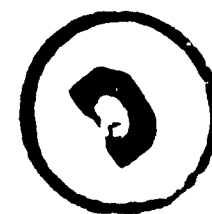


407

The New Migration Era

1967 - December

Vol. 18 - Issue 4.



3L  
D2m211, N47  
N67. P. 4.  
98844.

2776

IRRIGATION BRANCH, P.W.D.,  
MADRAS.

# NEW IRRIGATION ERA

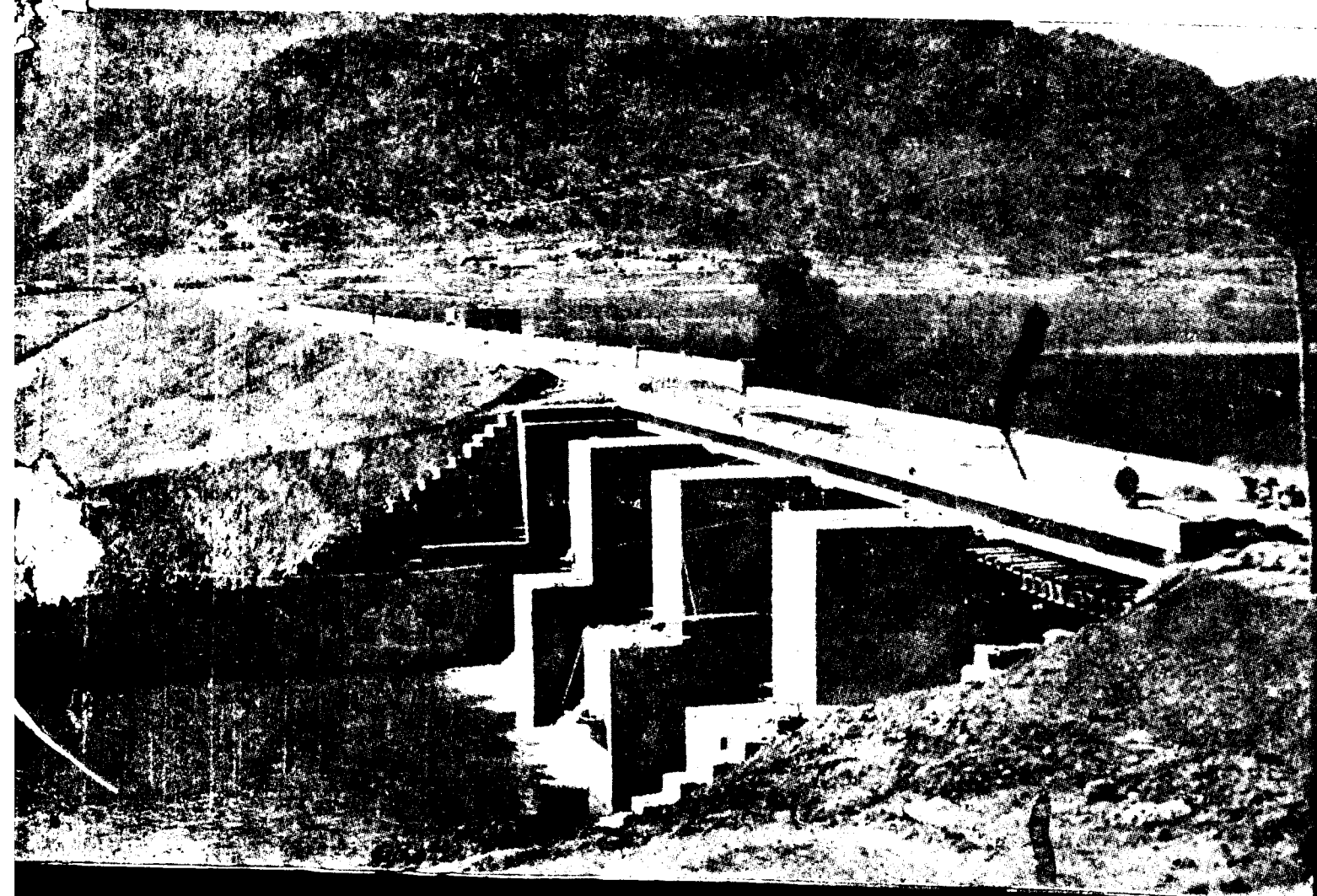
VOLUME X

DECEMBER 1967

ISSUE 4

407

MANJALAR RESERVOIR, PERIYAKULAM



# COMMISSIONING OF THE PARAMBIKULAM-ALIYAR PROJECT WORKS



Dr. K. L. RAO, UNION MINISTER FOR IRRIGATION AND POWER, ADDRESSING THE GATHERING AFTER COMMISSIONING THE TUNAKADAVU RESERVOIR AND SARKARPATHI TUNNEL



A PORTION OF THE AUDIENCE

## THE NEW IRRIGATION ERA

Published by the Irrigation Branch of the Public Works Department, Madras-5, South India.

(For departmental circulation only)

Vol. X

DECEMBER 1967

No. 4

### DESIGN OF IRRIGATION WORKS IN METRIC UNITS—

PAGES

By Thiru P. S. Nagendriah, B.E., A.M.I.E., Assistant Engineer, P.W.D., Metric Cell Unit, Madras-5.

3—7

### ECONOMICS OF IRRIGATION—

By Thiru P. V. Rajkumar, M.A., M.Litt., Professor of Economics, Presidency College, Madras-5.

8—10

### HYDRAULIC AND IRRIGATION FORMULAE IN METRIC UNITS—

By Codes Division, P.W.D., Madras-5

11—33

### NEWS FROM ABROAD—

Earthfill dam resort washout

34

Electrically prestressed concrete piles

34

### NEWS ROUND UP—

35—36

### புதுயுகப் பாசனம்—

மஞ்சளாறு நீர்த்தேக்கத் திட்டம்.

37—39

தமிழகத்தில் நீர்ப் பாசனம்.

40—44

The Editor or Madras Public Works Department accepts no responsibility for the views expressed by the authors.



# DESIGN OF IRRIGATION WORKS IN METRIC SYSTEM

BY

\* THIRU P. S. NAGENDRIAH, B.E., A.M.I.E.,

In the Madras Public Works Department, the design of irrigation works is mainly based on the rules, formulae and tables given in the Manual on Irrigation by Ellis. Since the Manual is in FPS system, it is now proposed to enumerate the rules, formulae and tables given in the Manual in metric system as it will be useful in the design of irrigation works in metric system.

The order of the subject is taken as given in the Manual.

## 1. Water-supplies required for Irrigation—

Duty of water—Expressed in Hectares per cumecs.

The flow averaging one cubic metre per second is called a cumec. Duty is the number of hectares of cultivation of any kind irrigated by a flow of one cumec for the whole crop season.

Duty in terms of depth of water over the area:

Duty is also expressed in terms of the depth of water in metres over the irrigated area.

Relation between different expressions for duty of water.

1 cumec flowing for one day  
= .0864 million cumecs.  
= 8.64 Hectare metre.  
1 Hectare = 10,000 sq. metres.  
1 million cubic } = 100 Hectare metre.  
metre. }  
= 11.574 cumecs flowing  
for one day.

If  $d$  is duty in hectares/cumec,  $\Delta$  is equivalent depth of water in metres and  $B$  is the base period in days.

$$\text{then } d = \frac{8.64 B}{\Delta}$$

Proof—

Let  $A$  be the area in Hectares

Total volume of water required =  $A \Delta$  hectare metres.

Since  $d$  is the duty, the flow required is

$$\frac{A}{d} \text{ cumecs.}$$

Total volume that will flow in the base period

$$= B \times 24 \times 60 \times 60 \times \frac{A}{d} \text{ cubic metre}$$

$$= 8.64 \frac{B A}{d} \text{ Hectare metre}$$

$$A \Delta = 8.64 \frac{B A}{d}$$

$$\therefore \Delta = \frac{8.64 B}{d}$$

## 2. Water-supplies available for Irrigation—

The Strange's table is suitable for estimating run off from rainfall in the plains in South India.

\* Assistant Engineer, P.W.D., Metric Cell Unit, Chepauk, Madras-5.

TABLE OF TOTAL MONSOON RAINFALL AND ESTIMATED RUNOFF AND YIELD PER SQUARE KILOMETRE FROM CATCHMENT AREAS.

| Total monsoon rainfall in cms. | Good catchment.                   |                                         |                                                                    | Average catchment.                |                                         |                                                                    | Bad catchment.                    |                                         |                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                | Percentage of runoff to rainfall. | Depth of runoff due to rainfall in cms. | Yield of runoff from catchment per sq. kilometre in hectare metre. | Percentage of runoff to rainfall. | Depth of runoff due to rainfall in cms. | Yield of runoff from catchment per sq. kilometre in hectare metre. | Percentage of runoff to rainfall. | Depth of runoff due to rainfall in cms. | Yield of runoff from catchment per sq. kilometre in hectare metre. |
| (1)                            | (2)                               | (3)                                     | (4)                                                                | (5)                               | (6)                                     | (7)                                                                | (8)                               | (9)                                     | (10)                                                               |
| 2.5                            | 0.1                               | 0.0025                                  | 0.0025                                                             | 0.1                               | 0.0025                                  | 0.0025                                                             | 0.05                              | 0.00125                                 | 0.00125                                                            |
| 5.0                            | 0.2                               | 0.01                                    | 0.01                                                               | 0.15                              | 0.0075                                  | 0.0075                                                             | 0.10                              | 0.005                                   | 0.005                                                              |
| 7.5                            | 0.4                               | 0.03                                    | 0.03                                                               | 0.3                               | 0.0225                                  | 0.0225                                                             | 0.20                              | 0.015                                   | 0.015                                                              |
| 10.0                           | 0.7                               | 0.07                                    | 0.07                                                               | 0.5                               | 0.05                                    | 0.05                                                               | 0.30                              | 0.03                                    | 0.03                                                               |
| 12.5                           | 1.0                               | 0.125                                   | 0.125                                                              | 0.7                               | 0.0875                                  | 0.0875                                                             | 0.5                               | 0.0625                                  | 0.0625                                                             |
| 15.0                           | 1.5                               | 0.225                                   | 0.225                                                              | 1.1                               | 0.165                                   | 0.165                                                              | 0.7                               | 0.105                                   | 0.105                                                              |
| 17.5                           | 2.1                               | 0.3675                                  | 0.3675                                                             | 1.5                               | 0.2625                                  | 0.2625                                                             | 1.0                               | 0.175                                   | 0.175                                                              |
| 20.0                           | 2.8                               | 0.56                                    | 0.56                                                               | 2.1                               | 0.42                                    | 0.42                                                               | 1.4                               | 0.28                                    | 0.28                                                               |
| 22.5                           | 3.5                               | 0.7875                                  | 0.7875                                                             | 2.6                               | 0.585                                   | 0.585                                                              | 1.7                               | 0.3825                                  | 0.3825                                                             |
| 25.0                           | 4.3                               | 1.075                                   | 1.075                                                              | 3.2                               | 0.800                                   | 0.800                                                              | 2.1                               | 0.525                                   | 0.525                                                              |
| 27.5                           | 5.2                               | 1.43                                    | 1.43                                                               | 3.9                               | 1.0725                                  | 1.0725                                                             | 2.6                               | 0.715                                   | 0.715                                                              |
| 30.0                           | 6.2                               | 1.86                                    | 1.86                                                               | 4.6                               | 1.380                                   | 1.380                                                              | 3.1                               | 0.93                                    | 0.93                                                               |
| 32.5                           | 7.2                               | 2.34                                    | 2.34                                                               | 5.4                               | 1.755                                   | 1.755                                                              | 3.6                               | 1.17                                    | 1.17                                                               |
| 35.0                           | 8.3                               | 2.90                                    | 2.90                                                               | 6.2                               | 2.170                                   | 2.170                                                              | 4.1                               | 1.435                                   | 1.435                                                              |
| 37.5                           | 9.4                               | 3.525                                   | 3.525                                                              | 7.0                               | 2.625                                   | 2.625                                                              | 4.7                               | 1.762                                   | 1.762                                                              |
| 40.0                           | 10.5                              | 4.20                                    | 4.20                                                               | 7.8                               | 3.120                                   | 3.120                                                              | 5.2                               | 2.08                                    | 2.08                                                               |
| 42.5                           | 11.6                              | 4.93                                    | 4.93                                                               | 8.7                               | 3.6975                                  | 3.6975                                                             | 5.8                               | 2.47                                    | 2.47                                                               |
| 45.0                           | 12.8                              | 5.76                                    | 5.76                                                               | 9.6                               | 4.32                                    | 4.32                                                               | 6.4                               | 2.88                                    | 2.88                                                               |
| 47.5                           | 13.9                              | 6.60                                    | 6.60                                                               | 10.4                              | 4.94                                    | 4.94                                                               | 6.9                               | 3.277                                   | 3.277                                                              |
| 50.0                           | 15.0                              | 7.50                                    | 7.50                                                               | 11.25                             | 5.625                                   | 5.625                                                              | 7.5                               | 3.75                                    | 3.75                                                               |
| 52.5                           | 16.1                              | 8.45                                    | 8.45                                                               | 12.0                              | 6.30                                    | 6.30                                                               | 8.0                               | 4.20                                    | 4.20                                                               |
| 55.0                           | 17.3                              | 9.51                                    | 9.51                                                               | 12.9                              | 7.095                                   | 7.095                                                              | 8.6                               | 4.73                                    | 4.73                                                               |
| 57.5                           | 18.4                              | 10.58                                   | 10.58                                                              | 13.8                              | 7.93                                    | 7.93                                                               | 9.2                               | 5.29                                    | 5.29                                                               |
| 60.0                           | 19.5                              | 11.70                                   | 11.70                                                              | 14.6                              | 8.76                                    | 8.76                                                               | 9.7                               | 5.82                                    | 5.82                                                               |
| 62.5                           | 20.6                              | 12.87                                   | 12.87                                                              | 15.4                              | 9.625                                   | 9.625                                                              | 10.3                              | 6.4375                                  | 6.4375                                                             |
| 65.0                           | 21.8                              | 14.17                                   | 14.17                                                              | 16.3                              | 10.595                                  | 10.595                                                             | 10.9                              | 7.085                                   | 7.085                                                              |
| 67.5                           | 22.9                              | 15.46                                   | 15.46                                                              | 17.1                              | 11.543                                  | 11.543                                                             | 11.4                              | 7.695                                   | 7.695                                                              |
| 70.0                           | 24.0                              | 16.80                                   | 16.80                                                              | 18.0                              | 12.60                                   | 12.60                                                              | 12.0                              | 8.40                                    | 8.40                                                               |
| 72.5                           | 25.1                              | 18.197                                  | 18.197                                                             | 18.8                              | 13.63                                   | 13.63                                                              | 12.5                              | 9.0625                                  | 9.0625                                                             |
| 75.0                           | 26.3                              | 19.725                                  | 19.725                                                             | 19.7                              | 14.775                                  | 14.775                                                             | 13.1                              | 9.825                                   | 9.825                                                              |
| 77.5                           | 27.4                              | 21.195                                  | 21.195                                                             | 20.5                              | 15.895                                  | 15.875                                                             | 13.7                              | 10.617                                  | 10.617                                                             |
| 80.0                           | 28.5                              | 22.80                                   | 22.80                                                              | 21.3                              | 17.04                                   | 17.04                                                              | 14.2                              | 11.40                                   | 11.40                                                              |
| 82.5                           | 29.6                              | 24.42                                   | 24.42                                                              | 22.2                              | 18.31                                   | 18.31                                                              | 14.8                              | 12.21                                   | 12.21                                                              |

TABLE OF TOTAL MONSOON RAINFALL AND ESTIMATED RUNOFF AND YIELD PER SQUARE KILOMETRE FROM CATCHMENT AREAS—cont.

