有一定的影响。在大多数监测点, 冬季月份的颗粒物和二氧化碳浓度最高。这是因为, 在冬季, 温度低, 相对湿度高, 因此颗粒物的停滞和分散较少。²⁹ 此外, 由于气温较低, 车辆在冬季燃烧更多的燃料, 因此发动机需要很长时间才能达到它们的最高工作温度, 因此增加了大气中的二氧化碳。

在所有月份中，2020年4月春季期间的颗粒物和二氧化碳含量较低，而整个克什米尔地区的 COVID-19 封锁。这是由于在封锁期间车辆移动较少/没有，以及用于加热目的的生物质燃烧量较少。

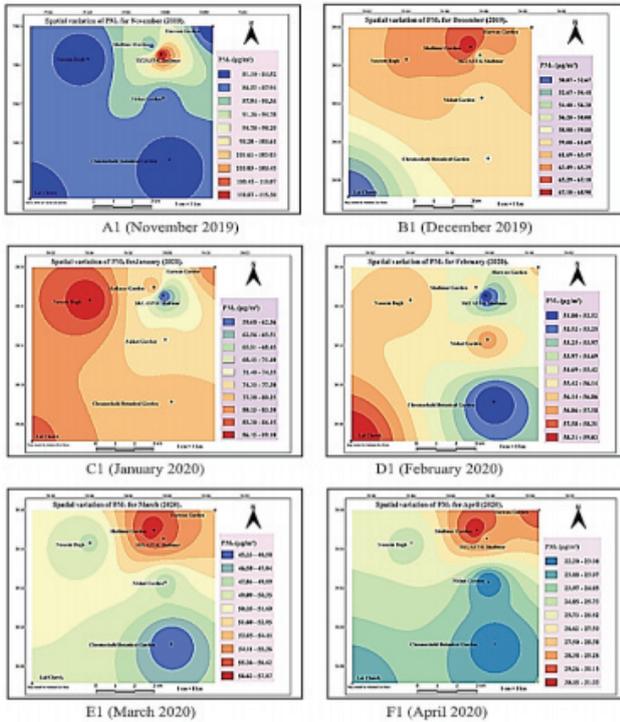


图2 斯利那加市 6 个月监测的颗粒物 (PM1) 空间插值月度 IDW 图

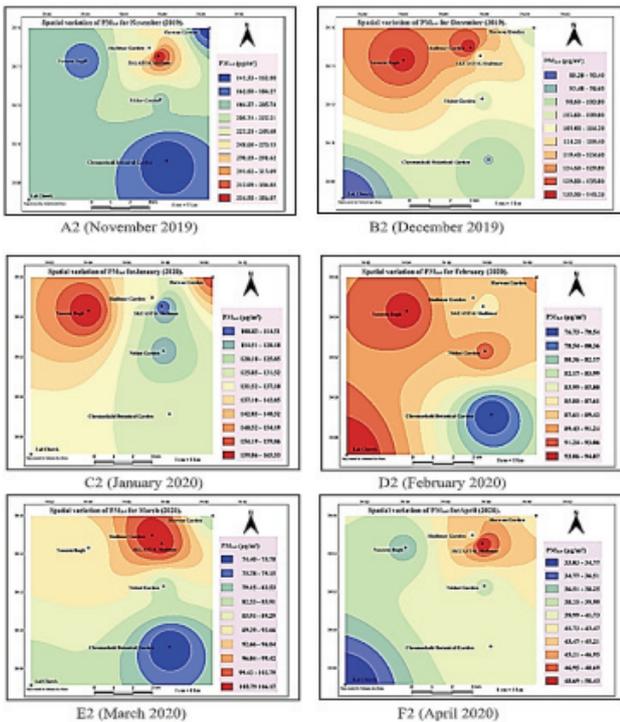


图3 斯利那加市 6 个月监测的月度颗粒物 (PM2.5) 空间插值 IDW 图

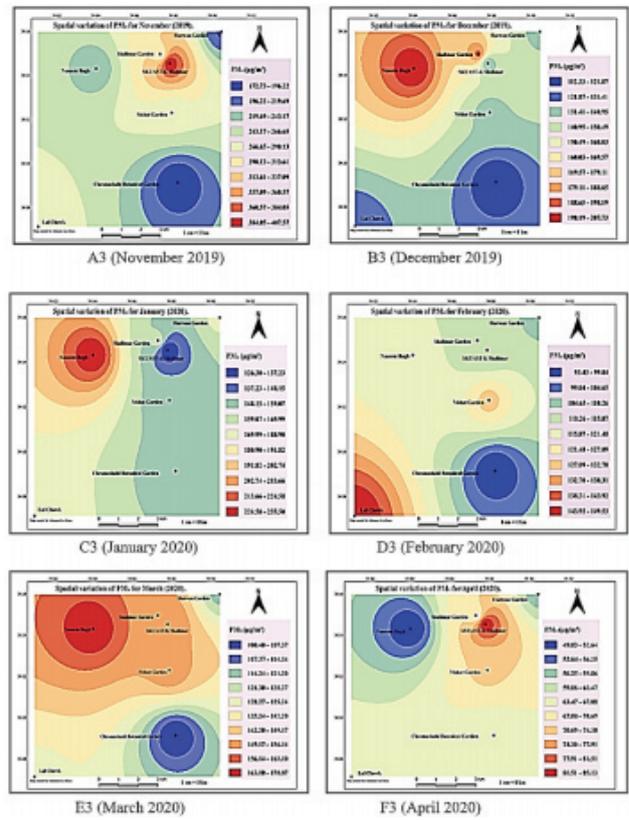


图4 斯利那加市 6 个月监测的颗粒物 (PM4) 月度空间插值 IDW 图

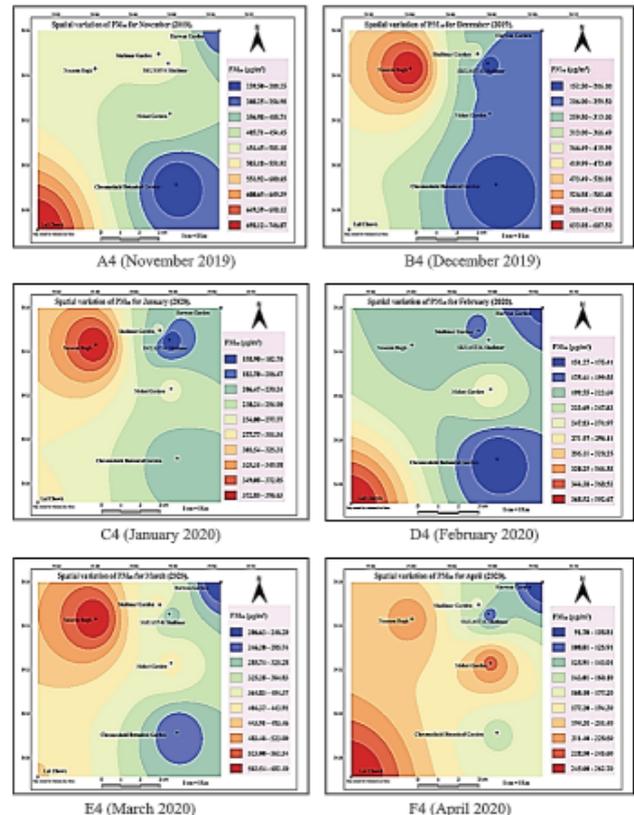


图5 斯利那加市 6 个月监测的月度颗粒物 (PM10) 空间插值 IDW 图

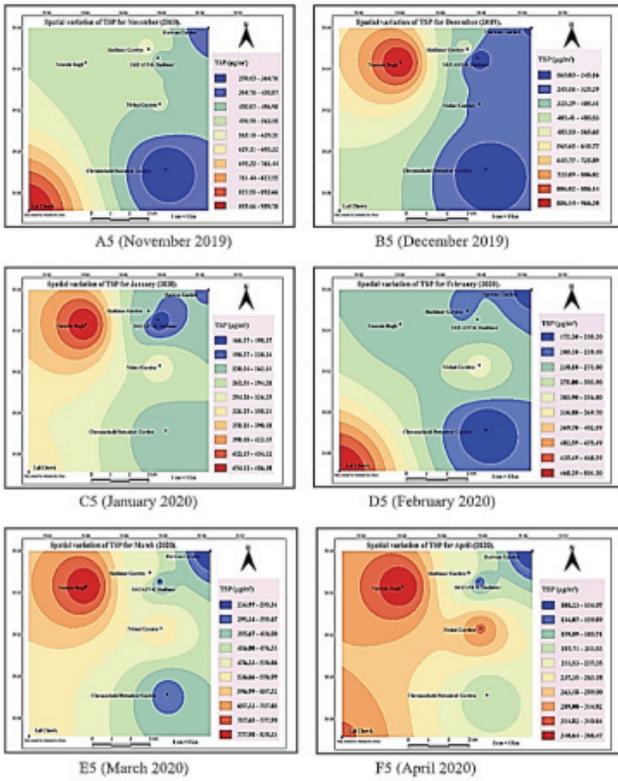


图6 斯里那加市为期6个月监测的月度总悬浮颗粒物 (TSP) 空间插值的 IDW 图

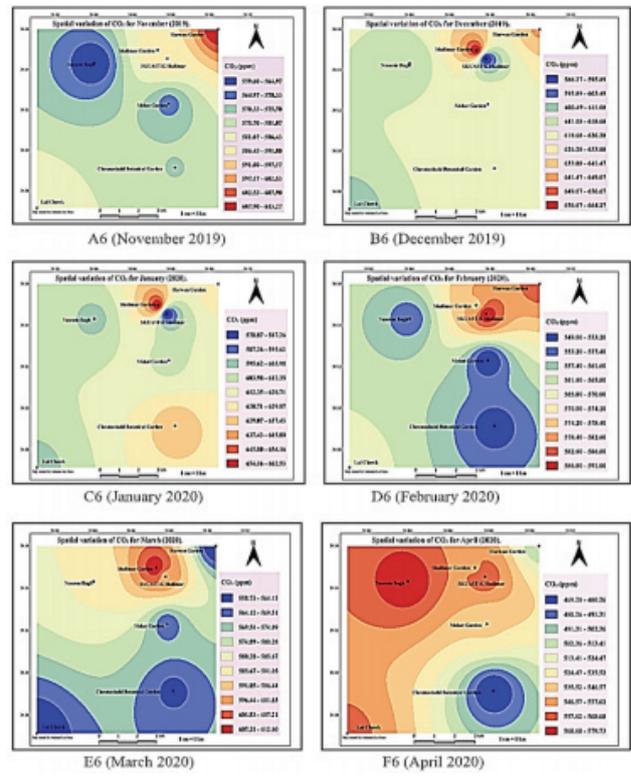


图7 斯里那加市为期6个月监测的每月二氧化碳 (CO2) 空间插值的 IDW 图

表2 6个月采样监测点日间污染物平均浓度

Samp-ling sites	PM ₁			PM _{2.5}			PM ₄			PM ₁₀			TSP			CO ₂		
