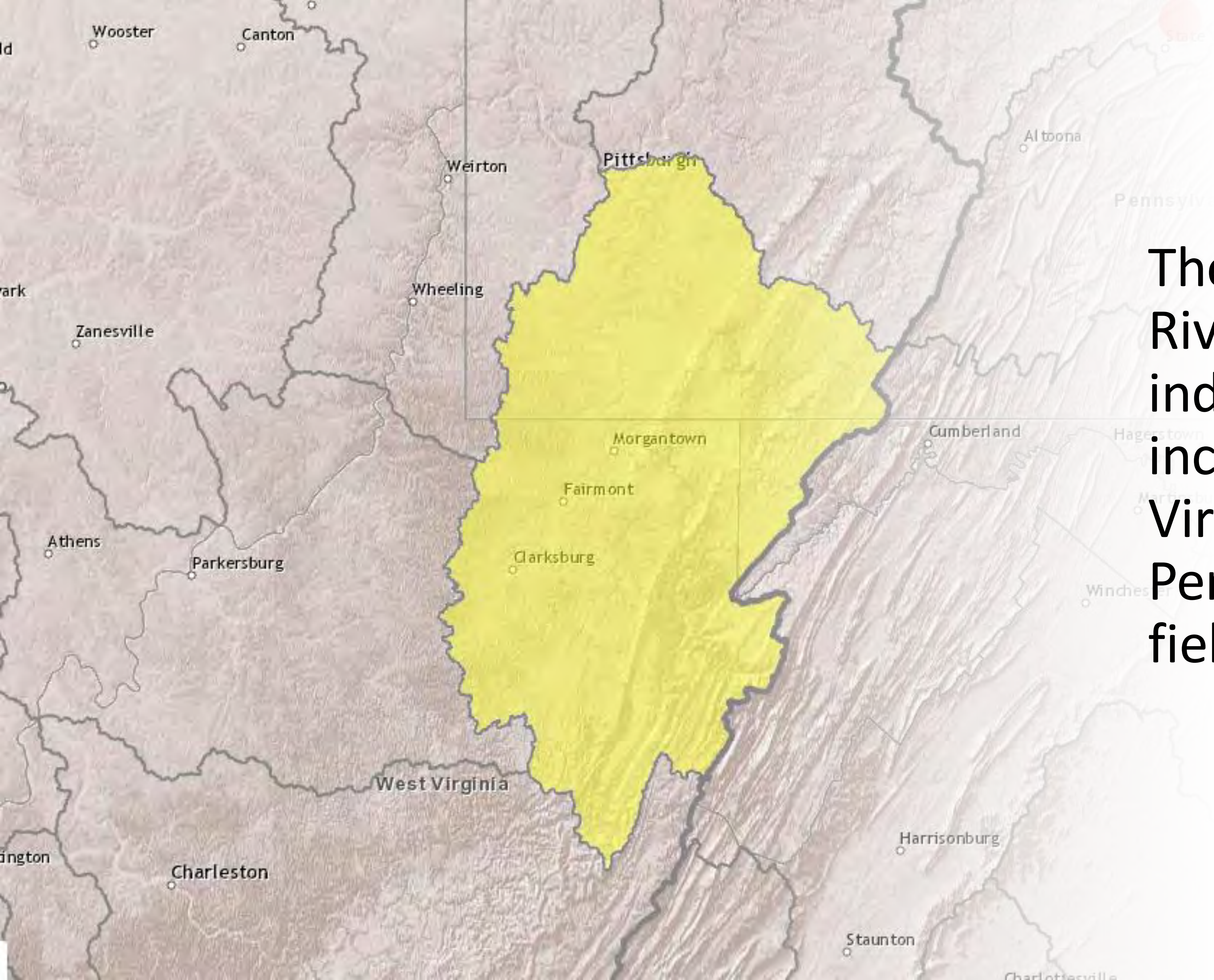
Long-term water quality trends in the Monongahela River basin

Leslie Hopkinson[1], Sitraka Rabemanjakasoa[1], Sarah Nelson[1,2], Rachel Spirnak[2], Melissa O'Neal[2]

[1]Wadsworth Department of Civil and Environmental Engineering, WVU
[2]West Virginia Water Research Institute

December 6, 2024



The Monongahela River basin is highly industrialized and includes West Virginia and Pennsylvania coal fields.

Water quality concerns in the Monongahela River basin include:

- Acid mine drainage
- Traditional gas drilling
- Industrial and municipal pollution
- Land use
- Marcellus Shale gas development

2008
SO4 and TDS exceed safe drinking water levels

July 2009
WVWRI monitoring begins

Aug. 2009
Dunkard Creek fishkill

Dec. 2010
Monongahela Rivers listed as “Impaired” for sulfate

Jan. 2010
Voluntary mine discharge management plan implemented

June 2010
PA TDS regulations

May 2011
PA restricts flowback into publicly owned treatment works

May 2013
Reverse osmosis plant treats wastewater from the coal industry

Dec. 2014
Monongahela Rivers removed as “Impaired” for sulfate

WHAT IS 3RQ?

Water: One of our most precious and vital resources, it is essential for life and economic prosperity. Yet so many of the activities that keep our economy alive and growing also threaten our water resources.

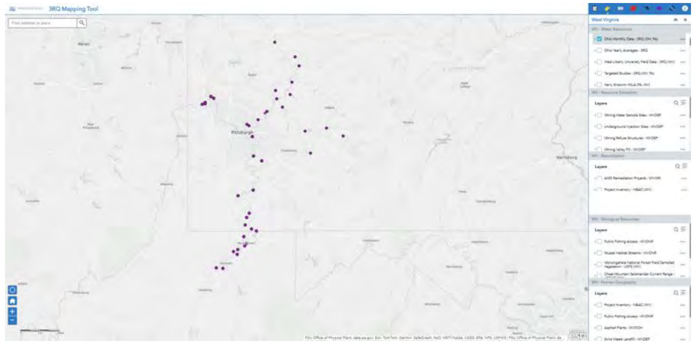
At the West Virginia Water Research Institute, we understand how essential clean water is to our way of life. We work to establish programs and new initiatives that help to develop new technologies and inform policy to keep our water protected. It is this dedication to clean water that was the catalyst for the long-term, comprehensive water quality monitoring and reporting program we call Three Rivers QUEST (3RQ).

The 3RQ project monitors rivers, tributaries and headwater streams that drain an area of over 25,000 square miles in five states. It brings together academic researchers, citizen scientists, and conservation groups to collect, analyze, and monitor important water quality data. This data is displayed on the 3RQ website and can be seen here. This data is displayed to provide the public, other researchers, federal and state agencies, and industry with timely and accurate information as it pertains to the overall health of our local rivers and streams.