| Total monsoon rainfall in cms. | Good catchment.                   |                                         |                                                                    | Average catchment.                |                                         |                                                                    | Bad catchment.                    |                                         |                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                | Percentage of runoff to rainfall. | Depth of runoff due to rainfall in cms. | Yield of runoff from catchment per sq. kilometre in hectare metre. | Percentage of runoff to rainfall. | Depth of runoff due to rainfall in cms. | Yield of runoff from catchment per sq. kilometre in hectare metre. | Percentage of runoff to rainfall. | Depth of runoff due to rainfall in cms. | Yield of runoff from catchment per sq. kilometre in hectare metre. |
| (1)                            | (2)                               | (3)                                     | (4)                                                                | (5)                               | (6)                                     | (7)                                                                | (8)                               | (9)                                     | (10)                                                               |
| 85.0                           | 30.8                              | 26.18                                   | 26.18                                                              | 23.1                              | 19.63                                   | 19.63                                                              | 15.4                              | 13.09                                   | 13.09                                                              |
| 87.5                           | 31.9                              | 27.91                                   | 27.91                                                              | 23.90                             | 20.91                                   | 20.91                                                              | 15.9                              | 13.9125                                 | 13.9125                                                            |
| 90.0                           | 33.0                              | 29.70                                   | 29.70                                                              | 24.7                              | 22.23                                   | 22.23                                                              | 16.5                              | 14.85                                   | 14.85                                                              |
| 92.5                           | 34.1                              | 31.542                                  | 31.542                                                             | 25.5                              | 23.58                                   | 23.58                                                              | 17.0                              | 15.725                                  | 15.725                                                             |
| 95.0                           | 35.3                              | 33.535                                  | 33.535                                                             | 26.4                              | 25.08                                   | 25.08                                                              | 17.6                              | 16.72                                   | 16.72                                                              |
| 97.5                           | 36.4                              | 35.49                                   | 35.49                                                              | 27.3                              | 26.617                                  | 26.617                                                             | 18.2                              | 17.745                                  | 17.745                                                             |
| 100.0                          | 37.5                              | 37.50                                   | 37.50                                                              | 28.1                              | 28.10                                   | 28.10                                                              | 18.7                              | 18.70                                   | 18.70                                                              |
| 102.5                          | 38.6                              | 39.565                                  | 39.565                                                             | 28.9                              | 29.622                                  | 29.622                                                             | 19.3                              | 19.782                                  | 19.782                                                             |
| 105.0                          | 39.8                              | 41.79                                   | 41.79                                                              | 29.8                              | 31.29                                   | 31.29                                                              | 19.9                              | 20.895                                  | 20.895                                                             |
| 107.5                          | 40.9                              | 43.967                                  | 43.967                                                             | 30.6                              | 32.895                                  | 32.895                                                             | 20.4                              | 21.93                                   | 21.93                                                              |
| 110.0                          | 42.0                              | 46.20                                   | 46.20                                                              | 31.50                             | 34.65                                   | 34.65                                                              | 21.0                              | 23.10                                   | 23.10                                                              |
| 112.5                          | 43.1                              | 48.487                                  | 48.487                                                             | 32.3                              | 36.337                                  | 36.337                                                             | 21.5                              | 24.1875                                 | 24.187                                                             |
| 115.0                          | 44.3                              | 50.945                                  | 50.945                                                             | 33.2                              | 38.18                                   | 38.18                                                              | 22.1                              | 25.415                                  | 25.415                                                             |
| 117.5                          | 45.4                              | 53.345                                  | 53.345                                                             | 34.0                              | 39.95                                   | 39.95                                                              | 22.7                              | 26.67                                   | 26.67                                                              |
| 120.0                          | 46.5                              | 55.80                                   | 55.80                                                              | 34.8                              | 41.76                                   | 41.76                                                              | 23.2                              | 27.84                                   | 27.84                                                              |
| 122.5                          | 47.6                              | 58.31                                   | 58.31                                                              | 35.7                              | 43.732                                  | 43.732                                                             | 23.8                              | 28.15                                   | 28.15                                                              |
| 125.0                          | 48.8                              | 61.00                                   | 61.00                                                              | 36.6                              | 45.75                                   | 45.75                                                              | 24.4                              | 30.50                                   | 30.50                                                              |
| 127.5                          | 49.9                              | 63.62                                   | 63.62                                                              | 37.4                              | 47.685                                  | 47.685                                                             | 24.9                              | 31.74                                   | 31.74                                                              |
| 130.0                          | 51.0                              | 66.30                                   | 66.30                                                              | 38.2                              | 49.66                                   | 49.66                                                              | 25.5                              | 33.15                                   | 33.15                                                              |
| 132.5                          | 52.1                              | 69.032                                  | 69.03                                                              | 39.0                              | 51.675                                  | 51.675                                                             | 26.0                              | 34.45                                   | 34.45                                                              |
| 135.0                          | 53.3                              | 71.955                                  | 71.95                                                              | 39.9                              | 53.865                                  | 53.865                                                             | 26.6                              | 35.91                                   | 35.91                                                              |
| 137.5                          | 54.4                              | 74.80                                   | 74.80                                                              | 40.8                              | 56.10                                   | 56.10                                                              | 27.2                              | 37.40                                   | 37.40                                                              |
| 140.00                         | 55.5                              | 77.70                                   | 77.70                                                              | 41.6                              | 58.24                                   | 58.24                                                              | 27.7                              | 38.78                                   | 38.78                                                              |
| 142.5                          | 56.6                              | 80.655                                  | 80.655                                                             | 42.4                              | 60.42                                   | 60.42                                                              | 28.3                              | 40.32                                   | 40.32                                                              |
| 145.0                          | 57.8                              | 83.81                                   | 83.81                                                              | 43.3                              | 62.78                                   | 62.78                                                              | 28.9                              | 41.90                                   | 41.90                                                              |
| 147.5                          | 58.9                              | 86.877                                  | 86.877                                                             | 44.4                              | 65.49                                   | 65.49                                                              | 29.4                              | 43.36                                   | 43.36                                                              |
| 150.0                          | 60.0                              | 90.00                                   | 90.00                                                              | 45.0                              | 67.50                                   | 67.50                                                              | 30.0                              | 45.00                                   | 45.00                                                              |

Estimating runoff from total monsoon rainfall.

In estimating the runoff available from a catchment, the actual rainfall of successive years and not the mean rainfall, should form

the basis of computation. But when a sufficient number of year's annual rainfall is not available, the yield of 2/3 or 3/4 mean rainfall may be taken as the basis for computing the runoff.

**3. Flood discharge—**

The two formulae generally used in South India for computing the maximum flood discharge are those of Dickens and Ryves and are both in the general form  $Q=CM^P$

Where  $Q$  is the maximum flood discharge in cumecs.

$M$  is the area of catchment in square kilometres.

$P$  is the power less than unity and

$C$  is the coefficient fixed with reference to the nature of the catchment and the intensity of recorded rainfall and any records of actual

floods in parts of the same or in similar catchments.

The formulae referred to are :

$$Q = CM^{\frac{2}{3}} \text{ — Ryves}$$

$$Q = CM^{\frac{1}{4}} \text{ — Dickens}$$

The coefficient  $C$  to be applied must be considered in each case on its merits. The following values of  $C$  will be suitable for adopting in the Ryve's Formula in Madras State.

$C=7.5$  in flat tracts along the coast.

$C=9.0$  in tracts with greater slope 25 to 160 kilometres from coast.

$C=10.5$  in limited areas near the hills.

Ryve's formula is that most generally used in South India.

TABLE OF FLOOD DISCHARGE IN CUMECs.

| Area in Square Kilometers. | Formula $Q = CM^{\frac{2}{3}}$ |          | $Q$ =Cumecs.           |           | $M$ =Square Kilometers. |           |          |           |           |
|----------------------------|--------------------------------|----------|------------------------|-----------|-------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|
|                            |                                |          | For the value of $C$ . |           |                         |           |          |           |           |
|                            | 3.00                           | 4.50     | 6.00                   | 7.50      | 9.00                    | 10.50     | 12.0     | 13.50     | 15.0      |
| (1)                        | (2)                            | (3)      | (4)                    | (5)       | (6)                     | (7)       | (8)      | (9)       | (10)      |
| 1.00                       | 3.00                           | 4.50     | 6.00                   | 7.50      | 9.00                    | 10.50     | 12.0     | 13.50     | 15.00     |
| 2.50                       | 5.53                           | 8.29     | 11.05                  | 13.81     | 16.58                   | 19.34     | 22.10    | 24.87     | 27.63     |
| 10.00                      | 13.92                          | 20.88    | 27.84                  | 34.80     | 41.76                   | 48.72     | 55.68    | 62.64     | 69.60     |
| 25.00                      | 25.65                          | 38.47    | 51.29                  | 64.12     | 76.94                   | 89.76     | 102.59   | 115.41    | 128.23    |
| 50.00                      | 40.71                          | 61.06    | 81.42                  | 101.77    | 122.12                  | 142.48    | 162.84   | 183.19    | 203.54    |
| 100.00                     | 64.62                          | 96.93    | 129.24                 | 161.55    | 193.86                  | 226.17    | 258.48   | 290.79    | 323.10    |
| 250.00                     | 119.04                         | 178.56   | 238.08                 | 297.60    | 357.12                  | 416.64    | 476.16   | 535.68    | 595.20    |
| 500.00                     | 188.99                         | 283.48   | 377.98                 | 472.47    | 566.96                  | 661.46    | 755.96   | 850.45    | 954.94    |
| 1,000.00                   | 300.00                         | 450.00   | 600.00                 | 750.00    | 900.00                  | 1,050.00  | 1,200.00 | 1,350.00  | 1,500.00  |
| 25,000.00                  | 2,564.70                       | 3,847.10 | 5,129.40               | 6,411.80  | 7,694.20                | 8,976.50  | 10,258.8 | 11,541.20 | 12,823.60 |
| 50,000.00                  | 4,071.00                       | 6,106.50 | 8,142.00               | 10,177.50 | 12,213.00               | 14,248.50 | 16,284.0 | 18,319.50 | 20,555.00 |
| 1,00,000.00                | 6,462.00                       | 9,693.00 | 12,924.00              | 16,155.00 | 19,386.00               | 22,617.00 | 25,848.0 | 29,079.00 | 34,310.00 |

**4. Design of canals—**

Kennedy's Formula for critical Velocity is

$$V_o = 0.5476 d^{0.64} \text{ where}$$

$$V_o = \text{velocity in metres/sec.}$$

$$\text{and } d = \text{depth in metres.}$$

| Depth in metres.                 | 0.25  | 0.5    | 1.0    | 1.5    | 2.0    | 2.5    | 3.0   | 3.5   | 4.0   | 4.5   | 5.0   |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Critical velocity in metres/sec. | 0.225 | 0.3506 | 0.5476 | 0.7099 | 0.8533 | 0.9845 | 1.106 | 1.221 | 1.329 | 1.434 | 1.534 |

Kennedy made no correlation between the water surface slope and the mean velocity or vertical depth. He assigned the slope to his channels by employing Kutter's equation.

The design of canals is also done by Lacey's Formulae, Lacey treated the Hydraulic mean depth as the fundamental variable and derived the following formulae :—

Lacey's Formulae :

Notations :

$V$  = Velocity of flow in metres per second.

$f$  = Lacey's silt factor  $1.76 \sqrt{md}$ .

Where  $md$  is the mean diameter of spheres equivalent to Oblate spheroidal particles of bed material in mm.

$R$  = Hydraulic Mean Depth in metres.

$A$  = Area of section in square metres.

$P$  = Wetted perimeter in metres.

$Q$  = Discharge in cubic metres.

$S$  = Slope of hydraulic gradient.

$N_a$  = absolute coefficient of rugosity.

$R_1$  = depth of scour in metres.

The following statement gives for various values of  $d$  in metres, the critical velocity  $V_o$  in metres/sec. obtained from the Kennedy's Formula :—

Formulae

$$V = 0.639 \sqrt{fR}$$

$$Af^2 = 141.24 V^5$$

$$P = 4.825 \sqrt{Q}$$

$$V = 10.8R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{3}}$$

$$V = \frac{3100 RS}{f}$$

$$S = \frac{f^{\frac{3}{2}}}{3316 Q^{\frac{1}{5}}}$$

$$S = \frac{f^{\frac{3}{2}}}{523 R^{\frac{1}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{523 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

$$S = \frac{3316 Q^{\frac{1}{5}}}{f^{\frac{3}{2}}}$$

The Table below gives trapezoidal sections with  $\frac{1}{2}$  : 1 side slopes and for silt factor of 0.9.

| Discharge in cumecs            | 300   | 200   | 100   | 50    | 25    | 10    | 5     | 1.0  | 0.25 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Wetted perimeter in metres     | 83.56 | 68.22 | 48.25 | 34.16 | 24.12 | 15.31 | 10.79 | 4.83 | 2.41 |
| Velocity in metres per second  | 1.07  | 1.04  | 0.92  | 0.82  | 0.74  | 0.63  | 0.53  | 0.44 | 0.35 |
| Hydraulic mean depth in metres | 3.34  | 2.93  | 2.30  | 1.83  | 1.48  | 1.09  | 0.92  | 0.52 | 0.34 |
| Breadth in metres              | 75.4  | 60.9  | 42.3  | 29.4  | 20.3  | 12.3  | 8.3   | 3.2  | 1.35 |
| Depth in metres                | 3.46  | 3.08  | 2.50  | 2.00  | 1.60  | 1.30  | 1.10  | 0.68 | 0.45 |
| Slope in cms. per kilometre    | 8     | 10    | 12    | 13    | 15    | 17    | 20    | 30   | 40   |

The operational significance of irrigation in India developmental effort derives from the fact that the average rainfall for most of India is inadequate and uneven and this consequently accounts for recurrent crop failures in many areas and desert conditions in a few regions. To be picturesque agriculture which is India's greatest Industry is "a gamble in monsoon", which has "all the proverbial caprice of an eastern potentate". Irrigation is the obvious means of making our agriculture relatively independent of the rains and of putting the agricultural economy of the nation on a more secure footing.

Irrigation has been practised in India since time immemorial. In the South, rainwater was stored in tanks of various sizes and in the North lift irrigation from wells and rivers provided the water. It was, however, during the British regime that extensive major irrigation works like diversion canals and storage dams were constructed by the State and irrigation facilities extended to vast areas. Although the area under irrigation is larger in India than in any other country, it constitutes only a fifth of the total cultivated area. Again the area irrigated by minor works, such as wells and tanks is still in excess of that irrigated by major works. A vigorous policy of constructing major irrigation works is being pursued by the Government of India since the First Five-Year Plan. Multi-purpose river-valley projects involving huge outlay are now constructed. Multi-purpose projects are so called because of the variety of purposes they fulfill. Apart from providing irrigation facilities the main benefits are control of floods, generation of hydro-electric power, development of inland navigation, soil conservation, afforestation, pisciculture, provision of drinking water and recreation facilities. A long range and lasting solution to the problems of food shortage and economic development lies in the speedy completion of multi-purpose river valley projects.

River valley projects are major public capital investments. The commonly accepted criterion

in free-market economics for evaluating investment projects is the estimated yield on capital investment. The higher the yield the greater is the productivity of investment. In India the conventional test of productivity in regard to irrigation and electricity schemes has been that there must be a return of at least 4.5 per cent on the investment within ten years of their completion. If the rate of return is less, it has to be seen whether it operates in a famine area and deserves some concession in view of the direct or indirect saving in famine relief expenditure or there has to be special pleading on wider social and political considerations. But according to the Planning Commission both during the First and Second Five-Year Plans a large number of irrigation projects did not satisfy the traditional yardstick of direct financial return to the Government. An analysis of such projects indicated that the financial return on full development of some 92 new irrigation projects under the Second plan might be of the order of 3.3 per cent, falling short by about 1.2 per cent in relation to the current productivity test of 4.5 per cent. The financial yield on investment capital is however, an unsatisfactory guide to investment decisions in public utilities. The financial yield depends largely on the pricing policies followed and it may be necessary from the social point of view to adopt price policies which result in curtailment of return on the capital invested. Again there are limitations in applying this criterion to investment decisions in under-developed economics. In a highly developed economy social productivity of an investment might more often approximate to its productivity from the point of view of the firm, that is, of the return on the capital. In that case, the price mechanism alone may be regarded as safe guide to investment. But in an under developed economy there is apt to be considerable divergence between private and social returns. The financial yield on invested capital measures only the former and hence might prove by itself an inadequate and even misleading criterion to go by in investment

\* Professor of Economics, Presidency College, Madras-5.

decisions. Hence it follows that there must be a set of suitable criteria which will provide a reasonably good measure of the social returns as well as from particular investments. The Planning Commission is well aware of this dimension of the problem and emphasized that in recent planning the financial yardstick has been used in practice to assist in the selection of projects inter se. So without the yardstick itself being regarded as a decisive criterion besides the direct financial return, these are indirect financial returns as well. Further, in any plan of economic development the impact of irrigation project on agricultural and general growth assumes a greater significance than productivity in a narrow financial source. In an economic assessment of an irrigation project it is proper to calculate the value of tangible benefits by tracing the primary, secondary and tertiary benefits or benefits of a further range. Such a comprehensive economic study of the irrigation projects could be more useful in the allocation of limited investible resources available.

In recent years a technique called "benefit-cost analysis" has been evolved to evaluate investment projects. Benefit-cost analysis is closely analogous to the methods used by businessmen to appraise investment projects. Economists nowadays contend that the benefits of government projects can be appraised objectively and even quantitatively by applying benefit-cost analysis. The major difference is that estimates of social value are used in places of estimates of sale value when appropriate. In fact benefit-cost analysis had its origin and highest development in the field of water resources.

The traditional yardstick of financial return measures financial feasibility while the benefit-cost criterion measures economic feasibility. The direct financial return may be symbolically represented by 'r' and the benefit-cost criterion by 'β'.