	Morning	After-noon	Even-ning	Morning	After-noon	Even-ning	Morning	After-noon	Even-ning	Morning	After-noon	Even-ning	Morning	After-noon	Even-ning	Morning	After-noon	Even-ning
Harwan Garden	61.24	61.38	61.11	119.	98.74	96.49	149.	114.	130	221.	163.	227.	238.	184.	259.	598.	565.	602.
Shalimar Garden	69.37	58.29	63.16	152.	86.43	134.	194.	107.	191.	349.	190.	387.	422.	262.	472.	619.	573.	638.
Nase-em Bagh	67.26	54.10	61.28	127.	85.72	135.	173.	99.86	231.	376.	150.	765.	468.	167.	1,09	594.	541.	610.
Nishat Garden	68.49	52.35	53.78	121.	97.38	102.	176.	138.	144.	380.	256.	291.	457.	300.	411.	585.	550.	591.
Chesma shahi Botanical Garden	67.99	53.12	49.06	118.	82.75	78.14	143.	101.	101.	222.	168.	201.	254.	202.	238.	569.	533.	606.
SKUAST-K Shalimar	71.15	57.11	58.32	149.	127.	133.	182.	163.11	163.	254.	209.	238.	273.	227.	276.	609.	565.	582.
Lal Chowk	64.02	54.74	56.60	117.	90.12	106.	173.	122.	170.	403.	282.	576.	521.	337.	718.	591.	574.	576.
Daytime average mean conc. of pollutants	67.07	55.87	57.62	129.	95.52	112.	170.	121.	161.	315.	203.	383.	376.	240.	496.	595.	557.	601.
C.D.	2.07	1.98	2.22	7.34	7.03	7.03	10.10	10.65	12.82	36.05	13.42	24.11	38.95	24.46	41.34	9.63	8.22	10.08
SE(m)	0.66	0.64	0.71	2.36	2.26	2.26	3.24	3.42	4.12	11.57	4.31	7.74	12.50	7.85	13.27	3.09	2.64	3.24

Critical Difference (CD) is significant at $p \leq 0.05$; SE(m) is the standard error of the mean

各监测点监测污染物白天（上午、下午和晚上）的平均浓度见表 2。从数据可以看出，大多数监测点的每种监测污染物和平均白天平均浓度污染物浓度中，早晚浓度最高。例如，PM₁ 的日平均浓度 早上最高（67.07 μg/m³），其次是晚上（57.62 μg/m³），然后是下午。PM_{2.5} 和 PM₄ 也遵循同样的趋势。但是，对于较大的颗粒物（PM₁₀ 和 TSP）和 CO₂，平均白天平均浓度在晚上最高，然后是早上，然后是下午。这可以归因于早上人们开车时有很多车辆运动到他们不同的工作地点，晚上从同一个地方开车。此外，斯利那加市的交通拥堵主要发生在一天中的早上和晚上。