https://3riversquest.wvu.edu/

3RQ

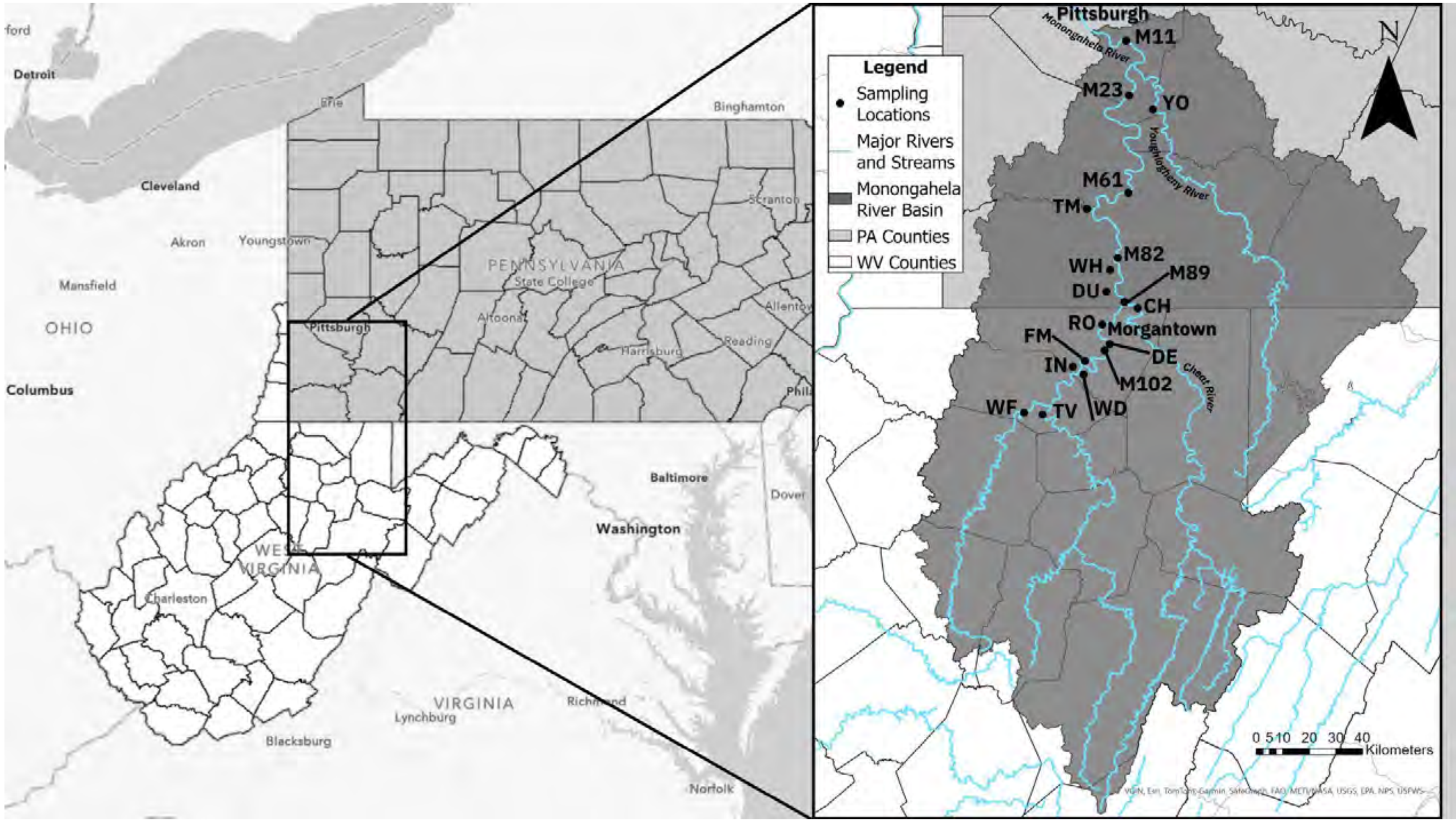
THREE RIVERS QUEST



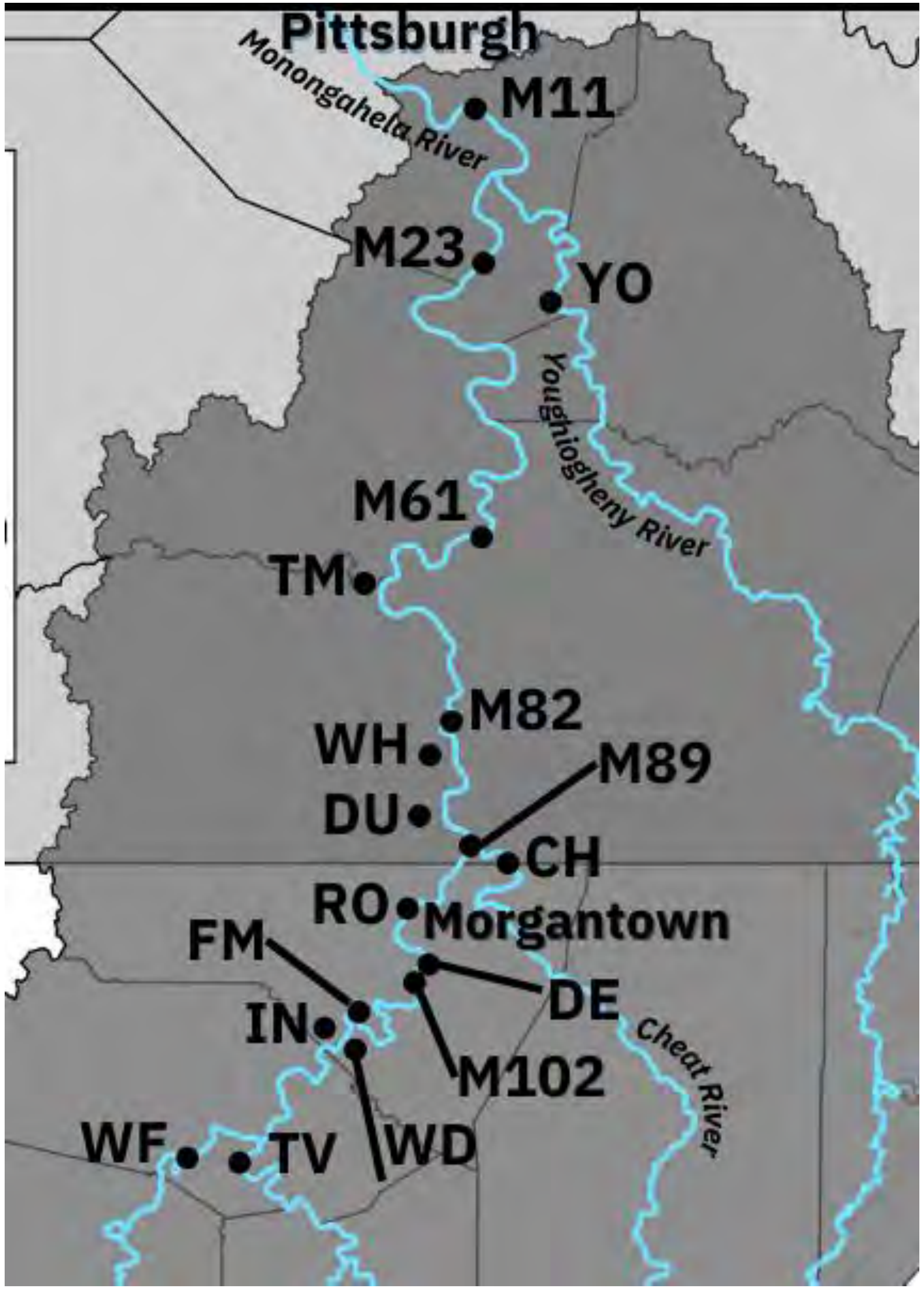
The *overall objective* of this study was to evaluate long-term trends in water quality in the Monongahela River basin.