For the application of cost-benefit analysis there are atleast four possible criteria of investment, namely,

1.  $\beta = B - C$
2.  $\beta = (B - C)/I$

3.  $\beta = B/C$
4.  $\beta = \Delta B / \Delta C$

In the above notations β as mentioned earlier refers to benefit-cost criterion of project evaluation, 'ΔB' to benefits, 'C' to costs, 'ΔB' and 'C' to marginal benefits and marginal costs and 'I' to direct investment for the project. The result will be different with the adoption of each criteria mentioned above.

If we adopt 'B-C' and proceed to maximise it, the result will be that large projects would be favoured over small.

Regarding determination of scale of investment for each project it is laid down that the rule is the ratio of marginal benefit to marginal cost should be unity i.e.  $\frac{\Delta B}{\Delta C} = 1$ . It is not

however, a formula for selecting a project out of the many but a criterion for determining the size of the project that has already qualified for investment.

We are now left with two alternative criteria i.e. B/C and (B-C)/I. The latter is a formula for determining the total annual return on a particular investment to the economy as a whole irrespective of to whom these accrue. 'I' refers to only direct investment on a project and not the private or associated investments. As such an irrigation project with a higher (B-C)/I may actually be less beneficial to the economy than another while has a lower value. So the sub-committee on benefits and costs in the United States has recommended the formula of B/C in favour of others. A project with the highest value for B/C is obviously the one which would come best on the principle of maximising economic welfare. This principle is adopted in cost-benefit analysis in India in the Sarada Canal System.

For example in the case of Sarada Canal B/C = 2.61; (B-C)/I = 49.16 per cent on the basis of original capital cost, and 13.3 per cent on the basis of replacement cost of the canal and 'r' is 4.02 per cent.

In India pioneering work in this direction has been that of Professor Gadgil in a study of the economic effects of the Godavari and Pravara Canal System in the Bombay Deccan. Then at the instance of Planning Commission a number of investigations has been carried out in recent years with reference to major irrigation projects. Mention may be made of "Some Economic Aspects of the Bhakra Nangal Project" by Dr. K. N. Raj of the University of Delhi, "Economics of a Multipurpose River Dam (Hirakud Dam)" by N. V. Savani and N. Rath of the Gokhale Institute of Politics and Economics, "Benefit-cost Analysis of the Sarada Canal System" by Baljit Singh and S. Mishra of the Lucknow University, "Criterion for Fixation of Water-rates and Selection of Irrigation Projects" by the National Council of Applied Economics Research, "Evaluation of Damodar Canals" by S. K. Basu and S. B. Mukherjee of the University of Calcutta, and "Benefit-cost evaluation of Cauvery-Mettur Project" by K. S. Sonachalam of Annamalai University.

The evaluation of the costs and benefits of river valley projects belongs to one of the most difficult problems in both theoretical and applied economics. Despite a rapidly increasing literature on the subject there are shortcomings. The benefit-cost criterion has recently been the subject of a number of critical studies in the United States. In this context mention should be made of, "Water Resources Development; the Economics of Project Evaluation" by O. Eckstein, "Efficiency in Government Through System Analysis with emphasis on Water Resources Development" by R. N. McKean and the critical article "The Economic Evaluation of Federal Water Resource Development" by J. Mangalis in the American Economic Review, March 1959. A few economists doubt the accuracy and the usefulness of benefit-cost analysis. They question whether the most important social effects of Government investment can be appraised quantitatively by any formalised method. By the process of making the benefits of irrigation projects the subject of market valuations and assigning monetary values to them the benefit-cost ratios

would seem to have persistently under estimated both costs and benefits. "Indeed no amount of additional energy and ingenuity spent on attempts either to quantify and add together the tangible benefits (such as irrigation facilities, flood control, navigation and power) or to find monetary equivalent for the less tangible benefits and "external economics" (such as equalisation of economic and cultural opportunities through balanced regional development, public health, soil conservation, etc.), can alter the fact that we are confronted with social benefits and social costs which call for social judgments and social choices. One skeptical view cited in Brookings Research Report on "Measuring Benefits of Government Investments" compare this problem of measurement to the appraisal of a horse-and-rabbit stew, the rabbit being cast as the consequences that can be measured and evaluated numerically and the horse on the amalgam of external effects that can be adjudged only roughly and subjectively. Since the horse dominates the flavour of the stew, meticulous evaluation of the rabbit is hardly worthwhile.

The advocates of benefit-cost analysis recognise that their technique is largely an under-developed art and do realise that some significant consequence of public investment must elude the craft of the quantifier. Nevertheless in the field of water resources public decision have been made apparently more rational and consistent by submitting project proposals to the discipline of comparing measurable cost, with measurable benefits.

On account of these limitations benefit-cost criterion should not be regarded as a decisive criterion. It would however, serve as additional data for arriving at a decision with regard to a particular project. The traditional yardstick of financial return and the benefit-cost criterion should be taken into account together before a project is selected for execution and when the two are in conflict it may be desirable to give greater weightage to the latter. Evaluation of an irrigation project is a fascinating but a difficult task and we have to draw to consolation from the ancient Greek adage that beautiful things are difficult to get.

## HYDRAULICS AND IRRIGATION FORMULAE IN METRIC UNITS.

### INTRODUCTION.

Cumec = Cubic metre per second.  
 1 Hectare = 2.471 acres; 1 cusec = 0.028 cumec.  
 1 Hectare = 10,000 sq. metres or 0.01 sq. km.  
 1 Hectare/cumec = 0.00997 acre/cusec.

1 Hectare metre = 8.108 acre feet.

1 Cumec flowing per day = 0.0864 million cubic metre.  
 = 8.64 Hectare metre.

1 M. cubic metre = 11.574 cumecs flowing per day.

### FORMULAE USED IN IRRIGATION ENGINEERING AND HYDRAULICS.

| Serial number and description.              | Formulae in F.P.S. Units.                                                                                                                                                                                                                                                      | Formulae in Metric Units (Exact equivalent).                                                                                                                                                                                                                                           | Remarks. |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (1)                                         | (2)                                                                                                                                                                                                                                                                            | (3)                                                                                                                                                                                                                                                                                    | (4)      |
| 1 Flood discharges—<br>(a) Dicken's formula | $Q = CM^{\frac{2}{3}}$<br>$Q = \text{Maximum discharge in cusecs.}$<br>$M = \text{catchment area in sq. miles}$<br>$C = \text{constant depending on the nature of the area.}$                                                                                                  | $Q = CM^{\frac{2}{3}}$<br>$Q = \text{Maximum discharge in cumecs.}$<br>$M = \text{Catchment area in square kilometres.}$<br>$C = \text{Constant depending on the nature of the area (or) } C = 11.45 \text{ for areas of annual rainfall of 610 mm. to 1,270 mm.}$                     | ....     |
| (b) Ryves formula                           | $Q = CM^{\frac{2}{3}}$<br>$Q = \text{Maximum discharge in cusecs.}$<br>$M = \text{area in sq. miles}$                                                                                                                                                                          | $Q = CM^{\frac{2}{3}}$<br>$Q = \text{Maximum discharge in cumecs.}$<br>$M = \text{Catchment area in sq. kilo metres.}$<br>$C = \text{Constant depending upon the nature of area (Normally the value of } C \text{ will vary from 6.76 to 40.60).}$                                     | ....     |
| 2 Formula of Kresnik                        | $Q_{\text{max.}} = \frac{0.31 + \sqrt{A}}{0.5 + \sqrt{A}}$<br>$Q_{\text{max.}} = \text{Maximum run off in cusecs.}$<br>$A = \text{drainage area in sq. miles.}$<br>$C = \text{Co-efficient having a value of about 0.02 for flat valley lands and 0.1 to 0.2 for the slopes.}$ | $Q_{\text{max.}} = \frac{0.32 + \sqrt{A}}{0.5 + \sqrt{A}}$<br>$Q_{\text{max.}} = \text{Maximum run off in cumecs.}$<br>$A = \text{drainage area in a sq. kilo metres.}$<br>$C = \text{co-efficient having a value of about 0.02 for flat valley lands and 0.1 to 0.2 for the slopes.}$ | ....     |

| Serial number and description.                       | Formulæ in F.P.S. Units. | Formulæ in Metric Units (Exact equivalent).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Remarks. |
|------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (1)                                                  | (2)                      | (3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | (4)      |
| 3 Flood discharge—<br>Craig's formula :              | ....                     | $Q = 25.4 \text{ PVB Log}_e 4.97 L^2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ....     |
| 4 Inglis formula :                                   | ....                     | $P = A \text{ co-efficient } 0.12 \text{ to } 0.18.$ $V = \text{Mean velocity of flood flow in m/sec. at site.}$ $B = \text{Average width of strip in km.}$ $L = \text{Length of strip in km.}$ $\text{For fan shaped catchment}$ $Q = 123.2 \sqrt{A}$ $\text{For normal single catchment}$ $Q = 123.2 \sqrt{A} - 2.62 (A - 249)$ $\text{For small and large catchment}$ $Q = 123.2A$ $\sqrt{A + 10.36}$ $A = \text{flood discharge in cumec.}$ $A = \text{catchment area in sq. km.}$ | ....     |
| 5 Ali Nawaz Jung's formula :                         | ....                     | $Q = C \left\{ \frac{A}{2.59} \right\} (0.993 - \frac{1}{2} \log A)$ $Q = \text{flood discharge in cumec;}$ $A = \text{catchment area in sq. km.}$ $C = \text{co-efficient } 48.1 \text{ to } 59.5.$                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ....     |
| 6 Hyderabad Formula for Tungabhadra.                 | ....                     | $Q = 49.6 \left\{ \frac{A}{2.59} \right\} (0.988 - \frac{1}{15} \log A)$ $A = \text{Catchment area in sq. km.}$ $Q = \text{flood discharge in cum./sec.}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ....     |
| 7 Madras Formula for Tungabhadra.                    | ....                     | $Q = 56.64 \left( \frac{A}{2.59} \right) (0.9534 - \frac{1}{15} \log A)$ $Q = \text{flood discharge in cum./sec.}$ $A = \text{catchment area in sq. km.}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ....     |
| 8 Intensity of Rainfall—<br>Prof. Talbot's formula : | ....                     | $\text{For ordinary downpour}$ $i = \frac{2667}{t + 15}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ....     |

# 6 Run-off formula — Lacey's formula

....

$$R = \frac{P}{1 + \frac{3048 F}{P^8}}$$

R = monsoon run off in mm.  
P = monsoon rainfall in mm.  
S = Catchment area factor.  
F = Monsoon duration factor.

Values of S and F are as under :—  
Value of S.

Flat partly cultivated 0.25  
black cotton soil.  
Flat cultivated various soils. 0.60  
Average .. 1.00  
Hills and places with cultivation. 1.70  
Very hilly and steep with hardly any cultivation. 3.45

Class of monsoon. Value of F.

Very short .. 0.50  
Standard length .. 1.00  
Very long .. 1.50

# 10 Inglis formula's

....

For Ghat catchments—  
R = 0.85 P — 304.8.  
R = run-off in mm.  
P = rainfall in mm.  
For non-Ghat catchments—  
(P — 177.8) × P

R =  $\frac{2540}{P}$   
R = run-off in mm.  
P = rainfall in mm.

| Serial number and description.                                                                                               | Formulæ in F.P.S. Units.                                                                                                                                                                          | Formulæ in Metric Units (Exact equivalent).                                                                                                                                                                                                                                                                    | Remarks. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (1)                                                                                                                          | (2)                                                                                                                                                                                               | (3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | (4)      |
| 11 Khosla's formula—                                                                                                         | ....                                                                                                                                                                                              | $R = P - 4.811 T$<br>$R$ = run-off in mm.<br>$P$ = annual rainfall in mm.<br>$T$ = mean temperature in C°                                                                                                                                                                                                      | ....     |
| 12 Wave Height—<br>Molitor's formula for wave height.                                                                        | $hw = 0.17 \sqrt{VF} + 2.5 - \sqrt[4]{F}$<br>$hw$ = Wave ht. in ft.<br>$V$ = wind velocity in miles per h.<br>$F$ = 'Fetch' or straight length of water subject to wind section in statute miles. | $hw = 0.032 \sqrt{VF} + 0.76 - 0.271 \sqrt[4]{F}$<br>$hw$ = ht. of wave in metre.<br>$V$ = wind velocity in km. per hr.<br>$F$ = 'fetch' or straight length of water subject to wind action in statute km.                                                                                                     | ....     |
| 13 Stevenson's formula for wave height.                                                                                      | $H = 1.5 \sqrt{F} + 2.5 - \sqrt[4]{F}$<br>$H$ = wave ht. in ft.<br>$F$ = 'fetch' or straight length of water subject to wind action in statute miles.                                             | $H = 0.36 \sqrt{F} + 0.76 - 0.271 \sqrt[4]{F}$<br>$H$ = wave ht. in metre.<br>$F$ = 'fetch' or straight length of water subject to wind action in statute km.                                                                                                                                                  | ....     |
| 14 Formula based on observation of wave height in Belb Foruche. Reservoirs in U.S.A. where the fetch is 5 miles (8.047 km.). | $H = 0.075 (V - 8.5)$<br>$H$ = height of wave in ft.<br>$V$ = Velocity of wind in miles per hr.                                                                                                   | $H = 0.014 (V - 13.7)$<br>$H$ = height of wave in metre.<br>$V$ = Velocity of wind in km. per hr.                                                                                                                                                                                                              | ....     |
| 15 Pressure on Dam due to waves.                                                                                             | ....                                                                                                                                                                                              | $P_w = 2002 hw'$<br>$P_w$ = wave pressure in kg./m. width of dam.<br>$hw$ = height of waves in m.                                                                                                                                                                                                              | ....     |
| 16 Earth quake forces of water.                                                                                              | ....                                                                                                                                                                                              | Westergaard's equation for co-efficient $K$ for the earthquake force of water in dam when parabolic variation of pressure is assumed<br>$K = \frac{816}{\sqrt{1 - 72 \frac{H}{305 t}}}$<br>where $K$ = co-efficient from formula<br>$Ph = K.C. \sqrt{h} H$ where<br>$Ph$ = Pressure at a depth $h$ . in kg./m' | ....     |

## 17 Resonance for concrete Dam

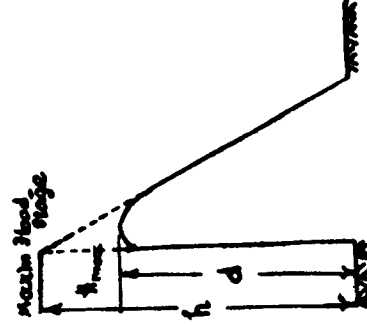
$C$  = ratio of earthquake acceleration to the acceleration due to gravity.  
 $h$  = depth at which the pressure is  $Ph$  in m.  
 $H$  = height of dam in metres.  
 $t$  = earthquake period in seconds varying from 0.8 to 1.20 sec.  
Westergaard's equation for period of vibration of a concrete Dam.

$$t = \frac{611 \times l}{h^3}$$

where  $t$  = period of vibration in sec.  
 $h$  = height of dam in metres.  
 $l$  = base length in metres.