在冬季（11 月至 1 月），在各个监测点周围观察到的用于加热目的的高生物量燃烧加上较小的大气风以驱散颗粒和二氧化碳，高湿度使颗粒特别是较大的颗粒停滞在环境空气长时间，特别是在早上和晚上。许多研究数据已经证明，污染物从远距离、较低的大气混合和较少的污染物扩散，特别是在冬季是造成较高污染的原因，因为污染物在低层大气中总是停滞不前。^{15, 32, 33}

表 3 斯利那加市各监测点的 6 个月平均颗粒物（μg/m³）和二氧化碳（ppm）浓度

Sampling sites/Parameters	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₄	PM ₁₀	TSP	CO ₂
Harwan Garden	61.24	104.89	131.42	204.48	227.45	588.73
Shalimar Garden	63.61	124.44	164.32	309.22	385.90	610.56
Naseem Bagh	60.88	116.24	168.27	430.87	578.38	582.13
Nishat Garden	58.20	107.15	153.00	309.14	389.82	575.84
Chesmeshahi Botanical Garden	56.72	93.02	115.52	197.35	231.53	569.76
SKUAST-K Shalimar	62.19	136.89	169.65	234.32	259.12	585.62
Lal Chowk	58.45	104.89	155.62	420.57	528.42	580.81
C.D.	1.01	3.74	5.50	16.12	23.15	6.21
SE(d)	0.46	1.70	2.50	7.32	10.51	2.82

Critical Difference (CD) significant at p ≤ 0.05; SE(d) is the standard error of the difference.