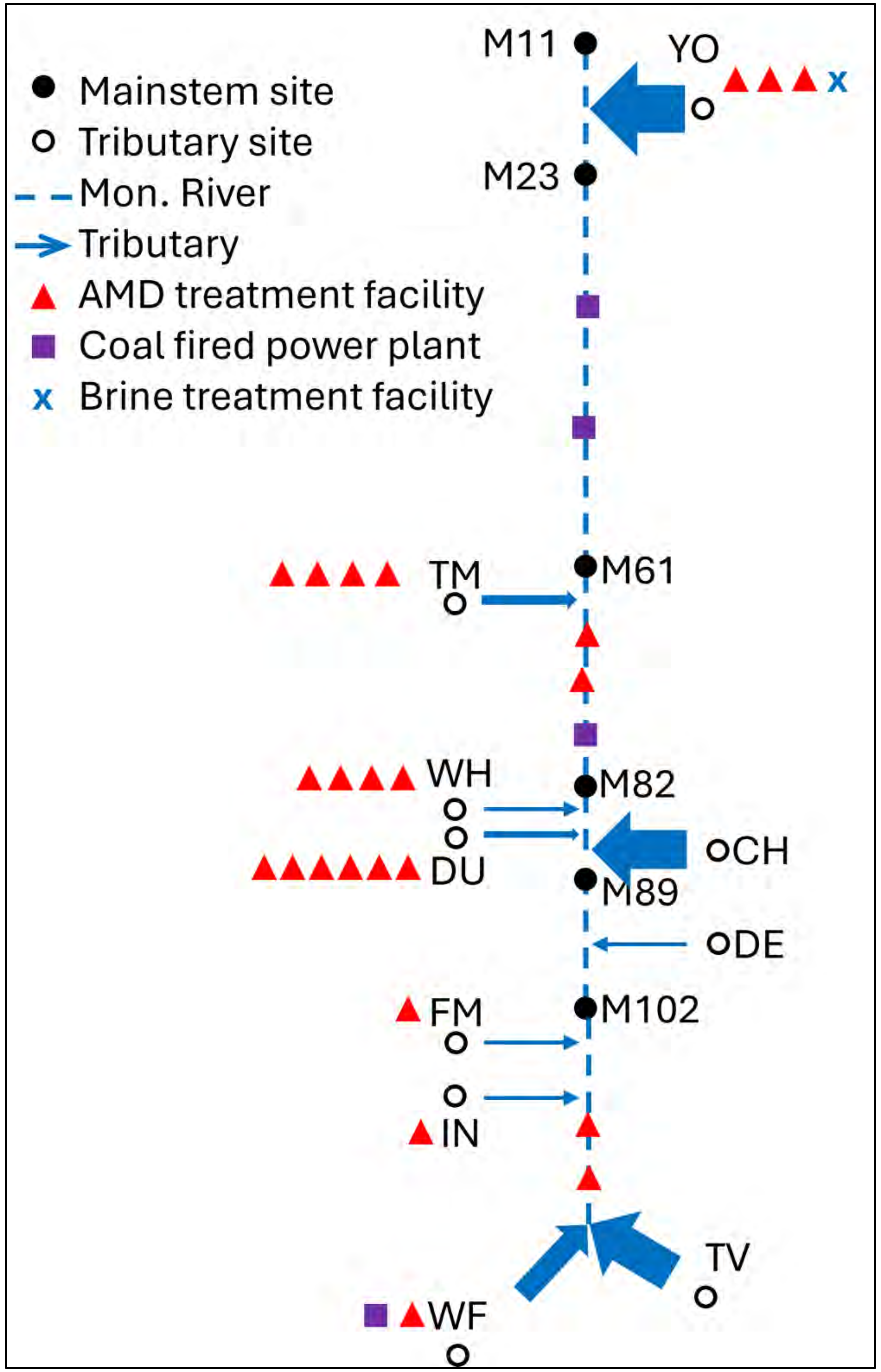
- The null hypothesis, H_0, was that there was no monotonic trend in central tendency of the water quality variables monitored.
- Utilizing the publicly available 3RQ dataset, a trend analysis approach was used to determine if there were trends in water quality parameters of the Monongahela River and its major tributaries.

Methods: Monongahela River Basin



Methods: Monitoring locations





WVWRI collected water samples and *in situ* measurements at least monthly since July 2009.

- Water grab samples were analyzed for alkalinity, SO_4, Cl and dissolved Al, Ca, Fe, Mg, Mn, and Na
- Total dissolved solids (TDS) was calculated as the sum of the concentrations of all measured dissolved constituents
- Acidity was estimated
- Conductivity (EC), pH, and temperature were measured directly

WVWRI collected water samples and *in situ* measurements at least monthly since July 2009.

- Mean daily discharge values (Q) were:
  - obtained from nearby USGS gage stations at the time of sample collection,
  - estimated with relationships reported by Kingsbury et al. (2023), or
  - estimated by the Watershed Modeling and Characterization System (Strager et al. 2010).

Code	Description	Location	Drainage area (km^2)	Sampling dates
Mainstem				
M11	Monongahela River (river mile 11)	Homestead, PA 40°24'52" N; 9°53'53" W	19,010	May 2013-February 2023
M23	Monongahela River (river mile 23)	Elizabeth, PA 40°16'23" N; 79°53'17" W	13,831	July 2009-February 2023
M61	Monongahela River (river mile 61)	Brownsville, PA 40°1'18" N; 79°53'25.6" W	12,898	March 2012-February 2023
M82	Monongahela River (river mile 82)	Masontown, PA 39°51'7" N; 79°55'34" W	11,707	July 2009-February 2023
M89	Monongahela River (river mile 89)	Point Marion, PA 39°44'13" N; 79° 54' 14" W	7,030	July 2009-February 2023
M102	Monongahela River (river mile 102)	Morgantown, WV 39°36'40" N; 79°58'16" W	6,660	July 2009-February 2023
Tributaries				
YO	Youghiogheny River	40° 14' 13" N; 79°48'25" W	4,429	July 2009-February 2023
TM	Ten Mile Creek	39°58'52" N; 80°2'2" W	865	July 2009-February 2023
WH	Whiteley Creek	39°49'16" N; 79°57'7" W	136	September 2009-February 2023
DU	Dunkard Creek	39°45'54" N; 79°57'54" W	596	July 2009-February 2023
CH	Cheat River	39°43'16" N; 79°51'29" W	3,652	July 2009-February 2023
DE	Deckers Creek	39°37'41" N; 79°57'14" W	163	July 2009-February 2023
FM	Flaggy Meadows Run	39°35'2" N; 80°2' 17" W	4	May 2010-February 2023
IN	Indian Creek	39°34'8" N; 80°4'44" W	51	May 2010-February 2023
TV	Tygart Valley River	39°26'38" N; 80°10'52" W	3,550	July 2009-February 2023
WF	West Fork River	39°26'56" N; 80°14'38.4" W	2,140	July 2009-February 2023
Tributaries with incomplete datasets				
WD	White Day	39°32'56" N; 80°2'31" W	83	July 2010-December 2013, October 2019-February 2023
RO	Robinson Run	39°40' 44" N; 79°58'44" W	20	May 2010-December 2013, October 2019-February 2023

Methods: Statistical analyses

- Four nonparametric statistical tests were performed to determine if there were significant monotonic trends over time ($\alpha = 0.1$):
    1. Mann-Kendall trend test
    2. Mann-Kendall trend test adjusted for discharge,
    3. Seasonal Kendall test
    4. Seasonal Kendall test adjusted for discharge
- Slopes of significant relationships were estimated by the Theil-Sen estimator
- All statistical analyses were performed using R version 4.3.2