Minimum radius of the crest necessary to prevent the jet from separating from the weir at the crest is

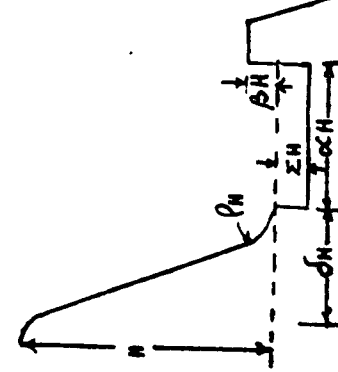
$$V = \frac{1}{36} \left[ (20 + 3 H \max - 6d) + \sqrt{(20 + 3 H \max - 6d)^2 + 72d H \max.} \right]$$



## 18 Dams—Radius of crest of overflow dams. Rehbock's Law.

## 19 Stilling pool or water cushion for prevention of scour below fall; Leliavsky's formula.

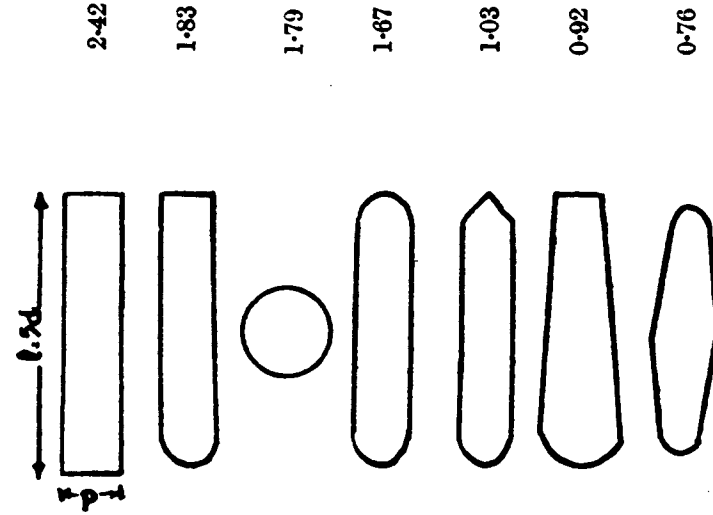
$\beta = \sqrt{\frac{q}{5 H^{1.5}}}$   
where  $q$  = discharge in cum./sec. per m. width of dam.  
 $H$  = drop between sill level and basin bed level in m.  
 $\beta$  = height of end sill expressed in term of  $H$   
 $\Sigma \beta = 0.084$ ,  $\alpha = 0.5$  to  $0.8$   
 $\beta = 0.05$ ,  $P = .15$ ,  $P = .75$



| Serial number and description.                    | Formulæ in F.P.S. Units. | Formulæ in Metric Units (Exact equivalent).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Remarks. |
|---------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (1)                                               | (2)                      | (3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | (4)      |
| 20 Conjugate or sequent depths of Hydraulic Jump. | ....                     | $d_2 = \left( \sqrt{\frac{2q^2}{gd_1} + \frac{d_1^3}{4}} \right) - \frac{d_1^2}{2}$ <p><math>q</math> = discharge per m. width in cu.m./sec.<br/><math>d_1</math> = depth before jump in m.<br/><math>d_2</math> = depth after jump in m.<br/><math>g</math> = acceleration due to gravity in m./sec.<sup>2</sup></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ....     |
| 21 Shooting flow through Clutes.                  | ....                     | <p><math>V = 55 R^{0.52} \sin^{0.4} \alpha</math><br/><math>V</math> = velocity of flow in m. per sec.<br/><math>R</math> = hydraulic radius in m. A/P.<br/><math>A</math> = area of wetted cross section in sq. m.<br/><math>P</math> = wetted perimeter in m.<br/><math>\alpha</math> = angle of flume with horizontal.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ....     |
| 22 Loss of Head at Trash rack.                    | ....                     | <p><math>ht. = 36.1 \left( \frac{TV^2}{D} \right) \sin \alpha \sec. 15.8 \beta</math><br/><math>ht.</math> = loss of head in cm.<br/><math>T</math> = thickness of trash rack bars in cm.<br/><math>V</math> = Velocity of water downstream of trash rack in m./sec.<br/><math>\alpha</math> = angle of inclination of trash rack bars with the horizontal.<br/><math>D</math> = spacing of trash rack bars centre to centre in cm.<br/><math>\beta</math> = angle of the approaching current makes with the centre line of sluices.</p> <p>Another formula used is—<br/><math>C \sin \alpha \propto 11.1 V^2 W</math><br/><math>ht = \frac{2dg}{C \sin \alpha}</math><br/><math>\alpha</math> = angle of inclination of trash rack bars with the horizontal.<br/><math>V</math> = Velocity of water upstream of trash rack in m./sec.</p> | ....     |

$g$  = acceleration due to gravity in m./sec.<sup>2</sup>  
 $W$  = maximum width of bars in cm.  
 $d$  = space between the bars in cm.  
 $C$  = coefficient which has the values as given below.

Bar Section. C.



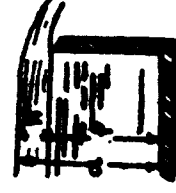
|                          |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 23 Available-Hydro-Power | .... | Theoretical out-put, maximum attainable.<br>$P_t = \frac{\rho}{75} Q.H.$ —metric horse power.<br>$P_t$ = Theoretical output in metric horse power.<br>$\rho$ = unit weight to water in kg./m <sup>3</sup><br>$Q$ = flow through turbine in cu. m./sec.<br>$H$ = head available in m.<br>Effective output (in metric horse power).<br>$P_e = e P_t = \frac{e\rho}{75} Q.H.$<br>$e$ = efficiency. |
|--------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



| Serial number and description.<br>(1)                                  | Formulae in F.P.S. Units.<br>(2)                                                                                                                                                                                                                 | Formulae in Metric Units (Exact equivalent).<br>(3)                                                                                                                                                                                                | Remarks.<br>(4) |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 38 Total length of downstream apron including talus.                   | $L_s = 10c \sqrt{\frac{H_s}{10}} \times \sqrt{\frac{q}{75}}$<br>$c$ =creep coefficient<br>$q$ =discharge in cusecs/ft. run.<br>$H_s$ =head in feet $L_s$ in ft.                                                                                  | $L_s = 3c \sqrt{\frac{H_s}{3}} \times \sqrt{\frac{q}{7}}$<br>$c$ =creep coefficient<br>$q$ =discharge/metre run in cu mecs.<br>$H_s$ =Head in metre $L_s$ in metre.                                                                                | ....            |
| 39 Length of downstream talus.                                         | $L_s = L_1 - L_2$                                                                                                                                                                                                                                | $L_s = L_1 - L_2$                                                                                                                                                                                                                                  | ....            |
| 40 Length of upstream loose pitching.                                  | $L_s = \frac{L_1 - L_2}{2}$                                                                                                                                                                                                                      | $L_s = \frac{L_1 - L_2}{2}$                                                                                                                                                                                                                        | ....            |
| 41 For sloping and rock filled weirs total length of downstream apron. | $L = 11c \sqrt{\frac{M_s}{10}} \times \sqrt{\frac{q}{75}}$<br>$L$ and $H_s$ in feet.<br>$q$ in cu secs/ft. run.                                                                                                                                  | $L = 3.35 c \sqrt{\frac{H_s}{3}} \times \sqrt{\frac{q}{7}}$<br>$L$ and $H_s$ in metres.<br>$q$ in cu-meecs/metre run.                                                                                                                              | ....            |
| 42 Head Sluices—<br>Discharge through the vents.                       | $Q = C_d \times A \times \sqrt{2gh}$<br>$A$ =area of cross section in ft. <sup>2</sup><br>$H$ =Head of water in ft.<br>$Q$ =discharge in cu-secs.<br>$g$ =acceleration due to gravity in ft/sec <sup>2</sup><br>$C_d$ =coefficient of discharge. | $Q = C_d \times A \times \sqrt{2gh}$<br>$A$ =area of cross section in square metres.<br>$H$ =Head of water in metres.<br>$Q$ =discharge in cu-meecs.<br>$g$ =acceleration due to gravity in m/sec <sup>2</sup><br>$C_d$ =coefficient of discharge. | ....            |
| 43 Length of impervious apron ..                                       | $L = 4C \sqrt{\frac{H_s}{13}}$<br>$H_s$ =uplift in feet<br>= MWL of river—B.L. of canal.<br>$L$ =Length in feet.                                                                                                                                 | $L = 1.2c \sqrt{\frac{H_s}{3.9}}$<br>$H_s$ =uplift in meter (MWL of river—B.L. of canal).<br>$L$ =Length in metre.                                                                                                                                 | ....<br>....    |
| 44 Length of Impervious and pervious apron.                            | $L = 15c \sqrt{\frac{H_s}{13}} \times \sqrt{\frac{q}{75}}$<br>$L_s$ & $H_s$ are in feet.<br>$q$ is in cusecs/ft. run.                                                                                                                            | $L = 4.58 c \sqrt{\frac{H_s}{3}} \times \sqrt{\frac{q}{7}}$<br>$L_s$ & $H_s$ are metres.<br>$q$ is in cumeecs/metre.                                                                                                                               | ....<br>....    |

## Scouring sluices—

|                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                    |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 45 Length of upstream Impervious apron.                                                                                             | $L_1 = 7c \sqrt{\frac{H_s}{13}}$<br>$L_1$ =Length in feet.<br>$H_s$ =Heights of top of shutters above low water level in feet.                                                                                 | $L_1 = 2.1c \sqrt{\frac{H_s}{3.9}}$<br>$L_1$ =in metre.<br>$H_s$ =ht. of top of shutters above low water level in metre.                                                                                           | ....<br>....<br>....         |
| 46 Thickness of downstream ..                                                                                                       | $t = \frac{1}{4} \left( \frac{H-h}{\rho-1} \right)$<br>$t$ =thickness in feet.<br>$H$ =total head in feet.<br>$h$ =head lost in creep upto the point in feet.<br>$\rho$ =sp. gr. of the material of the apron. | $t = \frac{1}{4} \left( \frac{H-h}{\rho-1} \right)$<br>$t$ =thickness in metres.<br>$H$ =total head in metres.<br>$h$ =head lost in creep up to the point in metres.<br>$P$ =sp. gr. of the material of the apron. | ....<br>....<br>....<br>.... |
| 47 Coefficient of discharge for broad crested weirs.                                                                                | $(C_d = 0.61) \left( \frac{h}{k} \right)^{0.2}$<br>It holds within the limits<br>$0.5 < \frac{h}{K} < 5.0$<br>$h$ =head of water over crest in ft.<br>$k$ =breadth of crest in feet.                           | $(C_d = 0.61) \left( \frac{h}{k} \right)^{0.2}$<br>It holds within the limits<br>$0.5 < \frac{h}{k} < 5.0$<br>$h$ =head of water over crest in metres.<br>$k$ =breadth of crest in metres.                         | ....<br>....<br>....<br>.... |
| 48 Francis Formula—<br>Discharge over a sharp crested weir without velocity of approach correction.                                 | $Q = 3.33 H^{3/2}$<br>where $Q$ is discharge in cusecs/ft. length of weir<br>$H$ is head in ft.                                                                                                                | $Q = 1.841 H^{3/2}$<br>$Q$ is discharge in cumeecs/metre length of weir.<br>$H$ is head in metres.                                                                                                                 | ....<br>....<br>....<br>.... |
| 49 Rehbocks Formula—<br>Discharge over sharpened weir with end contractions suppressed and without velocity of approach correction. | $Q = KLH^{3/2}$<br>$Q$ is in cusecs.<br>$L$ is length of weir in ft. and $H$ is head in feet.                                                                                                                  | $Q = 0.5512 K L H^{3/2}$<br>where $Q$ is in cumeecs.<br>$L$ is length of weir in metres<br>$H$ is head in metres                                                                                                   | ....<br>....<br>....<br>.... |
| 50 King's Formula—<br>Discharge over sharpened weirs with end contractions suppressed.                                              | $Q = 3.3H^{1.47} \left( 1 + 0.56 \frac{H^2}{d^2} \right)$<br>where $Q$ is discharge/ft. width in cusecs.<br>$H$ is head in feet.<br>$d$ is in feet.                                                            | $Q = 1.78 H^{1.47} \left( 1 + 0.56 \frac{H^2}{d^2} \right)$<br>$Q$ =is discharge/m width in cumeecs.<br>$H$ is head in metres.<br>$d$ is in metres.                                                                | ....<br>....<br>....<br>.... |



| Serial number and description.                     | Formulae in F.P.S. Units.                                         | Formulae in Metric Units (Exact equivalent).                          | Remarks.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | (1)                                                               | (2)                                                                   | (3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 51 Cipolletti weir (viz. sides sloping at 1 in 4). | ...                                                               | ...                                                                   | (4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 52 Ogee crested weirs                              | ...                                                               | ...                                                                   | $Q = 1.86 LH$<br>$Q$ = discharge over weir in cum./sec.<br>$L$ = length of weir at crest in m<br>$H$ = Head over crest of weir in m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 53 Siphon spillways                                | ...                                                               | ...                                                                   | $Q = 2.20L H$<br>$Q, L, H$ have the same significance as above.<br>$Q = CA \sqrt{2gH}$<br>$Q$ = discharge through siphon spillway in cum./sec.<br>$A$ = Area of siphon in sq.m.<br>$g$ = acceleration due to gravity in m/sec <sup>2</sup><br>$H$ = difference of water level between the reservoir and tail channel in m<br>$C$ = co-efficient of discharge = 0.65 for ogee shape.<br>$C$ varies between 0.25 to 0.98 for other shapes                                                        |
| 54 Discharge through right angled V-notch.         | $Q = 2.52 H$<br>$Q$ = discharge in cusecs<br>$H$ is head in feet. | $Q = 1.327 H$<br>$Q$ = discharge in cumecs.<br>$H$ is head in metres. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 55 Kennedy's formula for critical velocities.      | $V_c = 0.84d$<br>$d$ in ft.                                       | $V_c = 0.8476 d$<br>$V_c$ in ft./sec.                                 | $V_c = 0.5476 d$<br>$V_c$ in m/sec in metre.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| For Godavari                                       | $V_c = 0.67 d$                                                    | $V_c$ in ft./sec.                                                     | $V_c = 0.3925 d$<br>$V_c$ in m/sec.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| For Krishna                                        | $V_c = 0.93 d$                                                    | $V_c$ in ft./sec.                                                     | $V_c = 0.5258 d$<br>$V_c$ in m/sec.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 56 Lacey's formula                                 | ...                                                               | ...                                                                   | $V = 1.76 \sqrt{md}$<br>$V$ = Velocity of flow in m/sec.<br>$f$ = Lacey's silt factor<br>$md$ = mean diameter of spheres equivalent to oblate spheroidal particles of bed material in mm.<br>$R$ = Hydraulic mean depth in m.<br>$A$ = area of section in m <sup>2</sup><br>$P$ = Wetted perimeter in m.<br>$Q$ = discharge in m <sup>3</sup><br>$S$ = slope of hydraulic gradient.<br>$Ma$ = absolute co-efficient of rugosity<br>$= 0.0225$ if mm = 0.0396 md<br>$R_c$ = depth of scour in m |

|                                                                                    |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| (a) $V = 639 \sqrt{iR}$                                                            | (g) $S = \frac{3316Q}{f^3}$                                                  | (i) $R = 47247 \left[ \frac{Q}{f} \right]^{\frac{1}{3}}$ | (k) $A = 2.8 \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{f^{\frac{1}{3}}}$                              | (m) $R_c = 1.35 \left[ \frac{Q^2}{f} \right]^{\frac{1}{3}}$ | (o) $V = C \sqrt{mi}$                                 | (q) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ | (s) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ |
| (b) $Af = 141.24 V^5$                                                              | (h) Non-Regime Formula<br>$V = \frac{1}{Na} R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}}$ | (j) $V = 0.4382 (Qf^2)^{\frac{1}{3}}$                    | (l) Scour Depth Formula<br>$R_c = 1.35 \left[ \frac{Q^2}{f} \right]^{\frac{1}{3}}$ | (n) $V = C \sqrt{mi}$                                       | (p) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ | (r) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ | (t) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ |
| (c) $P = 4.825 Q^{\frac{1}{3}}$                                                    |                                                                              | (k) $A = 2.8 \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{f^{\frac{1}{3}}}$    |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (d) $V = 10.8 R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}}$                                     |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (e) $V = 3100 \frac{f}{f^{\frac{1}{3}}}$                                           |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (f) $S = \frac{3316Q}{f^3}$                                                        |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (g) $S = \frac{5230 R^{\frac{1}{2}}}{f^{\frac{1}{3}}}$                             |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (h) Non-Regime Formula<br>$V = \frac{1}{Na} R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}}$       |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (i) $R = 47247 \left[ \frac{Q}{f} \right]^{\frac{1}{3}}$                           |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (j) $V = 0.4382 (Qf^2)^{\frac{1}{3}}$                                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (k) $A = 2.8 \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{f^{\frac{1}{3}}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (l) Scour Depth Formula<br>$R_c = 1.35 \left[ \frac{Q^2}{f} \right]^{\frac{1}{3}}$ |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (m) $V = C \sqrt{mi}$                                                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (n) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (o) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (p) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (q) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (r) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (s) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (t) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (u) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (v) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (w) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (x) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (y) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |
| (z) $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$                              |                                                                              |                                                          |                                                                                    |                                                             |                                                       |                                                       |                                                       |

For values of Manning's  $n$  see Appendix A.

$V$  = Velocity in m/sec.  
 $R$  = hydraulic mean depth in metres.  
 $S$  = Slope of the channel.  
 $n$  = Manning's rugosity co-efficient.

Note.—C may be taken as  $\frac{1.486 R^{\frac{1}{3}}}{n}$

where  $n$  is the roughness co-efficient.