数据（表 3）显示了从 2019 年 11 月到 2020 年 4 月在不同采样点/地点本次调查监测的污染物的六个月平均变化。数据显示，对于所有/大部分监测的污染物，Chesmeshahi 植物园和 Harwan 花园的浓度分别最低。这可以归因于这样一个事实，即两个游客的站点都位于更安静的位置，车辆流动和交通较少。此外，这些旅游景点周围的住宅数量较少，尤其是 Chesmeshahi 植物园，因此在冬季不会受到燃烧的影响。Shalimar Garden（PM₁ 为 63.61 μg/m³）和 SKUAST-K Shalimar（PM_{2.5} 和 PM₄ 分别为 136.89 和 169.65 μg/m³）记录了较小颗粒（PM ≤ 4 μm）的 6 个月平均浓度最高。而较大的颗粒（PM₁₀ 和 TSP）分别在 Naseem Bagh（430.87 和 578.38 μg/m³）和 Lal Chowk（420.57 和 528.42 μg/m³）记录得最高。最高水平的二氧化碳记录在夏利玛花园（610.56 ppm）。由于交通繁忙，这些地点周围的高密度房屋和燃烧的生物质可能增加了它们的污染物浓度。经常交通繁忙的地

区被认为是悬浮颗粒物的热点。³⁰ 平均 6 个月的空间变化大多数监测点之间监测的污染物浓度具有统计学意义（p ≤ 0.05）。表 4 中给出的颗粒物和 CO₂ 的相关性显示出正相关，尽管在大多数污染物的月浓度之间不显著。然而，PM₁、PM_{2.5} 和 PM₄ 之间显示出显著的（p ≤ 0.01）强正相关。此外，PM₄ 和 PM₁₀ 以及 PM₁₀ 和 TSP 之间也存在显著的（p ≤ 0.05）强正相关。正相关表明这些参数中的任何一个的增加将如何导致另一个参数的相应增加。已发现颗粒物浓度与室外/周围环境具有相互关系。³¹

表 4 基于所有地点月平均值的颗粒物二氧化碳

Pearson 相关矩阵

	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₄	PM ₁₀	TSP	CO ₂
PM ₁		0.951**	0.923**	0.644 ^{NS}	0.513 ^{NS}	0.667 ^{NS}
PM _{2.5}			0.989**	0.769 ^{NS}	0.652 ^{NS}	0.521 ^{NS}
PM ₄				0.847*	0.747 ^{NS}	0.466 ^{NS}
PM ₁₀					0.986**	0.316 ^{NS}
TSP						0.251 ^{NS}
CO ₂						

* Significant at p ≤ 0.05, ** Significant at p ≤ 0.01.

结论

从获得的数据和 IDW 图可以看出，在大多数监测点与其周围未采样区域之间，所有监测污染物的浓度存在显著的月度空间变化。此外，大多数监测点之间平均六个月监测污染物浓度的空间变化具有统计学意义（p ≤ 0.05）。这可能归因于监测站点的位置、交通流量的变化、不同的季节性（冬季和春季）活动（如生物质燃烧）以及天气条件（如大气温度、风速、降水和相对湿度）。这告诉我们，颗粒物和二氧化碳的浓度每月都会随着斯利那加市一个地点到另一个地点的距离而变化。此外，数据证明，斯利那加市的环境空气在早上和晚上比下午受到越来越多的污染。并且所有参数/污染物彼此呈正相关，也就是说，尽管大多数参数/污染物之间的正相关并不显著，但它们都同时彼此增加。查谟和克什米尔邦污染控制委员会在一份关于管理斯利那加市空气质量的报告中指出了该市的污染源及其估计的源比例，如下所示：车辆排放（65-75%）、来自坏路的灰尘（10-15%）、生物质和垃圾燃烧（10-20%）、建筑和拆除排放（5-8%）、小型工业活动（7-8%）和其他来源（3%）。⁶ 因此导致城市环境空气质量状况恶化。因此得出的结论是，斯利那加市的空气质量差随着距离的变化而变化，如数据和 IDW 地图关于监测点和监测的污染物所描绘的那样。因此，可以了解城市上空的污染物。未来，建议在整个斯利那加地区开展关于这项工作的更广泛的研究。