Results: Snapshot

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Mainstem														
M11	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M23	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M61	□ □	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	□ □	□ ▲	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	□ ▲	▲ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M82	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M89	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M102	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
Tributaries														
YO	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
TM	□ ▲	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ □	□ □
WH	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
DU	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
CH	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ ▼	□ □	▼ ▼
DE	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ □	□ ▼	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
FM	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ ▼	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
IN	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
TV	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □
WF	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼

Results: Snapshot

- ▲ Significant increasing trend
- ▼ Significant decreasing trend
- □ No trend

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Mainstem														
M11	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M23	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M61	□ □	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	□ □	□ ▲	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	□ ▲	▲ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M82	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M89	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M102	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
Tributaries														
YO	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
TM	□ ▲	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ □	□ □
WH	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
DU	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
CH	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ ▼	□ □	▼ ▼
DE	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ □	□ ▼	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
FM	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ ▼	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
IN	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
TV	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □
WF	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼

Results: Snapshot

▲ Significant increasing trend

▼ Significant decreasing trend

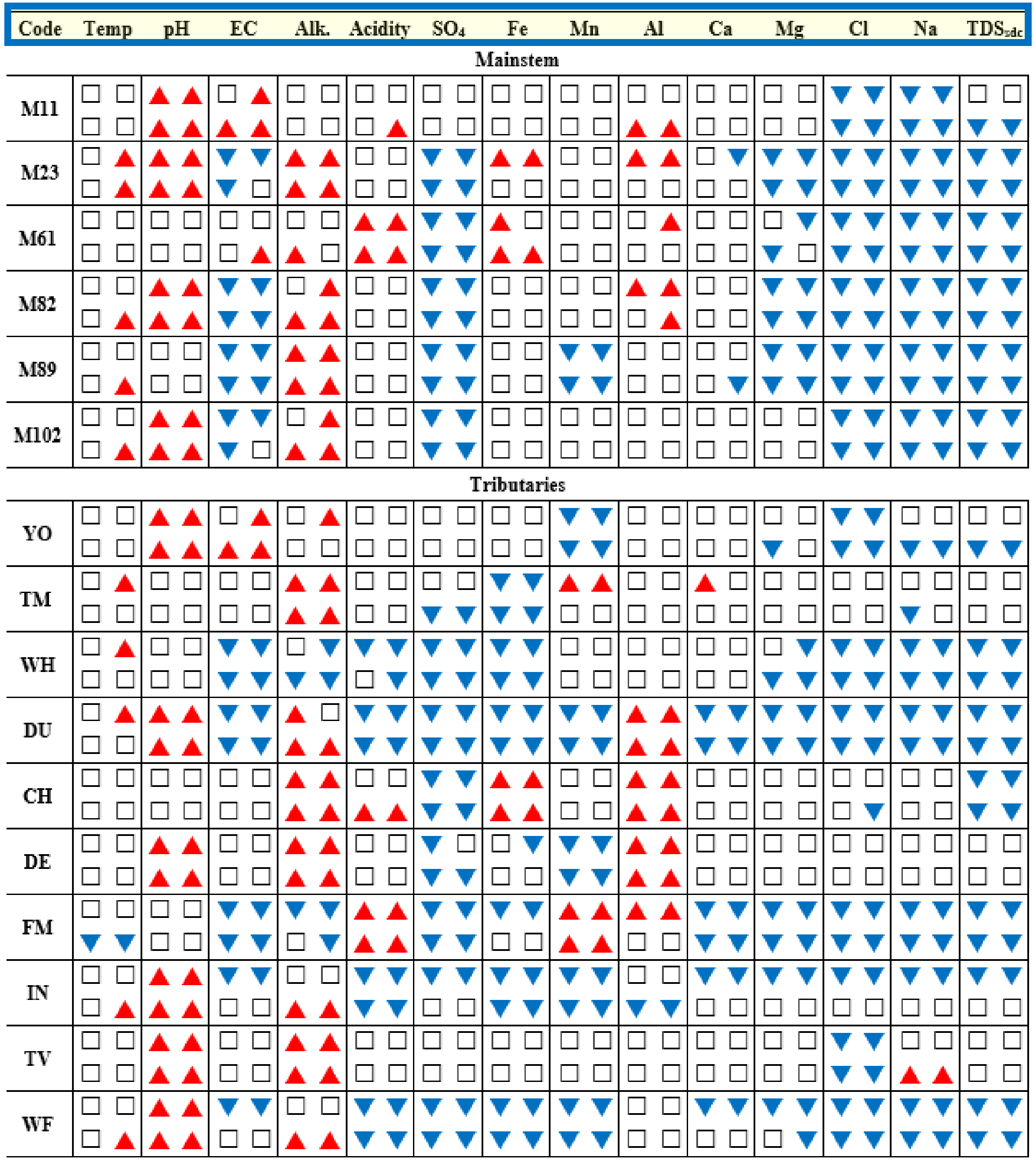
□ No trend

MK	SMK
MK-adjusted	SMK-adjusted

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Mainstem														
M11	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼
M23	□ ▲ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ □ □	□ □ □ □	▲ ▲ □ □	□ ▼ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
M61	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ ▲	□ □ ▲ □	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▲ □ ▲ ▲	□ □ □ □	□ ▲ □ □	□ □ □ □	□ ▼ ▼ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
M82	□ □ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	□ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ □	▲ ▲ □ ▲	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
M89	□ □ □ ▲	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
M102	□ □ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ □	□ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
Tributaries														
YO	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ ▲ ▲ ▲	□ ▲ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ ▼ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼
TM	□ ▲ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ □ □	□ □ □ □	▲ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ ▼ □	□ □ □ □
WH	□ ▲ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
DU	□ ▲ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▲ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
CH	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼
DE	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▼ □ ▼ ▼	□ ▼ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □
FM	□ □ ▼ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	▲ ▲ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
IN	□ □ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ □ □	□ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □
TV	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▲ ▲	□ □ □ □
WF	□ □ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ □ □	□ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼

Results: Snapshot

Parameters analyzed



▲ Significant increasing trend

▼ Significant decreasing trend

□ No trend

Results: Snapshot

Monitoring Stations

▲ Significant increasing trend

▼ Significant decreasing trend

□ No trend

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Mainstem														
M11	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M23	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M61	□ □	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	□ □	□ ▲	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	□ ▲	▲ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M82	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M89	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
M102	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	▼ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
Tributaries														
YO	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
TM	□ ▲	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ □	□ □
WH	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
DU	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
CH	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ ▼	□ □	▼ ▼
DE	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ □	□ ▼	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
FM	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ ▼	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
IN	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
TV	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □
WF	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼

Results: Snapshot

Mainstem

▲ Significant increasing trend

▼ Significant decreasing trend

□ No trend

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{calc}
Mainstem														
M11	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ □ / □ ▲	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / ▼ ▼
M23	□ ▲ / □ ▲	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ ▲ / □ □	□ □ / □ □	▲ ▲ / □ □	□ ▼ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
M61	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ ▲	□ □ / ▲ □	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ □ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ ▲ / □ □	□ □ / □ □	□ ▼ / ▼ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
M82	□ □ / □ ▲	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	□ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▲ ▲ / □ ▲	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
M89	□ □ / □ ▲	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	□ □ / □ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
M102	□ □ / □ ▲	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ □	□ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
Tributaries														
YO	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ ▲ / ▲ ▲	□ ▲ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / ▼ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / ▼ ▼	□ □ / ▼ ▼
TM	□ ▲ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ □ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ ▲ / □ □	□ □ / □ □	▲ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / ▼ □	□ □ / □ □
WH	□ ▲ / □ □	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / □ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
DU	□ ▲ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ □ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
CH	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ ▼	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼
DE	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▼ □ / ▼ ▼	□ ▼ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □
FM	□ □ / ▼ ▼	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / □ ▼	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	▲ ▲ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼
IN	□ □ / □ ▲	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / □ □	□ □ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / ▼ ▼	▼ ▼ / □ □	▼ ▼ / □ □	▼ ▼ / □ □	▼ ▼ / □ □	▼ ▼ / □ □
TV	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	▲ ▲ / ▲ ▲	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	□ □ / □ □	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / ▲ ▲	□ □ / □ □
WF	□ □ / □ ▲	▲ ▲ / ▲ ▲	▼ ▼ / □ □	□ □ / ▲ ▲	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	□ □ / □ □	▼ ▼ / □ □	▼ ▼ / □ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼	▼ ▼ / ▼ ▼