58 Manning's formula for open channel flow.

$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

## FORMULAE USED IN IRRIGATION ENGINEERING AND HYDRAULICS—cont.

| Serial number and description.                                   | Formulae in F.P.S. Units.                                            | Formulae in Metric Units (Exact equivalents).                        | Remarks.                                          |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| (1)                                                              | (2)                                                                  | (3)                                                                  | (4)                                               |
| 59 Bazin's formula for channels.                                 | $C = \frac{157.6}{1 + \frac{K}{\sqrt{m}}}$                           | $C = \frac{87}{1 + \frac{K}{\sqrt{m}}}$                              | For value of K see Appendix "A" III.              |
| 60 Kutter's formula for value of C                               | $C = 41.6 + 0.00281 + 1.811 \frac{S}{n}$                             | $C = 23 + 0.00155 + 1 \frac{S}{n}$                                   | For values of n see Appendix "A" IV.              |
| 61 Chheimer formula for discharge                                | ....                                                                 | $Q = \frac{1}{n} S 0.5 \times \frac{A^{1.7}}{P^{0.7}}$               | ....                                              |
| 62 Unwin's formula for loss of head due to flow through barrels. | $h = \left( 1 + f_1 + f_2 \times \frac{L}{R} \right) \frac{V^2}{2g}$ | $h = \left( 1 + f_1 + f_2 \times \frac{L}{R} \right) \frac{V^2}{2g}$ | For values of $f_1$ and $f_2$ see Appendix "A" V. |

|                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                     |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 63 The flow between the piers will be streaming depending upon the ratio $a/A$ . $A$ = the area of the channel before the piers are built. $a$ = the area under the original water surface taken up by the piers. | For the flow to be streaming—<br>$\frac{a}{A} < \frac{1}{0.97 + \frac{V^2}{2gD_0}}$<br>$D_0$ = the original depth of water in feet. $D_0$ = the original depth of water in metres.                     | $\frac{a}{A} < \frac{1}{0.97 + \frac{V^2}{2gD_0}}$                                                                                                                                                  | .... |
| 64 The rise of stage with rectangular piers and streaming flow $= Z$ .                                                                                                                                            | $Z = 6.9 \frac{a}{A} \frac{V^2}{2gD_0}$<br>$V, D_0, a$ and $A$ are as above.                                                                                                                           | $Z = 2.1 \frac{a}{A} \frac{V^2}{3g \text{ do.}}$<br>$V, g, D_0$ and $A$ are as above.                                                                                                               | .... |
| 65 Flow formula for tile drains by Kutter.                                                                                                                                                                        | $Q = \frac{0.1426 D^3 \sqrt{S}}{12.55 m + \sqrt{D}}$<br>$Q$ = discharge in cusecs.<br>$D$ = inner diameter of tile in inches.<br>$m$ = co-efficient of roughness 0.25 to 35.<br>$S$ = hydraulic slope. | $Q = \frac{39.25 D^3 \sqrt{S}}{2 m + \sqrt{D}}$<br>$Q$ = discharge in cumecs.<br>$D$ = inner diameter of tile in metres.<br>$m$ = co-efficient of roughness 0.25 to 0.35.<br>$S$ = hydraulic slope. | .... |
| 66 Evaporation and absorption. Loss by absorption between the head of distributory and at any point from the head.                                                                                                | $\text{Loss} = A l \frac{5}{6}$<br>$A$ = loss of head in feet ascertained by experiment at the end of one mile.<br>$l$ = in miles.                                                                     | $\text{Loss} = 0.672 A l \frac{5}{6}$<br>Less and $A$ are in metres ( $A$ is the loss in metres at a distance of 1.6 kilometres from the head).<br>$l$ in kilometre.                                | .... |
| 67 Design of drains in Cauvery Delta.                                                                                                                                                                             | $Q = 40 M \text{ up to } 5 \text{ sq. miles at O.F.L. condition.}$<br>$Q$ = discharge in cusecs<br>$M$ = area of catchment in sq. miles                                                                | $Q = 0.44 M \text{ up to } 13 \text{ sq. km. at O.F.L. condition.}$<br>$Q$ = discharge in cumecs.<br>$M$ = area of catchment in sq. km.                                                             | .... |

Serial number and description.

Formulae in F.P.S. Units.

Formulae in Metric Units (Exact equivalent).

Remarks.

(1)

(2)

(3)

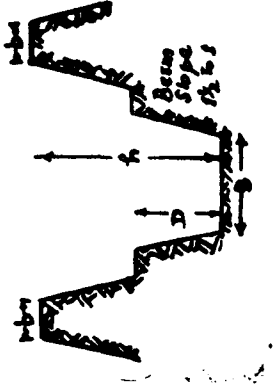
(4)

68 Same as above

$Q=170+6M$  from 5 to 20 sq. miles  $Q=4.82+0.0856M$  from 8 sq. km. to 52 sq. km.  
 $Q$ =discharge in cusecs.  $Q$ =discharge in cumecs.  
 $M$ =Area of catchment in sq. miles  $M$ =Area of catchment in sq. km.

69 Same as above

$Q=40M^{2/3}$  above 20 sq. miles at  $Q=0.6M^{2/3}$  above 52 km<sup>2</sup>.  
 O.F.L. conditions.  
 $Q$ =Discharge in cusecs.  $Q$ =Discharge in cumecs.  
 $M$ =Area of catchment in sq. miles.  $M$ =Area of catchment in km<sup>2</sup>.



70 Canals: Balancing depth of cutting (D).

$D$  to be solved from  $D^2 - D(\frac{b}{2} + b) + 3h + h(3\frac{b}{2} + b) = 0$   
 $D, B, b$  and  $h$  are in feet.  $D, B, b$  and  $h$  are in metres.

71 Berms: Width of small channels.

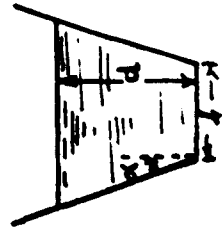
$b=d/2$  where  $d$  is the actual depth of cutting in ft.  $b=d/2$   
 $b$ =width of berm in ft.  $b$ =width of berm in metres.

72 Width of berm for big channels

$b = \frac{d}{2} + 4$   
 $b$  and  $d$  are in feet.  $b = \frac{d}{2} + 1.22$   
 $b$  and  $d$  are in metres.

73 Discharge through trapezoidal notch.

$Q=5.35c\sqrt{d}(d+0.4d^2n)$   $Q=2.96c\sqrt{d}(d+0.4d^2n)$   
 $Q$ =discharge in cusecs.  $Q$ =discharge in cumecs.  
 $d$ =depth of water over sill of notch in feet.  $d$ =depth of water over sill of notch in metres.  
 $l$ =base width in feet.  $l$ =base width in metre.  
 $n=2 \tan \alpha$   $n=2 \tan \alpha$   
 $c$ =coefficient of discharge.  $c$ =coefficient of discharge.



74 For maximum discharge of the channel of given cross sectional area, the depth of channel.

$$d = \sqrt{\frac{A}{2 \times \sqrt{n^2 + 1} - n}}$$

$n$ =the side slope.  
 $A$ =Area of C.S. in sq. feet.  
 $d$ =depth in feet.

$n$ =the side slope.  
 $A$ =area of C.S. in m<sup>2</sup>.  
 $d$ =depth in metres.

75 Canal drop.  
Drop wall top width.

$a = (\frac{1}{2} + 1/2)$  to  $(\frac{1}{2} + 1)$   $a = (\frac{1}{2} + 0.1524)$  to  $(\frac{1}{2} + 0.3048)$   
 $d$ =depth of water over sill not in feet.  $d$ =depth of water over sill of notch in metres.  
 $a$ =top width in feet.  $a$ =top width in metres.

76 Drop wall bottom width

$b = H + d$   
 $b = H + d$

$H$ =height of wall in feet.  
 $b$ =the bottom width in feet.

$H$ =height of wall in metres.  
 $b$ =the bottom width in metres.

$d$ =depth of water over sill of notch.  $d$ =depth of water over sill of notch.  
 $p$ =sp. gravity of the material of wall.  $p$ =sp.gr. of the material of the wall.

Notch pier

77 Width at FSL.

$W < \frac{d}{2}$  'W' and 'd' are in ft.  $W < \frac{d}{2}$  W and d are in metres.

$W$ =width and  $d$ =depth of water over sill of notch end pier has a top width of 3/4 the normal.

$W$ =width and  $d$ =depth of water over sill of notch and pier has a top width of 3/4 the normal.

Aprons

78 Downstream apron width

Width  $w = L + \frac{1}{2}d$  or bed width of canal  $d/s$  of drop whichever is greater.

Width, "D", and "d" are in ft. W, L, and d are in metres.

79 Length

$L = 2d_c = 2\sqrt{d_h \text{ or } 4 + 2\sqrt{d_h}}$  which ever is greater.  
 $d_c$ =depth over sill of notch in feet.  $L = 2d_c + 2\sqrt{d_h}$  or  $1.22 + 2\sqrt{d_h}$  whichever is greater.  
 $d_c$ =depth over sill of notch in metres.

$L$ =Length of apron in ft.

$L$ =Length of apron in metres.

$h$ =difference between u/s and d/s water levels.  $h$ =difference between u/s and D/s water level in metres.

80 Thickness

Minimum  $t = \sqrt{d_c + h}$

Minimum  $t = \sqrt{d_c + h}$   
 1.811

$t, d_c$  and  $h$  are in feet.

$t, d_c$  and  $h$  are in metres.

| Symbol number and description.                          | Formulae in F.P.S. Units.                                                                                                                                                                                                                                | Formulae in Metric Units (Exact equivalent.)                                                                                                                                                                                                 | Remarks. |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (1)                                                     | (2)                                                                                                                                                                                                                                                      | (3)                                                                                                                                                                                                                                          | (4)      |
| 81 Bed pitching u/s side d/s side<br>Revetment u/s side | bed pitching $L_1 = 1\frac{1}{2} d$<br>" $L_2 = 2d$<br>Revetment $L_3 = 3d$ or $10'$ whichever is greater.                                                                                                                                               | $L_1 = 1\frac{1}{2} d$<br>$L_2 = 2d$<br>$L_3 = 3d$ or $3.13$ metres whichever is greater.                                                                                                                                                    | ....     |
| 82 D/s side                                             | $L_4 = 4(d+h)$ or $20'$ whichever is greater.<br>$d$ = depth of water over sill of notch in feet.<br>$h$ = difference between u/s and D/s water level in feet.                                                                                           | $L_4 = 4(d+h)$ or $6.10$ metres whichever is greater.<br>$d$ = depth of water over sill of notch in metres.<br>$h$ = difference between u/s and D/s water level in meters.                                                                   | ....     |
| 83 Depth of water cushion                               | $(d_w + d_1) = \frac{1}{2} d_c \sqrt{h}$<br>$d_w$ = depth of water cushion in ft.<br>$d_1$ = depth of water on D/s apron in feet.<br>$d_c$ = depth of water over sill of notch in feet.<br>$h$ = difference between u/s and D/s levels of water in feet. | $(d_w + d_1) = 0.905 d_c \sqrt{h}$<br>$d_w$ = depth of water cushion in metres.<br>$d_1$ = depth of D/s apron in metres.<br>$d_c$ = depth of water over sill of notch in metres.<br>$h$ = difference between u/s and D/s of water in metres. | ....     |
| 84 Cross drainage works Thickness of arch at springing. | Width at springing<br>$W = 2 + \frac{2R}{10} + \frac{r}{10}$                                                                                                                                                                                             | $W = 0.61 + \frac{2R}{10} + \frac{r}{10}$                                                                                                                                                                                                    |          |
| 85 Batter of abutment                                   | $n = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{Span of arch}}{\text{Rise of arch}} \right)$<br>span and rise in feet.<br>$t = n \sqrt{r}$                                                                                                                           | $n = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{Span of arch}}{\text{Rise of arch}} \right)$<br>span and rise in metres.<br>$t = \sqrt{\frac{R + \frac{r}{2}}{13.12}} + 0.061$                                                                           |          |
| 86 Thickness of arch at crown                           | $t$ in feet and $r$ is rise in ft.<br>$n = 0.4$ to $0.5$                                                                                                                                                                                                 | $t$ = thickness of arch at crown in metres.<br>$R$ = radius of arch in metres.<br>$S$ = Span of arch in metres.                                                                                                                              |          |

|                                                                       |      |      |  |
|-----------------------------------------------------------------------|------|------|--|
| 87 Thickness of Piers                                                 | .... | .... |  |
| 88 Tank Surplus weirs—discharge over the weir (clear over fall).      | .... | .... |  |
| 89 Clear overfall taking into account the vel. of approach Discharge. | .... | .... |  |
| 90 Drowned overfall                                                   | .... | .... |  |
| 91 Duty                                                               | .... | .... |  |
| 92 Formula connecting duty base and average depth over area.          | .... | .... |  |
| 93 Hazen—William's formula for pipe flow.                             | .... | .... |  |

$T = .552 \sqrt{S}$   
 $T$  = thickness of pier in metres.  
 $S$  = span of arch in metres.  
 This may vary from  $1/5$  to  $1/3$  span. In exceptional cases it may be  $0.4S$ .

$Q = \frac{2}{3} cbh \sqrt{2g}$   
 $Q$  = discharge in cumecs.  
 $b$  = breadth of weir at crest level in metres.  
 $h$  = head of water in metres.  
 $g$  = acceleration due to gravity in metres/sec.<sup>2</sup>.  
 $c$  = coefficient of discharge (assumed as  $0.62$ ).

$Q = \frac{2}{3} cb \times \sqrt{2g} [(h + H_a) \frac{2}{3} - H_a]$   
 $H_a$  = head due to vel. of approach in metres.  
 $Q$  = discharge in cumecs.

$Q = \frac{2}{3} cb \sqrt{2g} H_1 \frac{2}{3} + cb H_1 \sqrt{2g} H_1$   
 Where  $L_1$ ,  $H_1$  and  $H_2$  are in Metres.  
 $Q$  in cumecs.  
 $H_2 = H_0 - H_1$

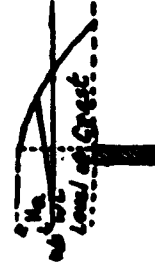
1 cubic metre a second per 1430 hectares.

$d = \frac{864 B}{\Delta}$

$d$  = duty in hectare/cumec.  
 $B$  = base in days and  
 $\Delta$  = average depth in centimetres.

$V = 1.318 C_1 \times R^{0.63} \times S^{0.54}$   
 $R$  = hydraulic mean depth in metres.  
 $S$  = slope of pipe.

For value of  $C_1$  see Appendix A — II.



| Serial number and description.                       | Formulae in F.P.S. Units.                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                     | Formulae in Metric Units (Exact equivalent).                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                             | Remarks.                                  |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                      | (1)                                                                                                                                                                                                                                 | (2)                                                                                                                                                                                                                                 | (3)                                                                                                                                                                                                                                         | (4)                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |
| 94 (i) Velocity head                                 | $h = \frac{V^2}{2g}$                                                                                                                                                                                                                | $h = \frac{V^2}{2g}$                                                                                                                                                                                                                | $h = \frac{V^2}{2g}$                                                                                                                                                                                                                        | $h = \frac{V^2}{2g}$                                                                                                                                                                                                                        | (4)<br>....                               |
|                                                      | $h$ = head in feet.<br>$V$ = velocity in feet./sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in feet/sec. <sup>2</sup> .                                                                                                                | $h$ = head in metres.<br>$V$ = velocity in m/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in m/sec. <sup>2</sup> .                                                                                                                     | $h$ = head in metres.<br>$V$ = velocity in m/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in m/sec. <sup>2</sup> .                                                                                                                             | $h$ = head in metres.<br>$V$ = velocity in m/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in m/sec. <sup>2</sup> .                                                                                                                             |                                           |
| (ii) Loss of head due to bends, valves and fittings. | $h_1 = K_1 \times \frac{V^2}{2g}$<br>$h_1$ = loss of head in feet.<br>$K_1$ = a constant depending upon the bed.                                                                                                                    | $h_1 = K_1 \times \frac{V^2}{2g}$<br>$h_1$ = loss of head in feet.<br>$K_1$ = a constant depending upon the bed.                                                                                                                    | $h_1 = K_1 \times \frac{V^2}{2g}$<br>$h_1$ = loss of head in metre.<br>$K_1$ = a constant depending upon the fittings and values.                                                                                                           | $h_1 = K_1 \times \frac{V^2}{2g}$<br>$h_1$ = loss of head in metre.<br>$K_1$ = a constant depending upon the fittings and values.                                                                                                           | For values of $K_1$ see appendix 'A', V.  |
| (iii) Loss of head due to sudden enlargement.        | $h = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in feet.<br>$V_1$ = Velocity in smaller section in feet/sec.<br>$V_2$ = Velocity in larger section in feet/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in feet/sec. <sup>2</sup> | $h = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in feet.<br>$V_1$ = Velocity in smaller section in feet/sec.<br>$V_2$ = Velocity in larger section in feet/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in feet/sec. <sup>2</sup> | $h = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.<br>$V_1$ = Velocity in smaller section in metres/sec.<br>$V_2$ = Velocity in larger section in metres/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in metres/sec. <sup>2</sup> | $h = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.<br>$V_1$ = Velocity in smaller section in metres/sec.<br>$V_2$ = Velocity in larger section in metres/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in metres/sec. <sup>2</sup> | For value of $K_1$ see appendix 'A', VII. |
| (v) Loss of head due to sudden contraction.          | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in feet.<br>$V$ = velocity in feet/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in feet/sec. <sup>2</sup>                                                                               | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in feet.<br>$V$ = velocity in feet/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in feet/sec. <sup>2</sup>                                                                               | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.<br>$V$ = velocity in metres/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in metres/sec. <sup>2</sup>                                                                                 | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.<br>$V$ = velocity in metres/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in metres/sec. <sup>2</sup>                                                                                 |                                           |
| (vi) Loss of head at entrance to pipe.               | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = Loss of head in feet.                                                                                                                                                                             | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = Loss of head in feet.                                                                                                                                                                             | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.                                                                                                                                                                                   | $h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.                                                                                                                                                                                   |                                           |