致谢

为完成这项工作，谢尔-克什米尔农业科技大学夏

利马尔校区环境科学部的行政部门对本研究提供的必要支持表示感谢。

资金

本文的研究、作者身份和/或出版没有收到任何资金。

利益冲突

作者声明没有利益冲突。

参考文献:

- [1] Institute, Health Effect. State of Global Air 2018. Special Report.; 2018. <https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga-2018-report.pdf>
- [2] Lee KK, Miller MR, Shah ASV. Air pollution and stroke. *J Stroke*. 2018;20(1). doi:10.5853/jos.2017.02894
- [3] WHO. Ambient (outdoor) air pollution. Published 2018. Accessed April 10, 2021. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-andhealth](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-andhealth)
- [4] Kulshrestha UC. PM1 is More Important than PM2.5 for Human Health Protection. *Curr World Environ*. 2018;13(1). doi:10.12944/cwe.13.1.01
- [5] Hedley C, Saggarr S, Tate K. Procedure for fast simultaneous analysis of the greenhouse gases: Methane, carbon dioxide, and nitrous oxide in air samples. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 2006;37(11-12). doi:10.1080/00103620600709928
- [6] Anonymous. Revised Action Plan for Air Quality Management in Srinagar city. In: Revised Action Plan Control of Air Pollution in Non-Attainment Cities Jammu and Srinagar. ; 2018:28-44. <http://jkspcb.nic.in/WriteReadData/userfiles/file/Ambient Air Quality/Action Plan on Control of Air Pollution in Non Attainment Cities.pdf>
- [7] Nikhil ST. Study on the effect of vehicular pollution on the ambient concentrations of particulate matter and carbon dioxide in Srinagar city. Published online 2020. doi:Available in SKUAST-K Library, Shalimar
- [8] Nusret D, Dug S. Applying the Inverse Distance Weighting and Kriging methods of the spatial interpolation on the mapping the annual precipitation in Bosnia and Herzegovina. In: IEMSs 2012 – Managing Resources of a Limited Planet: Proceedings of the 6th Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. ; 2012.
- [9] Fontes T, Barros N. Interpolation of air quality monitoring data in an urban sensitive area: the Oporto/Asprela case. *Edições Univ Fernando Pessoa*. 2010;7:6-18. <https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/2334>
- [10] Kumar Jha D, Sabesan M, Das A, Vinithkumar N V, Kirubakaran R. Evaluation of Interpolation Technique for Air Quality Parameters in Port Blair, India. *Univers J Environ Res Technol*.2011;1(3).
- [11] Li L, Losser T, Yorke C, Piltner R. Fast inverse distance weighting-based spatiotemporal interpolation: A web-based application of interpolating daily fine particulate matter PM2.5 in the contiguous U.S. using parallel programming and k-d tree. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11(9). doi:10.3390/ijerph110909101
- [12] Kumar A, Krishna A. Aerosol concentration over Ranchi urban area and South Karanpura Coalfield region, Jharkhand, India-A comparative geospatial appraisal. *J Ind Geophys Union*. 2017;21(5):431-440.
- [13] Schloeder CA, Zimmerman NE, Jacobs MJ. Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Sci Soc Am J*. 2001;65(2). doi:10.2136/sssaj2001.652470x
- [14] Arumugam T, Kunhikannan S, Radhakrishnan P. Assessment of fluoride hazard in groundwater of Palghat District, Kerala: A GIS approach. *Int J Environ Pollut*. 2019;66(1-3). doi:10.1504/IJEP.2019.104533
- [15] Hakim ZQ, Beig G, Reka S, Romshoo SA, Rashid I. Winter Burst of Pristine Kashmir Valley Air. *Sci Rep*. 2018;8(1). doi:10.1038/s41598-018-20601-z
- [16] Met One Instruments. Fine Dust Meter Met One AEROCET 831. Website. doi:AEROCET 831
- [17] Met One Instruments. Comet Software. Website. Published 2019. Accessed October 24, 2019. <https://metone.com/products/comet/>
- [18] Remer LA, Kaufman YJ, Tanré D, et al. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. *J Atmos Sci*. 2005;62(4). doi:10.1175/JAS3385.1
- [19] Baschant D, Stahl H. Temperature resistant IR-gas sensor for CO2 and H2O. In: Proceedings of IEEE Sensors. Vol 1. ; 2004.
- [20] Hodgkinson J, Smith R, Ho WO, Saffell JR, Tatam RP. Non-dispersive infra-red (NDIR) measurement of