Results: Snapshot

▲ Significant increasing trend

▼ Significant decreasing trend

□ No trend

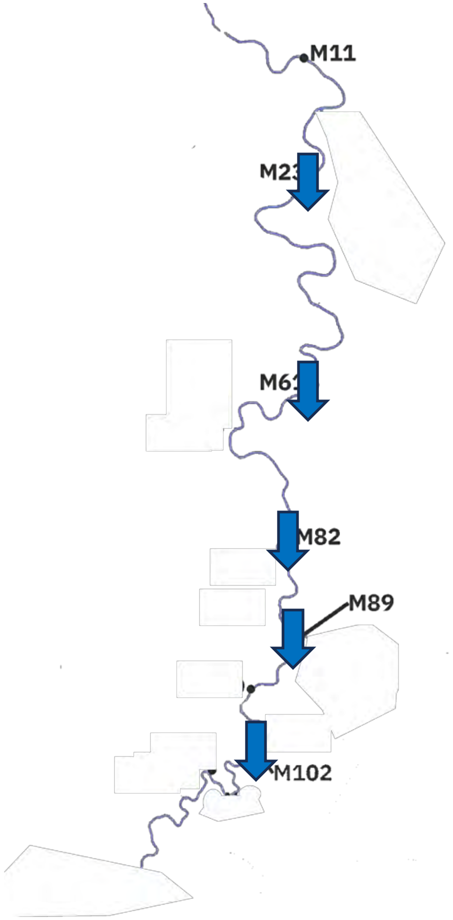
Major Tributaries

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Mainstem														
M11	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□▲ / ▲▲	□□ / □□	□□ / □▲	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / ▲▲	□□ / □□	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	□□ / ▼▼
M23	□▲ / □▲	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	▲▲ / □□	□□ / □□	▲▲ / □□	□▼ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
M61	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □▲	□□ / ▲□	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▲□ / ▲▲	□□ / □□	□▲ / □□	□□ / □□	□▼ / ▼□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
M82	□□ / □▲	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	□▲ / ▲▲	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	□□ / □□	▲▲ / □▲	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
M89	□□ / □▲	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	□□ / □▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
M102	□□ / □▲	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼□	□▲ / ▲▲	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
Tributaries														
YO	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□▲ / ▲▲	□▲ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	□□ / □□	□□ / ▼□	▼▼ / ▼▼	□□ / ▼▼	□□ / ▼▼
TM	□▲ / □□	□□ / □□	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	□□ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▲▲ / □□	□□ / □□	▲□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / ▼□	□□ / □□
WH	□▲ / □□	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□▼ / ▼▼	▼▼ / □▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
DU	□▲ / □□	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▲□ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
CH	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □▼	□□ / □□	▼▼ / ▼▼
DE	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	▼□ / ▼▼	□▼ / □□	▼▼ / ▼▼	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□
FM	□□ / ▼▼	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / □▼	▲▲ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▼▼ / □□	▲▲ / ▲▲	▲▲ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼
IN	□□ / □▲	▲▲ / ▲▲	▼▼ / □□	□□ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▼▼ / □□	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	□□ / ▼▼	▼▼ / □□	▼▼ / □□	▼▼ / □□	▼▼ / □□	▼▼ / □□
TV	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	▲▲ / ▲▲	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	□□ / □□	▼▼ / ▼▼	□□ / ▲▲	□□ / □□
WF	□□ / □▲	▲▲ / ▲▲	▼▼ / □□	□□ / ▲▲	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	□□ / □□	▼▼ / □□	▼▼ / □▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼	▼▼ / ▼▼

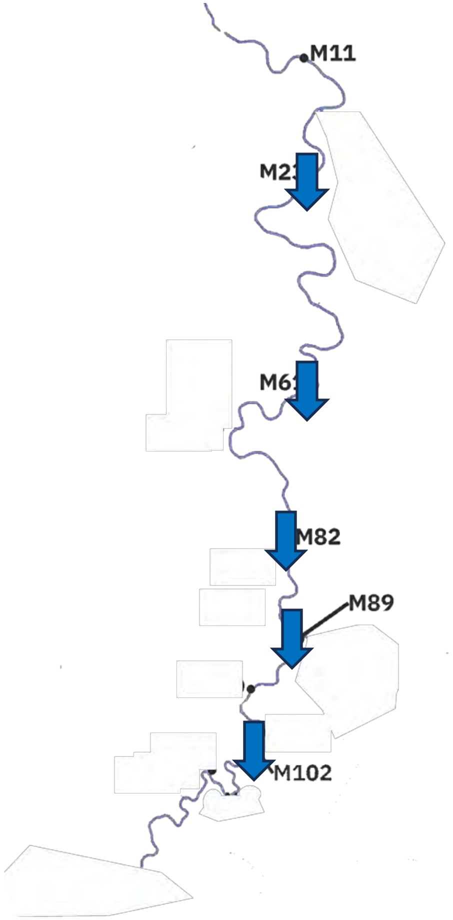
Results: Trends in the mainstem

- Four nonparametric tests were completed to determine the presence of monotonic trends. Generally, all tests resulted in the same result for each parameter in the mainstem.