$g$  = acceleration due to gravity in ft./sec.<sup>2</sup>  
 $V$  = velocity in metres/sec.  
 $h$  = Acceleration due to gravity in metres/sec.<sup>2</sup>

|                                                       |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (vii) Loss of head due to obstruction.                | $h = \left\{ \frac{A}{0.66(A-a)} - 1 \right\} \times \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in feet.<br>$A$ = area of pipe in in. <sup>2</sup><br>$a$ = area of obstruction in in. <sup>2</sup> | $h = \left\{ \frac{A}{0.66(A-a)} - 1 \right\} \times \frac{V^2}{2g}$<br>$h$ = loss of head in metres.<br>$A$ = area of pipe in cm. <sup>2</sup><br>$a$ = area of obstruction in cm. <sup>2</sup> . |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                              |
| (viii) Darcy's formula for frictional loss in pipes.  | $hf = \frac{4fLV^2}{2gd}$ or $\frac{fLQ^2}{10d^5}$                                                                                                                                             | $hf = \frac{4fLV^2}{2gd}$ or $\frac{0.33fLQ^2}{d^5}$                                                                                                                                               | Where $hf$ = Head lost in friction in feet.<br>Where $hf$ = Head lost in friction in metres.                                                                                                                         | For new pipes—<br>$f = 0.005 \left( 1 + \frac{1}{40d} \right)$<br>For old pipes—<br>$f = 0.01 \left( 1 + \frac{1}{40d} \right)$<br>Where $d$ is the dia. of pipe.                                                            |
| 95 Forchheimer formula for loss of head in penstocks. | ....                                                                                                                                                                                           | $h = 11.33 n^2 Q^{2.1} \frac{D^{5.4}}{D^{5.4}}$                                                                                                                                                    | $l$ = length of pipe in feet.<br>$V$ = velocity of flow in feet/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in feet/sec. <sup>2</sup> .<br>$d$ = dia. of pipe in feet.<br>$q$ = cusecs.<br>$f$ = friction coefficient. | $l$ = length of pipe in metres.<br>$V$ = velocity of flow in metres/sec.<br>$g$ = acceleration due to gravity in metres/sec. <sup>2</sup> .<br>$d$ = dia. of pipe in metres.<br>$q$ = cumees.<br>$f$ = friction coefficient. |
|                                                       |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                    | $h$ = loss of head in metres.<br>$n$ = roughness coefficient.<br>$l$ = length of penstock.<br>$Q$ = discharge in cumees.<br>$D$ = diameter in metres.                                                                | ....                                                                                                                                                                                                                         |

| Serial number and description.                                                              | Formulae in F.P.S. Units.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Formulae in Metric Units (Exact equivalents).                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Remarks. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (1)                                                                                         | (2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | (3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | (4)      |
| <p>96 The velocity 'a' with which the pressure wave traverse the pipe line is given by.</p> | $a = 32.470 \sqrt{48.3 + \frac{KD}{e}}$                                                                                                                                                                                                                                                                        | $a = 9909 \sqrt{48.3 + \frac{KD}{e}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ....     |
| <p>97 For wooden pipe the stave thickness 't'.</p>                                          | <p>a = vel. in ft./sec.<br/>D and e are the dia. and thickness respectively of pipe in ft.</p> $t = 0.52a \sqrt{\frac{H}{fw}}$ <p>in inches.</p> <p>H = max. pressure of water in ft.</p> <p>fw = working unit stress in lbs/in<sup>2</sup></p> <p>a = distance between iron (circ-<br/>ular) bands in ft.</p> | <p>a = velocity in metres/sec.<br/>D and e are the dia. and thickness respectively of pipe in metres.</p> $t \text{ (in cms.)} = 0.25a \sqrt{\frac{H}{fw}}$ <p>H = max. pressure of water in metres.</p> <p>fw = working unit stress in kg/cm<sup>2</sup></p> <p>a = distance between iron (cir-<br/>cular) bands in metres.</p> |          |

## NEWS FROM ABROAD

### EARTHFILL DAM IS RESORT WASHOUT

A 43 ft. high earthfill dam near Mercer, Pa., failed in October 1966 leaving the Lake Latonka "resort area with only half its 30 acres lake". A Cofferdam built upstream while the main dam was under construction held back about half the lake's water.

Except for two cows, two horses and a sheep which drowned, there were no injuries. Police evacuated 30 families in a low lying section of Mercer about 3 miles downstream. One factory's power was shorted out.

The 2,300 ft. long embankment is a homogeneous fill of corrosive clay. A 60 ft. piece of a 380 ft. long concrete ogee spillway at the dam's right end collapsed when water began piping through the embankment near the crest and next to the spillway's left wing wall.

"There was no failure connected with the spillway" says Philip Schaefer, Chief design Engineer for Ralph L. Woolpert Engineering Co., of Dayton, Ohio, designers of the dam. "When the clay washed out, it undermined the spillway and dropped it down. The embankment failed and then the spillway went".

The dam, completed last March, is part of a 2-million, 1,300 acre development owned and operated by the American Realty Service Corporation of Mercer. The company reportedly has sold all but five of 1,500 building lots, and 60 homes are under construction. Hackney construction Co., of Willington, Ohio, was the contractor of the dam.

Although Schaefer would not say for sure there was piping through the embankment, he did say, "It was a failure of the earth embankment. Once the embankment washed down so

far and a hole developed, water began washing out the fines and finally undermined the spillway".

The reservoir was at normal pool, according to Schaefer, and spilling only slightly at the time of the failure. Although no actual damage estimate has been made, he said the figures it will cost about 50,000 to repair the embankment and spillway.

*E N R* Oct. 1966.

### ELECTRICALLY PRESTRESSED CONCRETE PILES.

A note on the electro thermal method of tensioning reinforcement for the manufacturing of the prestressed concrete piles appears in the February 1966 issue of the *Na Stroykakah* Rossii in the U.S.S.R. The author, Chief Engineer of the Novokunetzsk No. I Factory for reinforced Concrete products, describes briefly the method developed for the production of 30 ft. to 50 ft. long (10 m. to 15 m.) prestressed concrete piles, the cross-section of the pile being about 14" x 14" (35 cm x 35 cm).

The bar is elongated by heating with electric current and fixed in anchor blocks. The transverse reinforcement is next laced in position and after arranging for form work the concrete is poured. Thermal curing is next applied and when the concrete reaches 70 per cent of its working strength the ends of tensioned bars are cut off and the form work is dismantled.

*—Civil Engineering Aug. 1966.*

## NEWS ROUND UP

### NARRATIVE REPORT ON THE INAUGURATION OF THE SECOND PHASE OF THE PARAMBIKULAM-ALIYAR PROJECT HELD AT PARAMBIKULAM DAM SITE ON JANUARY 12, 1967.

1. The second phase of the P. A. P. which is a multi-purpose and multi-valley scheme undertaken by the Government of Madras at a cost of Rs. 58.85 crores was inaugurated at Parambikulam Dam-site on January 12, 1967. The Project will ultimately irrigate 2.4 lakh acres and generate 185 M.W. of power.

2. Two Union Ministers—Thiru C. Subramaniam, Dr. K. L. Rao, the Madras Chief Minister Thiru M. Bhakthavatsalam and two Ministers of Madras State Thiru V. Ramiah, Minister for Food and Works and Thiru R. Venkataraman, Minister for Industries took part in the inaugural function which was attended by a large gathering.

3. Parambikulam Dam-site, where the function was held wore a festival look on the inauguration day. A tastefully decorated and illuminated pandal was erected for the occasion. The inaugural function commenced by 11-00 a.m. Thiru P. Balakrishnan, Superintending Engineer, Headquarters Circle of P.A.P. read the messages received from Dr. S. Radhakrishnan, Dr. Zakir Hussain, Thirumathi Indira Gandhi, Thiru Ujjal Singh, Thiru Bhagavan Sahey and others. Thiru J. G. Abraham, Chief Engineer, P.A.P., welcomed the Chief guests. In his welcome address the Chief Engineer while explaining the salient features of the project stated, that the P.A.P. is the only multi-valley and multi-purpose project in the South and is a fine example of inter-State Co-operation between the States of Madras and Kerala where the available water resources have been harnessed for the mutual benefit of both the States as well as on outstanding examples of perfect co-ordination and co-operation between various departments of the State itself. The Chief Engineer paid tributes to the Engineers and other personnel who were associated with the detailed investigation and execution of the project.

4. The Chairman of the Madras State Electricity Board, Thiru V.P. Appadurai said that the Sarkarpathy Power House which would be

commissioned on the day, would generate 30 M.W. and that this would feed the grid at Pollachi and Udumalpet through 110 K.V. Lines. Referring to the 4th Plan at Madras State, he said on the generation side emphasis would be made on the Thermal schemes.

5. Next Thiru V. Ramiah, Minister for Food and Works, Government of Madras addressed the gathering. The Minister hailing the project as a new chapter in the history of Irrigation schemes in the whole of India, said Madras can justly be proud of the fact that it has pioneered the most difficult task of harnessing eight jungle streams in a single Project for Irrigation and Power Development. The Minister, further, said that Madras which has taken lead in the utilisation of irrigation projects side by side with the execution of works has also given assistance to the farmers to reclaim their lands and make them suitable for irrigation and that the Government have appointed an implementation committee representing the Agriculture, Irrigation and Revenue Departments for the development of the ayacut under the scheme.

6. Next to address the gathering was Thiru C. Subramaniam, Union Minister for Food and Agriculture who presided over the function. The Minister highly commended the Kerala Government, for their consent in taking up the scheme for execution. Reiterating his view that the centre should intervene and settle disputes between the States in regard to utilisation of river waters he said that the Madras Government should continue its negotiations with the Kerala Government to secure the latter's concurrence for the construction of Nirar and other dams in the Project.

7. At the stroke of 12-00 the Ministers unveiled the marble tablets commemorating the commissioning of the completed component works of the P.A.P. as furnished below :—

(i) Thirumurthi Reservoir and Parambikulam Main Canal—Thiru C. Subramaniam.

- (ii) Parambikulam Reservoir and Tunnel—Thiru M. Bakthavatsalam.
- (iii) Tunacadavu Reservoir and Sarkarpathy Tunnel—Dr. K.L. Rao.
- (iv) Sarkarpathy Power House—Thiru R. Venkataraman.
- (v) Contour canal—Thiru V. Ramiah.

8. After unveiling the marble tablets Thiru M. Bhakthavatsalam, Chief Minister expressed his appreciation for the Kerala Government for their co-operation in this Project. He also requested the Union Government Ministers present on the day for the centre's help in settling the disputes between two States for the utilisation of water of Nira and Annamalaiar.

9. Dr. K. L. Rao, Union Minister for Irrigation and Power, who addressed the gathering next, described the project as the third milestone in the history of irrigation schemes in regard to Madras State (the first being the Grand Anicut across the Cauvery and the second the Periyar Dam). He said that he would rank P.A.P. first in the history of Madras State for here water has been created so to say right out of the rock by combining the waters of eight rivers which is one of the most difficult work of engineering. He said that it has some special features and hailed it as in unique project in our country. Congratulating the

Madras State which had an enviable record of development and how engineers under the Chief Engineers Thiru U. Ananda Rao, the then Chief Engineer, P.A.P., Thiru J. G. Abraham, Chief Engineer (General and P.A.P.) and Thiru V. P. Appadurai, Chairman of the Madras State Electricity Board, he said that the prosperity of this region was mainly on account of power and human activity. Referring to the expectation that the per capita consumption of power in Madras State would be 200 units in the Fourth Five-Year Plan period, the Union Minister said that the civilised countries in the modern world have a per capita consumption of 400 units and he was confident that the Madras State which is foremost in power generation in India would achieve this as early as possible.

10. Thiru R. Venkataraman, the Minister for Industries who spoke last said that in view of the rapid growth of the State its demand for power outstripped production despite the three fold increase in production during the last 10 years. The Minister pleaded for approval by the centre, of all the schemes proposed by the State Government during the Fourth Plan period.

11. The function came to a conclusion by 12-30 p.m. after the vote of thanks was proposed by Thiru S.P. Ambrose, Collector of Coimbatore.

மஞ்சளாறு வைகை நதியில் ஒரு உபநதியாகும். இது பழனி மலையின் தென் சரிவிலிருந்து உற்பத்தியாகிறது. முள்ளியாறு, வரட்டாறு, இருட்டாறு, மருத நதி முதலான நீரோடைகளை மஞ்சளாறு இணைத்துக்கொண்டு, பேரணை மதகுக்கு மேல் ஆறுவது மைலில் வைகை நதியோடு கலக்கிறது. மஞ்சளாற்றின் நீர் வடிப்பரப்பு (Catchment) மலைப்பாங்கானது. இந்த பள்ளத்தாக்கு உறுதியற்ற வட கிழக்குப் பருவக்காற்றையே எதிர்பார்த்திருப்பதால் நதியில் வெள்ளம் ஒரே சீரான நிலையில் இருப்பதில்லை. எனவே மஞ்சளாற்றின் குறுக்கே ஒரு அணை கட்டும் நிர்ப்பந்தம் ஏற்பட்டது.

மஞ்சளாற்றின் கடைசி அணைக்கட்டு வரை மொத்த நீர் வடிப்பரப்பு 101 சதுர மைல்கள் (261.59 சதுர கிலோ மீட்டர்கள்) என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து கிடைக்கும் நீர்ப்பயன் 199.2 கோடி கன அடி (5.6413 கோடி கன மீட்டர்) நீர்த்தேக்கம் அமைக்கும் இடத்தில் 151.3 கோடி கன அடி (4.285 கோடி கன மீட்டர்) நீரையே பயன்படுத்துவது என்று தீர்மானிக்கப்பட்டுள்ளது. தேக்கத்தின் கொள்ளளவு 47.60 கோடி கன அடி (1.348 கோடி கன மீட்டர்). வருடத்திற்கு 1½ பங்கு கொள்ளளவு கணக்கிற்கு எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இந்த கொள்ளளவைக் கொண்டு ஏற்கனவே பாசன வசதி பெறும் 3,249 ஏக்கருக்கு நிரந்தர பாசன வசதி அளிப்பதோடு புதிதாக 2,000 ஏக்கர் புன்செய் நிலங்களையும் நன்செய் நிலங்களாக மாற்றவும் ஏதுவாகும். மஞ்சளாற்றில் உச்ச வெள்ளப் பெருக்கு வினாடிக்கு 11,700 கன அடி (வினாடிக்கு 331.3 கன மீட்டர்) என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இந்த உச்ச வெள்ளப் பெருக்கு நீரை வெளியேற்ற ஒரு கலுவல்கு, அணையின் இடது கோடியில் நான்கு கண்களுடன் அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

மஞ்சளாறு ஒரு ஜீவ நதியாக இல்லாதபடியாலும், நீர்த்தேக்கம் எதுவும் இதுவரை ஏற்படாதபடியாலும், நதியில் நீர் ஓடும் சமயத்தில் மட்டிலுமே, பயிர்களுக்குப் பாசன வசதி கிடைக்கிறது. பாசன காலத்தின் இறுதியில் ஓரிரு பாய்ச்சலுக்குத் தேவையான நீர் கிடைக்காமையால் சில சமயங்கள் பயிர்கள் வாடிப் போகின்றன. மேலும் இந்த ஆற்றில் நீர் வடிப்பரப்புக்கு வேண்டிய வடகிழக்கு பருவ மழையை நம்பமுடியாமல் இருக்கிறது.

கடந்த 1948-ம் ஆண்டில் மக்களின் முறையிட்டின்படி மஞ்சளாறுக்கு குறுக்கே நீர்த்தேக்கம் கட்டுவதுபற்றி ஆராயத் தொடங்கியது. அதன்படி ரூபாய் 67 லட்சங்களுக்கு தோராயமாக ஒரு மதிப்பீடு தயாரிக்கப்பட்டது. அதன்படி தேவதானப்பட்டி கிராமத்திற்கு 3½ மைல் வடக்கே 70 கோடி கன அடி கொள்ளளவும், மொத்தம் 7,000 ஏக்கர் வுக்குப் பாசன வசதி அளிப்பதற்கும் திட்டம் தயாரிக்கப்பட்டது.

தலைமைப் பொறியாளர் (பாசனம்) கடிதம் 1953-ல் மேற்படி அறிக்கை அரசாங்கத்திற்குச் சமர்ப்பிக்கப்பட்டது. ஆனால் வைகை ஆற்றின் கீழ்ப் பகுதியில் உள்ள விவசாயிகளின் மறுப்பையும், மேலும் திட்டத்தின் மதிப்பீடு அதிகமாக இருப்பதையும் ஆராய்ந்து அரசினர் அதே ஆண்டில் இத்திட்டத்தை கைவிட்டனர்.