carbon dioxide at 4.2 μm in a compact and optically efficient sensor. *Sensors Actuators, B Chem.* 2013;186. doi:10.1016/j.snb.2013.06.006

[21] Rave Innovations. Realtime Portable CO2 Monitor-CDM 901. Website. Published 2019. Accessed October 25, 2019. <http://www.erave.in/products/index.html>

[22] Lu GY, Wong DW. An adaptive inversedistance weighting spatial interpolation technique. *Comput Geosci.* 2008;34(9). doi:10.1016/j.cageo.2007.07.010

[23] McCoy J, Johnston K, Kopp, Borup B, Willison J, Payne P. *ArcGIS 9*. 1st ed. ESRI; 2001.

[24] Salih IM, Pettersson HBL, Sivertun A, Lund E. Spatial correlation between radon (^{222}Rn) in groundwater and bedrock uranium (^{238}U): GIS and geostatistical analyses. *J Spat Hydrol.* 2002;2(2).

[25] Sheikh M, Najar IA. Preliminary Study on Air Quality of Srinagar, (J&K), India. *J Environ Sci Stud.* 2018;1(1). doi:10.20849/jess.v1i1.421

[26] Lau J, Hung WT, Cheung CS. Interpretation of air quality in relation to monitoring station's surroundings. *Atmos Environ.* 2009;43(4). doi:10.1016/j.atmosenv.2008.11.008

[27] Li A, Chen C, Chen J, Lei P. Environmental investigation of pollutants in coal mine operation and waste dump area monitored in Ordos Region, China. *RSC Adv.* 2021;11(17). doi:10.1039/d0ra10586d

[28] Awasthi A, Agarwal R, Mittal SK, Singh N, Singh K,

Gupta PK. Study of size and mass distribution of particulate matter due to crop residue burning with seasonal variation in rural area of Punjab, India. *J Environ Monit.* 2011;13(4). doi:10.1039/c1em10019j

[29] Jayamurugan R, Kumaravel B, Palanivelraja S, Chockalingam MP. Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area. *Int J Atmos Sci.* 2013;2013. doi:10.1155/2013/264046

[30] Kale US, Sawant P. Evaluation of Impact of Particulate Matter on Traffic Personnel and at Traffic Junctions. *J Environ Heal Sci.* 2016;2(6):1-9. doi:10.15436/2378-6841.16.1037

[31] Pan S, Du S, Wang X, et al. Analysis and interpretation of the particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) concentrations at the subway stations in Beijing, China. *Sustain Cities Soc.* 2019;45. doi:10.1016/j.scs.2018.11.020

[32] Tiwari S, Chate DM, Srivastava MK, et al. Statistical evaluation of PM₁₀ and distribution of PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ in ambient air due to extreme fireworks episodes (Deepawali festivals) in megacity Delhi. *Nat Hazards.* 2012;61(2). doi:10.1007/s11069-011-9931-4

[33] Chakraborty T, Beig G, Dentener FJ, Wild O. Atmospheric transport of ozone between Southern and Eastern Asia. *Sci Total Environ.* 2015;523. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.03.066