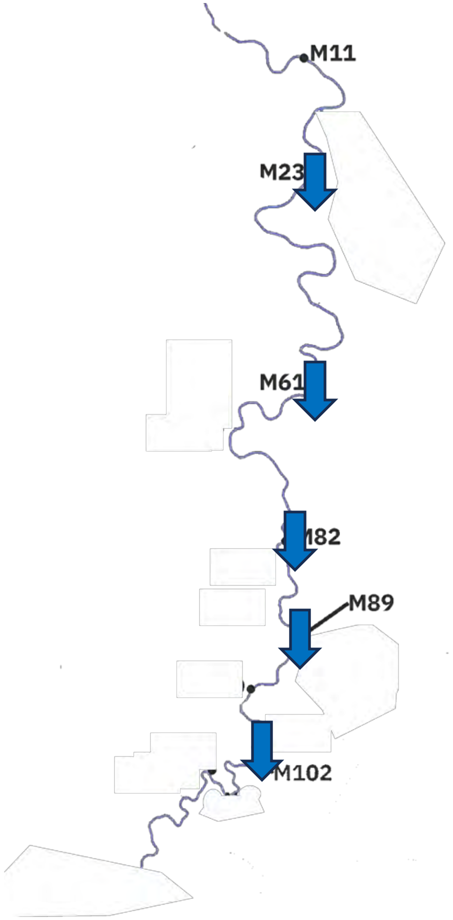
Results: Trends in the mainstem



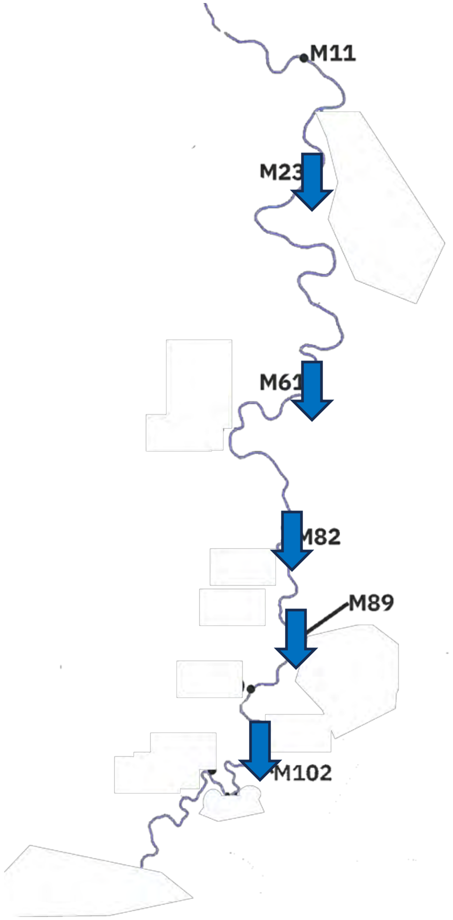
Cl



Na

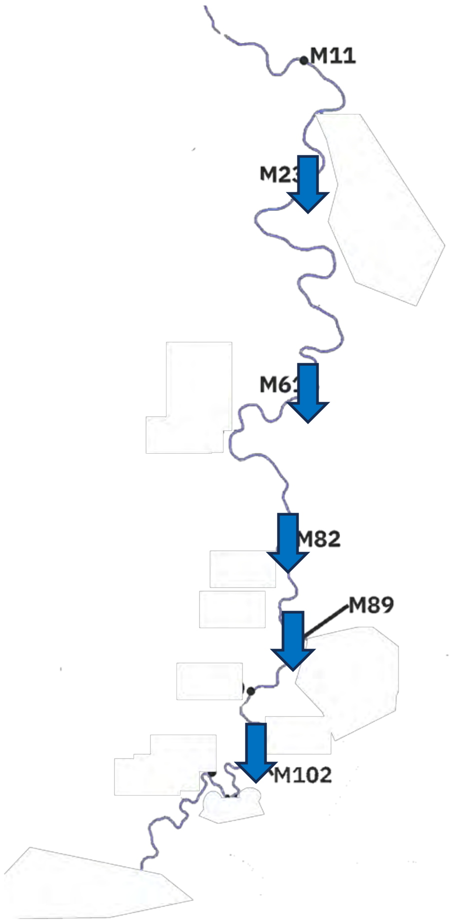


TDS

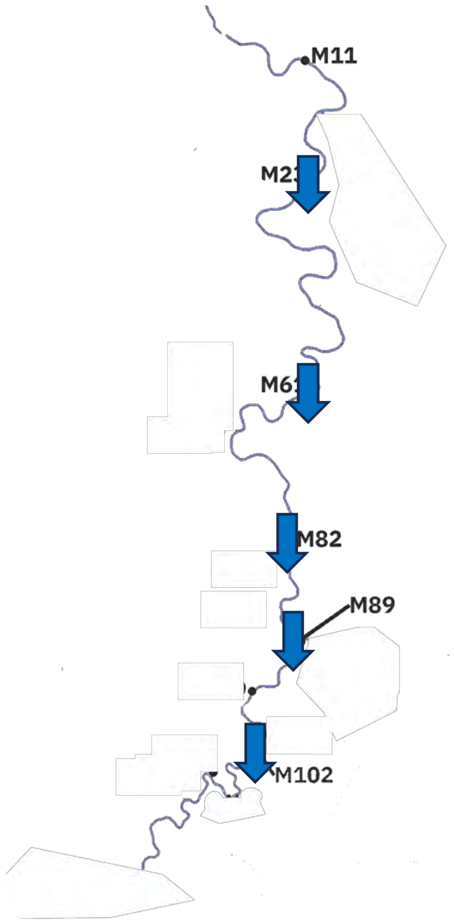


SO_4

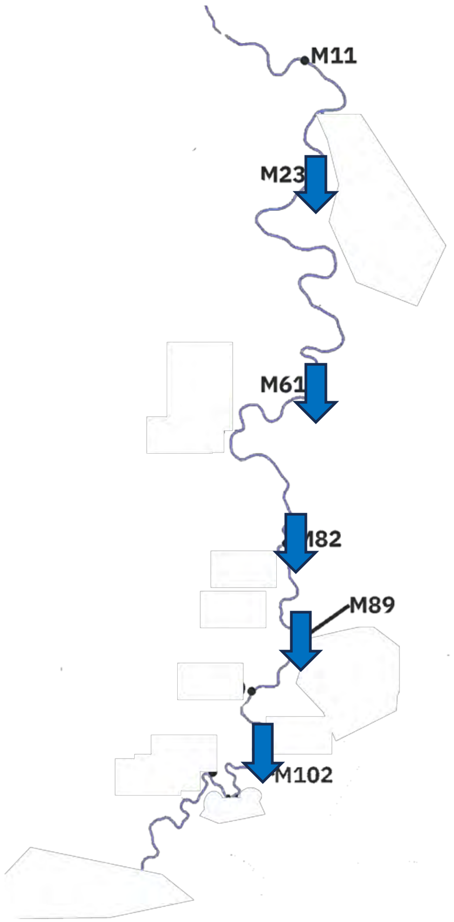
Results: Trends in the mainstem



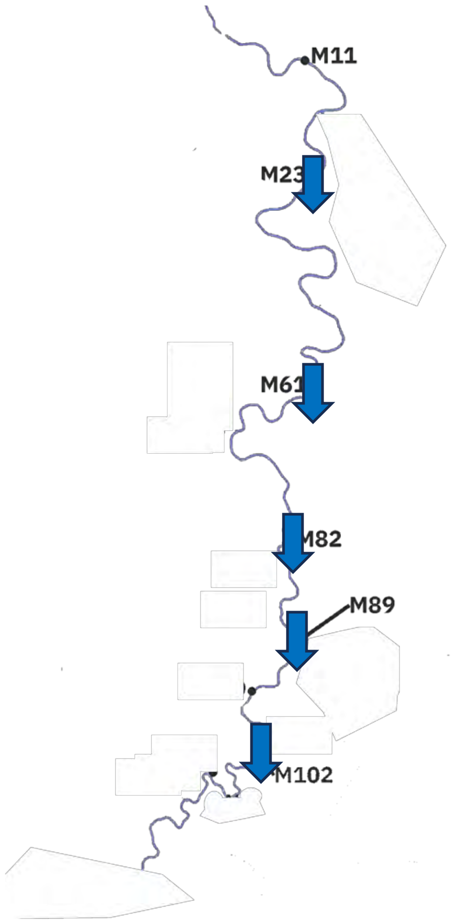