பிறகு 1957-ம் வருஷம் அப்போதைய பொதுப்பணித் துறை அமைச்சர் கனம் திரு. எம். பக்தவத்சலம் அவர்கள் நீர்த்தேக்கம் கட்டுவதற்காகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட இடத்தைப் பார்வையிட்டு அங்கே நீர்த்தேக்கம் கட்டுவதற்கான திட்டங்களை மறுபடியும் பரிசீலனை செய்யும்படிக் கூறினார்.

## புதுயுகப் பாசனம்

“வாப்புயர் நீருயரும், நீருயர் நெல்லுயரும்  
நெல்லுயர் குடியுயரும், குடியுயர் கோவுயரும்”

—ஒளவையார்.

## மஞ்சளாறு நீர்த்தேக்கத் திட்டம்

மதுரை மாவட்டம்.

அதற்கொப்ப, தலைமைப் பொறியாளர் 1960-ல், நீர்த்தேக்கத் திட்டத்திற்கான தீர்மானங்கள் அரசாங்கத்திற்குச் சமர்ப்பிக்கப்பட்டன. அதன்படியே இத்திட்டம் உருவானது.

மஞ்சளாறு வைகையின் உபநதியாக உள்ளபடியால் வைகை ஆற்றின் கீழ் உள்ள பாசனத் தேவைகளையும் அது பூர்த்தி செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. வைகை நீர்த்தேக்கத்திலும் ராமநாதபுரம் பெரிய ஏரியிலும் சேகரிக்க முடியாமல் வினாடி கடலுக்குச் செல்கிற உபரி நீரைத் தேக்கி வைக்கும் வகையில் மஞ்சளாறு நீர்த்தேக்கத் திட்டம் உருவாகியுள்ளது.

மஞ்சளாற்றின் கடைசி அணைக்கட்டு வரை மொத்த நீர் வடிப்பரப்பு 101 சதுர மைல்கள் (261.59 சதுர கிலோ மீட்டர்கள்) என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து கிடைக்கும் நீர்ப்பயன் 199.2 கோடி கன அடி (5.6413 கோடி கன மீட்டர்) நீர்த்தேக்கம் அமைக்கும் இடத்தில் 151.3 கோடி கன அடி (4.285 கோடி கன மீட்டர்) நீரையே பயன்படுத்துவது என்று தீர்மானிக்கப்பட்டுள்ளது. தேக்கத்தின் கொள்ளளவு 47.60 கோடி கன அடி (1.348 கோடி கன மீட்டர்). வருடத்திற்கு 1½ பங்கு கொள்ளளவு கணக்கிற்கு எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இந்த கொள்ளளவைக் கொண்டு ஏற்கனவே பாசன வசதி பெறும் 3,249 ஏக்கருக்கு நிரந்தர பாசன வசதி அளிப்பதோடு புதிதாக 2,000 ஏக்கர் புன்செய் நிலங்களையும் நன்செய் நிலங்களாக மாற்றவும் ஏதுவாகும். மஞ்சளாற்றில் உச்ச வெள்ளப் பெருக்கு வினாடிக்கு 11,700 கன அடி (வினாடிக்கு 331.3 கன மீட்டர்) என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இந்த உச்ச வெள்ளப் பெருக்கு நீரை வெளியேற்ற ஒரு கலுவல்கு, அணையின் இடது கோடியில் நான்கு கண்களுடன் அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

**நீர்த்தேக்கம் அமைந்துள்ள இடம்.**—இந்த மஞ்சளாறு நீர்த்தேக்கம் மதுரை மாவட்டம், பெரியகுளம் தாலுகாவிலுள்ள தேவதானப்பட்டி கிராமத்திற்கு வடக்கே சுமார் 3½ மைல் தூரத்தில் கட்டப்பட்டுள்ளது. தேவதானப்பட்டி கிராமம், கொடை ரோடு ரயில்வே நிலையத்திலிருந்து 22 மைல் தொலைவில் பெரியகுளம்-கொடை ரோடு சாலையில் உள்ளது.

**குடியிருப்பும் அதன் அமைப்பும்.**—அணை அருகே ஒரு சிறிய குடியிருப்பு கீழ்க்கண்ட அலுவலர்களுக்கு அமைக்கப்பட்டுள்ளது:—

(1) உதவிப் பொறியாளர் : 3 இல்லங்கள் (ஒன்று நிரந்தர இல்லம், இரண்டு தற்காலிக இல்லங்கள்).

(2) பிரிவு அலுவலர்கள் : 12 இல்லங்கள் (தற்காலிக இல்லங்கள்).

(3) எழுத்தர்கள் : 2 இல்லங்கள் (தற்காலிக இல் வகைகள்).

(4) இயந்திர இயக்குநர்கள், வேலை நிமித்த ஊழியர்கள், கடைநிலை ஊழியர்கள்—(64 சிறிய குடிசைகள்). சுமார் ஐம்பது தற்காலிக குடிசைகள் பர்மாவிலிருந்து வந்து இங்கு வேலை செய்யும் அதிகாரிகளுக்குக் கட்டப்பட்டுள்ளன. மேலும் ஒரு தொழிற்சாலையும் ஒரு பண்டகசாலையும் கட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த தற்காலிக கட்டிடங்களின் மதிப்புத் தொகை சுமார் இரண்டு லட்ச ரூபாய் ஆகும்.

இவை தவிர, பெரியகுளத்தில் ஒரு கோட்ட அலுவலகக் கட்டிடமும், அதில் வேலை பார்க்கும் ஊழியர்களுக்கு இல்லங்களும் கட்டப்பட்டுள்ளன. மேலும், நிர்வாகப் பொறியாளருக்கும், உதவிப் பொறியாளருக்கும் (இயந்திரப் பிரிவு) இல்லங்கள் கட்டப்பட்டுள்ளன. இந்தக் கட்டிடங்களின் மதிப்பு சுமார் 1.25 லட்ச ரூபாய் ஆகும்.

அணையில் வேலை செய்பவர்களுக்காக மருத்துவ வசதியும், குழந்தைகளுக்கும் கல்வி வசதியும் செய்து தரப்பட்டுள்ளன.

**அணையின் அமைப்புப் பற்றிய விவரங்கள்.**—இந்த அணையின் மொத்த நீளம் 3,430 அடி (1,046 மீட்டர்). பெரும்பாலும் இது ஒரு மண் அணையாகும். வினாடிக்கு 11,700 கன அடி (331.3 கன மீட்டர்) வெள்ள நீரை வெளியேற்றும் வகையில் ஒரு கலங்கு, அணையின் இடது கோடியில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. ஏற்கனவே உள்ள நிலங்களுக்கு பாசன நீர் அளிப்பதற்காக 5' x 0' x 6' (1.52 மீ. x 1.83 மீ.) அளவுள்ள இரண்டு ஆற்று மதகுக்கள் மண் அணையின் மத்தியில் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும் புதிய நிலங்களாகிய 2,000 ஏக்கராவிற்குப் பாசன வசதி அளிப்பதற்காக ஒரு 3'0" x 4'0" (0.9143 மீ. x 1.219 மீ.) அளவுள்ள கால்வாய் மதகு அணையின் வலது கோடியில் கட்டப்பட்டுள்ளது.

இந்த மண் அணை இரண்டு பகுதிகளைக் கொண்டது. அதாவது நடுவிலுள்ள கெட்டியான பாகம் (Hearting Section) தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட சுமார் 30 சத வீதம் கனிமண் சத்துள்ள, பரிசோதிக்கப்பட்ட மண்ணினால் ஆனது. இந்த நடுப்பாகத்திற்கு இரண்டு பக்கமும் சுமார் 20 சத வீதம் கனிமண் சத்துள்ள, தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட மண்ணினால் மூடப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கெட்டியான பாகம் பூமியின் உள்ளும், அதாவது தண்ணீர் மட்டத்தின் அரை மட்டத்திற்குச் சமமான ஆழத்திற்குப் போடப்பட்டுள்ளது. இது ஆற்றுப் படுகையில் கெட்டியான தரை மட்டம் வரை எடுத்துச் செல்லப்பட்டுள்ளது. மண் அணையின் முன் பக்க சரிவுகள் தண்ணீரின் அலைகளால் சேதப்படாமல் இருக்க 6' கனம் (15.24 செ. மீ.) சரையும், அதை மூடி 1½' (45.72 செ. மீ.) கனம் ரிவெட்டுமெண்டும் (Revetment) போடப்பட்டுள்ளது. இந்த ரிவெட்டுமெண்டு ஆற்றுப் பகுதியில் 2' கனம் (60.96 செ. மீ.) உள்ளது. மண் அணையின் பின் சரிவுகள் புல் பத்தைகளால் பாதுகாக்கப்பட்டுள்ளது. மழைத் தண்ணீரை வெளியேற்றுவதற்காகச் சிறிய நீரேற்று ஒடைகள் (Chutes) பின் சரிவுகளில் கட்டப்பட்டுள்ளன.

மண் அணையின் பின் சரிவுகளில் இறங்குவதற்காக படிகப்புகளும் ஆங்காங்கே கட்டப்பட்டுள்ளன. மண் அணையின் வெளிப்படும் கசிவு நீரை (Seepage Water) வெளியேற்ற தேவையான வேரண்டு பில்டர்கள் (Zoned Filters) தரை மட்டத்தில் மண் அணைக்கும் அடியில் பரப்பப்பட்டுள்ளன. மண் அணையில் மேலிருக்கும் வழிச் சாலையில் முன் பக்கம் கைப்பிடிச் சுவரும், பின் பக்கம்

புல் பத்தையாலான வரப்பும் போடப்பட்டுள்ளன. மண் அணையில் மண் வேலையின் மொத்த அளவு 21,000,000 கன அடியாகும் (594,720 க. மீ.). மண் அணையில் முன் பக்கமுள்ள ரிவெட்டுமெண்டில் மொத்த அளவு 7,50,000 கன அடியாகும் (21,240 கன மீட்டர்). இந்த மண் அணையில் மண் வேலை முக்கியமாக கன இயந்திரங்களைக்கொண்டு உருவாக்கப்பட்டுள்ளது. மண் அணையின் உச்ச உயரம் 75' (22.84 மீட்டர்); மண் அணையில் அடித்தளத்தின் உச்ச அகலம் 358' (109.12 மீட்டர்); மண் அணையின் மேல் உள்ள வழிச் சாலையின் அகலம் 20' (6.1 மீட்டர்).

வெள்ள நீரை வெளியேற்றும் வடிகாலில் 26' 0" x 10' 0" (7.935 மீ. x 3.048 மீ.) அளவுள்ள நான்கு கண்கள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த நான்கு கண்களுக்கும் வட்ட வடிவமுள்ள கதவுகள் (Radial Shutters) பொருத்தப்படுவதாக இருக்கிறது. வடிகாலிலிருந்து வரும் தண்ணீர் 1,800 அடி நீளமும் (548.64 மீட்டர்), 250 அடி அகலமும், 10 அடி ஆழமும் உள்ள ஒரு பெரிய கால்வாய் (Leading Channel) வழியாக ஆற்றுக்குச் செல்கிறது. வடிகாலின் மட்டமானது ஆற்றின் அணையில் பின் புற நீர் மட்டத்திலிருந்து 40 அடி உயரத்தில் (40' Difference) உள்ளது. இந்த அதிகமான நீர் மட்ட வித்தியாசத்தால் கால்வாயின் வழிச் செல்லும் நீரின் வேகத்தைத் தணிப்பதற்காக அந்தக் கால்வாயில் மூன்று டிராப்புகள் (I drop 13' 0"; II and III drops 12' 0" each in height) கட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த டிராப்புகள் கட்டியதால் வடிகாலிலிருந்து வரும் தண்ணீர் வேகம் தணிந்து ஆற்று நீருடன் கலக்க உதவுகிறது.

முதலில் ஆற்றின் நேர்போக்கில் வடிகால் கட்டுவதாக இருந்தது. ஆனால் ஆறு ஓடிக்கொண்டிருந்த பகுதியில் நல்ல கெட்டியான பாறை குறைந்த ஆழத்தில் கிடைக்கவில்லை. அப்படியே ஆழமாகக் கெட்டிப்பாறை வரை வெட்டி அங்கு கட்டினால் அதிகம் செலவாகும் என்ற காரணத்தால் வடிகாலை அணையின் இடது கோடியில் அமைப்பது என்ற முடிவு செய்யப்பட்டு, இடது கோடியில் வடிகால் கட்டப்பட்டுள்ளது. பெரும்பாலும் ஆற்றின் ஆழமான பாகத்தில் குறுக்கே கல்லாக கொண்டு அணை கட்டுவதுதான் வழக்கம். ஆனால் சிக்கனத்தின் அவசியத்தை முன்னிட்டு இந்த இடத்திலும் 73 அடி (22.25 மீட்டர்) உயரமுள்ள மண் அணை இந்த திட்டத்தில் அமைத்திருப்பது சிறப்பான அம்சமாகும். இந்த அணை கட்டிட வேலைகளுக்காக சுமார் 5,600 டன்கள் சிமெண்டு செலவாகியிருக்கிறது.

**நீர்த்தேக்கம்.**—இந்த நீர்த்தேக்கத்தின் கனபரிமாணம் 47.6 கோடி கன அடியாகும் (1.348 கோடி கன மீட்டர்). முழு நீர்த்த தேக்கத் தலைமட்டத்தின் பரப்பு 2.118 கோடி சதுர அடியாகும் (0.1969 கோடி சதுர மீட்டர்). நீர்ப்பிடிப்புப் பகுதியில் எந்த விதமான கிராமமோ, கட்டிடமோ பாதிக்கப்படவில்லை. அதுபோல புராதன அல்லது மத சம்பந்தமான கட்டிடங்களும் பாதிக்கப்படவில்லை.

**விநியோக முறை.**—அணையில் சேகரிக்கப்படும் தண்ணீர், தேவதானப்பட்டி, எருமலைநாயக்கன்பட்டி, வாடிப்பட்டி, கிராமங்களிலுள்ள மொத்தம் 2,000 ஏக்கர் பரப்புள்ள நிலங்கள் புஞ்சையிலிருந்து நஞ்சையாக்கப் பயன்படும், அணையிலிருந்து தண்ணீர் 4½ மைல் நீளமுள்ள ஒரு பிரதான கால்வாய் மூலம் கொண்டு செல்லப்படுகிறது. பிரதான கால்வாயில் தேவையான விவசாய மடைகள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. பிரதான கால்வாய் தலைப்பகுதியின் அளவு 5'0" x 2.75' (1.52 மீ. x 0.838 மீ.). பிரதான கால்வாயிலிருந்து இரண்டு கிளை வாய்க்கால்கள் பிரிந்தன. கிளை வாய்க்கால்களின் மொத்த நீளம் இரண்டு மைல். பிரதான

கால்வாயில் 17 விவசாய மடைகளும், 5 சிறு பாலங்களும், 10 கிணறு கீழ் நீர் போக்கிலும் (Well syphon), 9 சுரங்க நீர்வழிகளும் (Under tunnels) கட்டப்பட்டுள்ளன. பிரதான கால்வாய் முழுவதும் சிமிண்டு பாவு வேலைகள் (Cement concrete lining) செய்யப்பட்டுள்ளன.

**அணையின் மதிப்பீடு.**—இத்திட்டத்தின் மொத்தச் செலவு ரூ. 72.380 லட்சம் என்று 1958-59-ம் வருட விலைப்படியிலே வைத்து கணக்கிடப்பட்டது. ஆனால் இத்திட்டத்திற்கு உபயோகமாகும் கச்சாப் பொருள்களான சிமிண்டு, இரும்பு, எண்ணெய் பொன்றவைகளின் விலை உயர்வினாலும், தொழிலாளர்களின் ஊதிய உயர்வினாலும், அணை மட்டத்தை 5' உயர்த்தியதாலும் இந்த அணைத் திட்டத்தின் மொத்தச் செலவு ஏறக்குறைய ரூ. 109 லட்சமாகும் என்று எதிர் பார்க்கப்படுகிறது.

இத்திட்டம் 1963-ம் ஆண்டு செப்டம்பர் மாத இறுதியில் தொடங்கப்பட்டது. இந்த மஞ்சளாறு திட்டம் 4 உப கோட்டங்களைக் கொண்ட ஒரு தனிக் கோட்டத்தின் கீழ் கட்டி முடிக்கப்பட்டது. இத்திட்டத்தின் கீழ்வரும் நில ஆர்ஜித வேலைகளை கவனிக்க ஒரு தனி தாசில்தார் நியமிக்கப்பட்டிருக்கிறார். இத்திட்டத்திலுள்ள மதகுகள், கலங்கின் கண் களுக்கான இரும்புக் கதவுகள் முதலியன சென்னை பொதுப் பணித்துறைத் தொழிற் பட்டரையில் செய்யப்படுகின்றன.