Cl



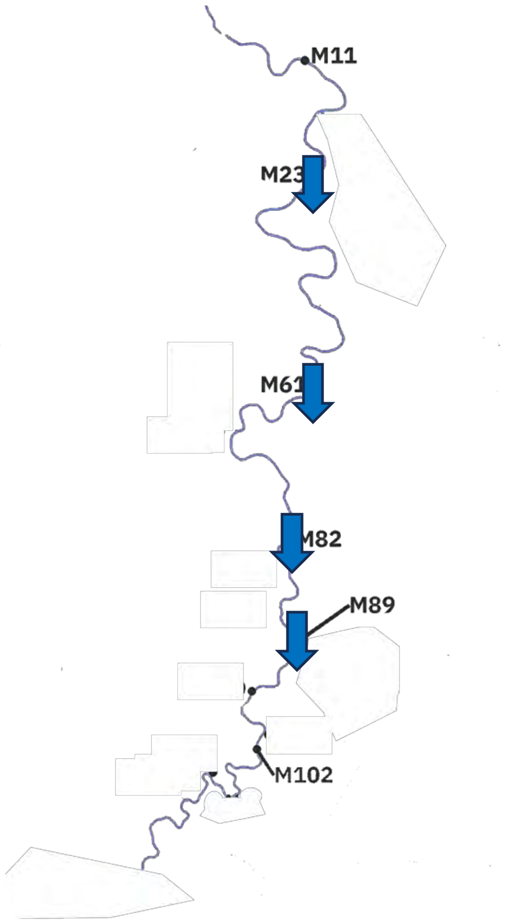
Na



TDS

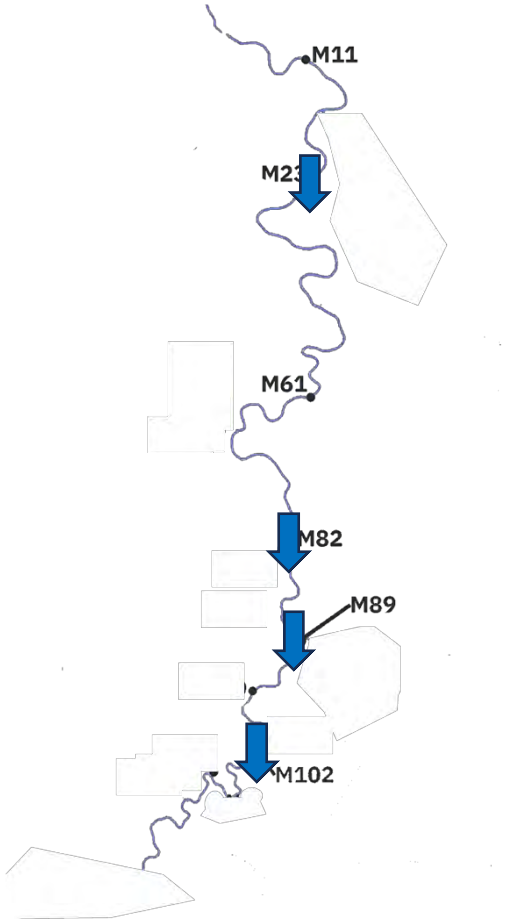


SO_4

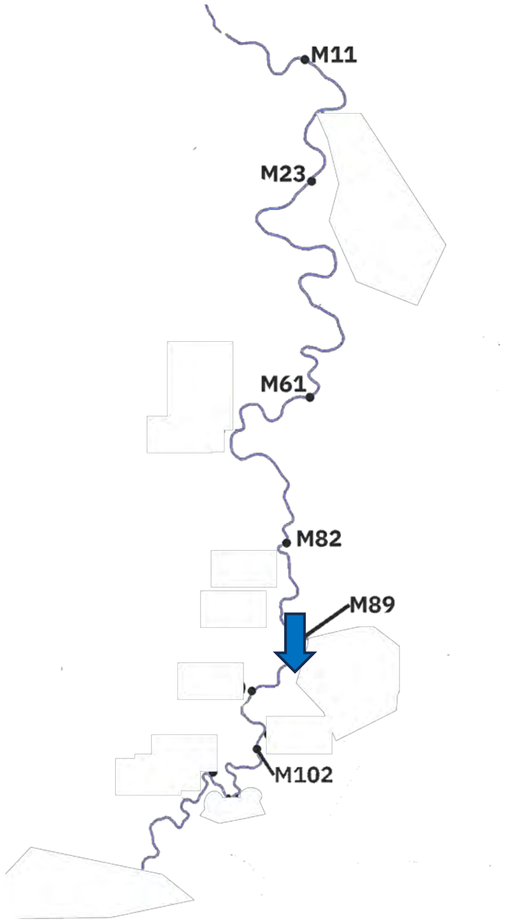


Mg

Results: Trends in the mainstem

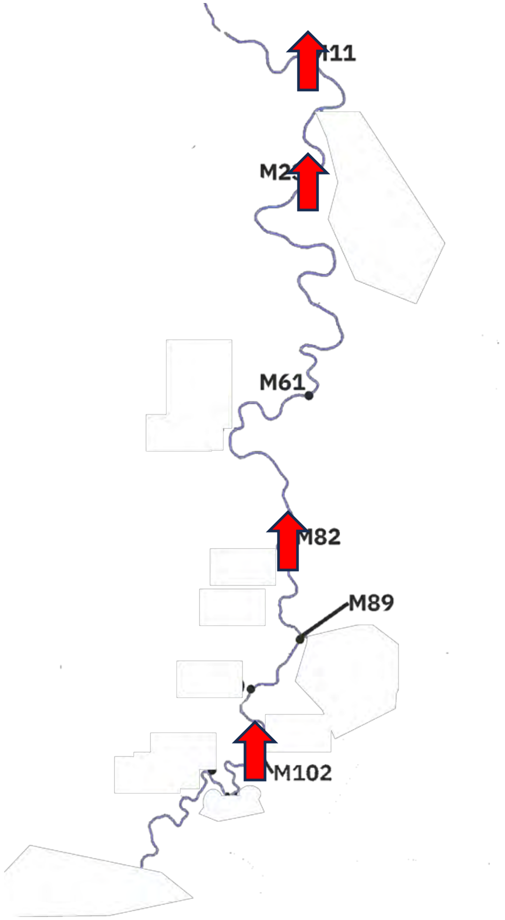


EC

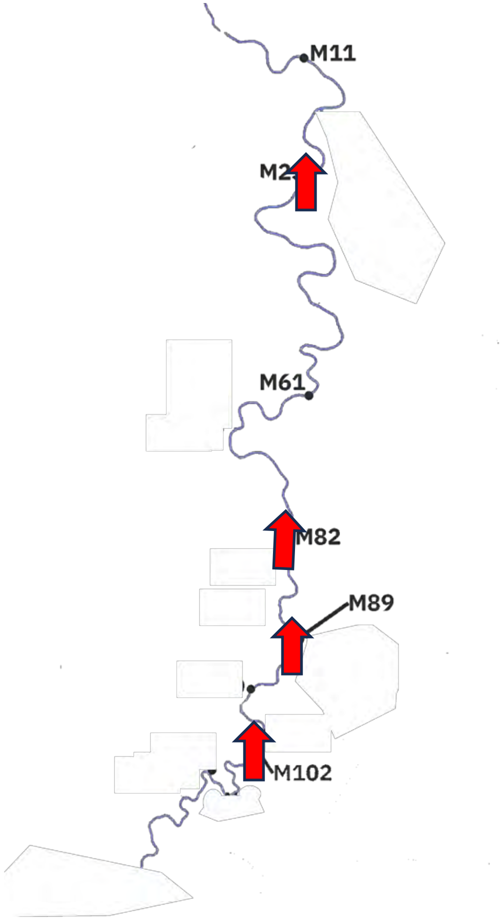


Mn

Results: Trends in the mainstem



pH



Alk.

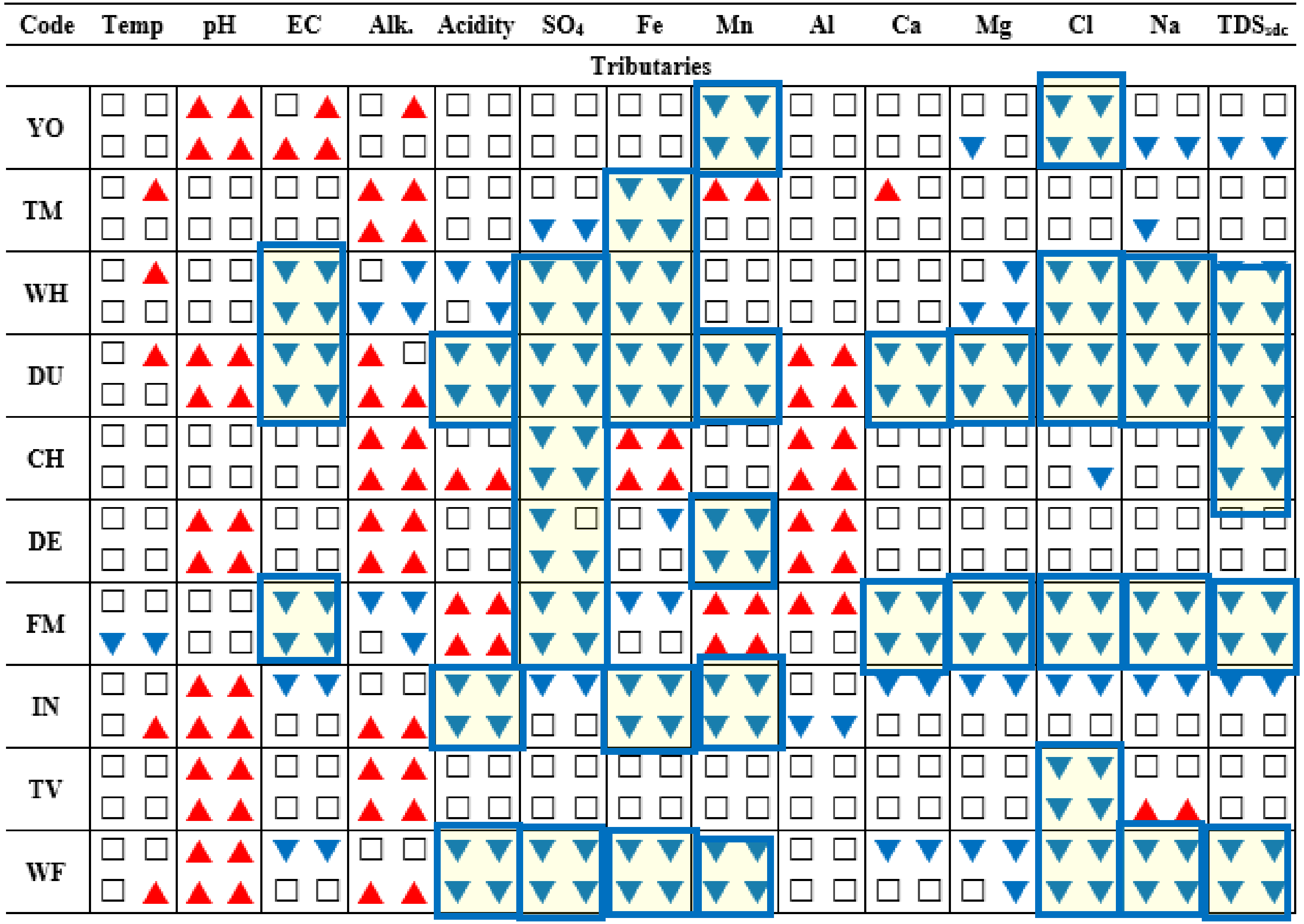
Results: Trends in the mainstem

- Few significant trends were observed for temperature, acidity, Fe, Mn, Al, and Ca

Acidity Fe Al

Results: Trends in the major tributaries

- Decreasing trends were observed for EC, Acidity, SO_4, Fe, Mn, Ca, Mg, Cl, Na, and TDS in several locations.



Results: Trends in the major tributaries

- Decreasing trends were observed for EC, Acidity, SO_4, Fe, Mn, Ca, Mg, Cl, Na, and TDS in several locations.
- Increasing trends were observed for pH, alkalinity, and Al for several locations.

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Tributaries														
YO	□ □	▲ ▲	□ ▲	□ ▲	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □	▼ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
TM	□ ▲	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ □	□ □
WH	□ ▲	□ □	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
DU	□ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
CH	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼
	□ □	□ □	□ □	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ ▼	□ □	▼ ▼
DE	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ □	□ ▼	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
FM	□ □	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▲ ▲	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	▼ ▼	□ □	▼ ▼	□ ▼	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▲ ▲	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
IN	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
TV	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	□ □	□ □
	□ □	▲ ▲	□ □	▲ ▲	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	▼ ▼	▲ ▲	□ □
WF	□ □	▲ ▲	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼
	□ ▲	▲ ▲	□ □	▲ ▲	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼	□ □	□ □	□ ▼	▼ ▼	▼ ▼	▼ ▼

Results: Trends in the major tributaries

- Decreasing trends were observed for EC, Acidity, SO_4, Fe, Mn, Ca, Mg, Cl, Na, and TDS in several locations.
- Increasing trends were observed for pH, alkalinity, and Al for several locations.
- The fewest significant trends were observed at TM and TV.

Code	Temp	pH	EC	Alk.	Acidity	SO_4	Fe	Mn	Al	Ca	Mg	Cl	Na	TDS_{sdc}
Tributaries														
YO	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ ▲ ▲ ▲	□ ▲ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ ▼ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼
TM	□ ▲ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ □ □	□ □ □ □	▲ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ ▼ □	□ □ □ □
WH	□ ▲ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
DU	□ ▲ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▲ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
CH	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼
DE	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▼ □ ▼ ▼	□ ▼ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □
FM	□ □ ▼ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ ▼	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	▲ ▲ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼
IN	□ □ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ □ □	□ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▼ ▼	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ □
TV	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	▲ ▲ ▲ ▲	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ ▲ ▲	□ □ □ □
WF	□ □ □ ▲	▲ ▲ ▲ ▲	▼ ▼ □ □	□ □ ▲ ▲	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	□ □ □ □	▼ ▼ □ □	▼ ▼ □ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼	▼ ▼ ▼ ▼

Long-term trends in the Monongahela River basin

- We identified decreasing trends in sulfate and TDS among 83% of the mainstem locations regardless of statistical test, supporting the change in “impaired” status.
- Most of the trends that we observed in the main stem were the same for TDS, chloride, and sulfate regardless of adjusting for discharge or seasonal effects.
- Our trends in TDS support previous work.
- This study only evaluated gradual trends over time using a trend analysis approach.

Conclusions

- Overall, trends in AMD signals in the mainstem either showed no trend or were improving.
- Of the six mainstem sampling locations, widespread decreasing trends in total dissolved solids, sulfate, Cl, and Na were observed, regardless of adjusting for discharge or season; similarly, increasing trends or no trends in pH were observed at all sampling sites.
- Water quality gains are likely related to the voluntary management plan that was implemented by the coal industry.
- This independent monitoring through 3RQ is important to communicate the impacts as well as plan for future water management.

Acknowledgements

USGS
science for a changing world

3RQ
THREE RIVERS QUEST

Colcom Foundation

WEST VIRGINIA
WATER RESEARCH INSTITUTE

West Virginia University
BENJAMIN M. STATLER COLLEGE OF
ENGINEERING AND MINERAL RESOURCES

Questions?