இத்திட்டத்தினால் ஆண்டுதோறும் 1,005 டன் அரிசி உற்பத்தி ஆகும். அதாவது ஆண்டுதோறும் கிடைக்கும் அதிக உணவு உற்பத்தி மதிப்பு சுமார் ரூ. 6 லட்சமாகும். இதனால் இந்தப் பகுதியில் பொருளாதார நிலைமை முன்னேற்றமடையும் என்பதில் ஐயமில்லை.

## மஞ்சளாறு நீர்த்தேக்கத் திட்டம்

விவரங்களும் முக்கிய அளவுகளும்.

|                                                               |                                                             |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1 நீர் பிடிப்பின் பரப்பு .. .. .                              | 119.1 சதுர கிலோ மீட்டர்—46 சதுர மைல்கள்.                    |
| 2 நீர் மட்டத்தின் பரப்பு (முழு நீர்த்தேக்கத் தலை மட்டத்தில்). | 1.969 மில்லியன் சதுர மீட்டர்—21.18 மில்லியன் சதுர அடி.      |
| 3 நீர் மட்டத்தின் பரப்பு (வடிகாலின் தலை மட்டத்தில்).          | 1.318 மில்லியன் சதுர மீட்டர்—16.3436 மில்லியன் சதுர அடி.    |
| 4 முழு தேக்கத்தின் கன பரிமாணம் .. .. .                        | 13.48 மில்லியன் கன மீட்டர்—476 மில்லியன் கன அடி.            |
| 5 வடிகாலின் தலைமட்டத்தில் கனபரிமாணம் .. .. .                  | 8.437 மில்லியன் கன மீட்டர்—298 மில்லியன் கன அடி.            |
| 6 உச்ச வெள்ளப் பெருக்கு .. .. .                               | வினாடிக்கு 331.3 கன மீட்டர்—வினாடிக்கு 11,700 கன அடி.       |
| 7 முழு நீர்த்தேக்க மட்டம் .. .. .                             | 306.3 மீட்டர்—1,005 அடி.                                    |
| 8 வழிச்சாலையின் மட்டம் .. .. .                                | 308.7 மீட்டர்—1,013 அடி.                                    |
| 9 அணையின் மொத்த நீளம் .. .. .                                 | 1,046 மீட்டர்—3,430 அடி.                                    |
| 10 மண் அணையின் மொத்த நீளம் .. .. .                            | 1,005 மீட்டர்—3,296 அடி.                                    |
| 11 வடிகாலின் மொத்த நீளம் .. .. .                              | 40.84 மீட்டர்—134 அடி.                                      |
| 12 ஆற்றின் ஆழமான சராசரி படுகையின் மட்டம் .. .. .              | 287.23 மீட்டர்—945 அடி.                                     |
| 13 அணைக்கட்டில் அடித்தளத்தின் கீழ் மட்டம் .. .. .             | 280.60 மீட்டர்—920 அடி.                                     |
| 14 ஆற்று மத்கின் அடிமட்டம் .. .. .                            | 288.9 மீட்டர்—948 அடி.                                      |
| 15 ஆற்று மதகுகளின் கண்கள் .. .. .                             | 2 எண்ணிக்கை: 1.52 மீ. x 1.83 மீ.; 2 எண்ணிக்கை: 5' x 6';     |
| 16 பின்புற தண்ணீரின் உச்ச மட்டம் .. .. .                      | 292 மீட்டர்—958 அடி.                                        |
| 17 வடிகாலின் கண்கள் .. .. .                                   | 4 எண்ணிக்கை: 7.935 மீ. x 3.084 மீ.; 4 எண்ணிக்கை: 26' x 10'. |
| 18 வடிகாலின் தரை மட்டம் .. .. .                               | 303.3 மீட்டர்—995 அடி.                                      |
| 19 வடிகாலின் மேலுள்ள வழிச் சாலையின் அகலம் .. .. .             | 3.66 மீட்டர்—12 அடி.                                        |
| 20 மண் அணையின் உச்ச உயரம் .. .. .                             | 22.25 மீட்டர்—75 அடி.                                       |
| 21 மண் அணையின் மேலுள்ள வழிச் சாலையின் அகலம் .. .. .           | 6.1 மீட்டர்—20 அடி.                                         |
| 22 கால்வாய் மத்கின் அடிமட்டம் .. .. .                         | 299.60 மீட்டர்—983 அடி.                                     |
| 23 கால்வாய் மத்கின் அளவு .. .. .                              | 0.9143 மீ. x 1.219 மீ.—3' x 4'.                             |
| 24 பிரதான கால்வாயின் மொத்த நீளம் .. .. .                      | 7.20 கிலோ மீட்டர்—4.50 மைல்கள்.                             |
| 25 பிரதான கால்வாயிலுள்ள விவசாய மடைகள் .. .. .                 | 17—17.                                                      |
| 26 விவசாயத்திற்கு உபயோகப் புது நிலப் பரப்பு .. .. .           | 809.4 ஹெக்டார்ஸ்—2,000 ஏக்கர்.                              |
| 27 விவசாயத்திற்குப் பழைய நிலப்பரப்பு .. .. .                  | 1,315.85 ஹெக்டார்ஸ்—3,249 ஏக்கர்.                           |



வருணியாற்றின்கீழ் உள்ள 33,589 ஹெக்டார் (83,000 ஏக்கர்) நிலத்திற்கு நிச்சயமான பாசன வசதியளிக்கவும் இந்த நீர்த் தேக்கம் உதவுகிறது.

தாமிரவருணியின் மற்ற கிளை நதிகளான இராம நதி, கடனா நதி ஆகியவற்றின் திட்டங்கள் இப்போது செயல்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. 4,047 ஹெக்டார் (10,000 ஏக்கர்) நிலத்திற்கு இத்திட்டங்களால் நிரந்தரப் பாசன வசதியளிக்க முடியும். மேலும் புதிதாக சில பகுதிகள் பாசனத்தின் கீழ் கொண்டுவரப்படும்.

**கோதையாறு.**—மாநில மாற்றமைப்பின் கீழ் நம் மாநிலத்தோடு சேர்ந்த கன்யாகுமரி மாவட்டத்தில் மேற்கு நோக்கிப் பாயும் கோதையாறு, பல நூற்றாண்டுகளுக்கு முன்னாலே, கோதையாற்றின் உபநதியான பானையாற்றின் குறுக்கே கட்டப்பட்டதாகச் சொல்லப்படும் புத்தன் அணையால் நீர்ப் பாசனம் நடைபெற்று வந்தது. கோதையாற்றில் ஓர் அணையைக் கட்டி புத்தன் அணைக்கு மேல் பானையாற்றில், கோதையாற்று நீர் திருப்பி விடப்பட்டது. பெரியாறு அணைக்கட்டின் சம காலத்திய இந்த அணை 426 மீ. (1,396 அடி) நீளமுடையது. 99 மிலியன் கன மீட்டர் (3,500 மிலியன் கன அடி) இதன் கொள்ளளவு ஆகும். பிறகு முதல் ஐந்தாண்டுத் திட்டத்தில், 65 மிலியன் கன மீட்டர் (2,300 மிலியன் கன அடி) கொண்ட ஓடு நீர்த் தேக்கம் பானையாற்றில் அமைக்கப்பட்டது. இவையிரண்டும் சேர்ந்து இரூபாக சாகுபடி உள்ள 23,755 ஹெக்டார் (58,700 ஏக்கர்) நிலத்தைப் பாசனப்படுத்துகின்றன.

இரண்டு நீர்த் தேக்கங்கள் இருப்பினும் ஓரளவு மிகுதி நீர் (Surplus) வெளியாகிக்கொண்டிருப்பதாகக் காணப்பட்டது. மிகுதி நீரைப் பயன்படுத்த சித்தாறு-பட்டணங்கால் திட்டம் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இத்திட்டத்தில் கோதையாற்றின் இரு உப நதிகளான சித்தாறு I, சித்தாறு II என்னும் இவற்றிற்குக் குறுக்கே அணைகள் கட்டப்பட்டு, இப்போதுள்ள இரு நீர்த் தேக்கங்களின் கொள்ளளவு அதிகப்படுத்தப்படும். உயர் நீரைப் பயன்படுத்த பல கால்வாய்கள் வெட்டப்படும். இப்பகுதியில் நிலப் பரப்பு குறைவாக உள்ளதால் எல்லா நீரையும் உபயோகப்படுத்த முடிவதில்லை. எனவே கன்யாகுமரி மாவட்டத்திற்குத் தேவையான நீரைக் கொடுத்த பின் புதிய கோதையாற்றுக் கால்வாய்த் திட்டத்தின் கீழுள்ள நிலப் பரையிலிருந்து புதிய கால்வாய் வெட்டி அதன் மூலம் நீரைக் கிழக்காகத் திருப்பித் திருநெல்வேலி மாவட்டத்திலுள்ள நாங்குநேரி தாலுக்காவிற்குப் பயனுறச் செய்யப்படும். 6.7 கோடி ரூபாய் மதிப்புடைய இத்திட்டத்தால் 19,020 ஹெக்டார் (47,000 ஏக்கர்) [(12,140 ஹெக்டார்) (30,000 ஏக்கர்) நஞ்சை, 6,880 ஹெக்டார் (17,000 ஏக்கர்) பஞ்சை நிலம்] பயனடையும்.

**நெய்யாறு.**—அருகிலுள்ள கோள மாநிலத்தில் நெய்யாறு நதி பாய்கிறது. நதியின் குறுக்கே ஒரு நீர்த் தேக்கமும், இரு பக்கங்களிலும் கால்வாய்களும் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இடக் கரையிலுள்ள கால்வாய் தமிழகத்தின் விளிம்பைத் தொட்டுச் செல்லுகிறது. கன்யாகுமரி கிளை எனப்படும் கிளைக் கால்வாய் இங்கே துவங்குகிறது. 21 கி.மீ. (13 மைல்) நீளமுள்ள இது தமிழகத்தில் 2,428 ஹெக்டார் (6,000 ஏக்கர்) நிலத்திற்குப் பாசன வசதியளிக்கிறது.

**வெள்ளாறு.**—காவிரியின் வடக்கே தென்னாற்காடு மாவட்டத்தில் ஒரு வடசம் ஏக்கர் பரப்புள்ள நிலத்திற்கு தண்ணீர் வசதியளிக்கும் வெள்ளாறு உள்ளது. இவ்வாற்றிலும் இதன் உப நதிகளிலும் பல கலிங்கல்கள் (weirs) உள். இவற்றில் முக்கியமானவை தொழுதாரிலும், சேத்தியதோப்பிலும் உள்ளது. முதலில் சொல்லப்பட்ட தொழுதாரிலும்

மூலம் நீரைத் திருப்பி வெலிங்டன் நீர்த் தேக்கத்தில் சேர்த்து வைக்கப்படுகிறது. இந்த சிறு நீர்த் தேக்கம் 1925-ம் ஆண்டில் அமைக்கப்பட்டது. இதன் மூலம் மட்டும் சுமார் 11,331 ஹெக்டார் (28,000 ஏக்கர்) நிலம் பயனுறுகின்றது.

இவ்வாற்றின் முக்கிய உப நதிகள் கோமுகி நதியும், மணிமுக்தா நதியும் ஆகும். 16 மிலியன் கன மீட்டர் (560 மிலியன் கன அடி) கொள்ளளவு நீர்த் தேக்கமொன்றை திட்டத்தில், 8-7 மிலியன் ரூபாய் செலவில் ஓர் அணைகட்டப் பட்டு வருகிறது. இதனால் 10 கி.மீ. (6½ மைல்) நீளமுள்ள கால்வாயின் உதவியால் 2,023 ஹெக்டார் (5,000 ஏக்கர்) நிலம் பயனடையும்.

மற்ற உபநதியான மணிமுக்தா நதியிலும், 21 மிலியன் கன மீட்டர் (728 மிலியன் கன அடி) கொள்ளளவு உள்ள ஒரு நீர்த் தேக்கம் அமைக்கும் வேலை இப்போது செயல்பட்டு வருகிறது. இந்த நீர்த் தேக்கத்தினால் 1,619 ஹெக்டார் (4,000 ஏக்கர்) நிலம் பாசன வசதி பெறும்.

**பொன்னையாறு.**—காவிரியாற்றிற்கு வடக்கே இன்னும் சற்று தள்ளியிருப்பது பொன்னையாறு. மைசூர் மாநிலத்தில் உற்பத்தியாகும் இந்த ஆறு முடிவில் அண்டையிலுள்ள பாண்டிச்சேரி மாநிலத்திற்கும் பாசன வசதியளிக்கிறது. இவ்வாற்றின் குறுக்கே பல நேர்முக வாய்க்கால்களும் (direct channels), அணைக்கட்டுகளும் உள். அவற்றுள் முக்கியமானது திருக்கோவிலூர் அணைக்கட்டாகும்.

முதலிரண்டு ஐந்தாண்டுத் திட்டங்களில் இவ்வாற்றில் இரு நீர்த் தேக்கங்கள் அமைக்கப்பட்டன. இவற்றில் முதலாவதான கிருஷ்ணகிரி நீர்த் தேக்கம் கிருஷ்ணகிரி நகரிலிருந்து சுமார் 8 கி.மீ. (5 மைல்) தொலைவில் உள்ளது. இதன் கொள்ளளவு 68 மிலியன் கன மீட்டர் (2,400 மிலியன் கன அடி). இத்தேக்கத்திலிருந்து பக்கத்திற்கு ஒன்றாக இரு வாய்க்கால்கள் வெட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றுல் நிலம் பயன் பெறுகிறது. மட்டுமே ஒரு நீர்த் தேக்கமான சாத்தனூர் நீர்த் தேக்கம் திருவள்ளூர்மேலிலிருந்து 35 கி.மீ. (22 மைல்) தொலைவில் உள்ளது. வட ஆற்காடு, ஏக்கர்) நிலத்திற்குப் பயனளிக்கும் இத்தேக்கத்தின் கொள்ளளவு சுமார் 130 மிலியன் கன மீட்டர் (4,600 மிலியன் கன அடி) ஆகும். 35 கி.மீ. (22 மைல்) நீளமுள்ள கால்வாய், மலைகள் இரு பக்கங்களிலும் இருப்பதால், அணையிலிருந்து துவங்கவில்லை. ஆகவே, அணைக்குக் கீழே (pickup anicut) கட்டப்பட்டு அதிலிருந்து கால்வாய் பிரிந்து செல்கிறது.

மூன்றாவது ஐந்தாண்டுத் திட்டத்தில் 6 மிலியன் ரூபாய் செலவில் வழிநீர்ப் பாதையின் மேல் 6 மீ. (20 அடி) உயரமுள்ள கதவுகளைப் பொறுத்த கொள்ளளவு 229 மிலியன் கன மீட்டர் (8,100 மிலியன் கன அடி) ஆக உயர்த்தப்பட்டது. மேலும் பக்கத்திலுள்ள இடத்தில் 12 மீட்டர் (40 அடி) நீளமுடைய 11 கண்கள் (spans) கொண்ட நீர், திருக்கோவிலூர் அணைக்கட்டுத் தொகுப்பில் (anicut system) உள்ள 2,023 ஹெக்டார் (5,000 ஏக்கர்) நிலப் பரப்பிற்கு இரண்டாவது சாகுபடிக்குப் பயனளிக்கிறது.

**வராக நதி.**—பொன்னையாற்றிற்கு வடக்கில் பாயும் வராக நதி மிகச் சிறிய ஆறு ஆகும். இவ்வாற்றிலும் பல அணைக்கட்டுகள் ஏற்படுத்தப்பட்டு சென்னை, பாண்டிச்சேரி

மாநிலங்களுக்குப் பாசன வசதியளிக்கப்படுகிறது. மிகுதி நீரைச் சேமித்து வைக்கவும், பாசன வசதிகளைப் பெருக்கவும் 17 மிலியன் கன மீட்டர் (405 மிலியன் கன அடி) கொள்ளளவு கொண்ட ஓடு சிறிய நீர்த் தேக்கம் அமைக்கப்பெற்றுள்ளது. இது திண்டிவனத்திலிருந்து 16 கி.மீ. (10 மைல்) தொலைவில் உள்ளது. இது 1,295 ஹெக்டார் (3,200 ஏக்கர்) நிலத்திற்குப் பாசனமளிக்கிறது. இதில் 405 ஹெக்டார் (1,000 ஏக்கர்) பாண்டிச்சேரியிலும் மிகுதி சென்னை மாநிலத்திலும் உள்ளது.

**பாலாறு.**—பாலாறு வராக நதிக்கு வடக்கே உள்ளது. குறைந்தளவு நீரைக் கொண்டவரும் பாலாறு மைசூரில் உற்பத்தியாகிறது. செய்யாறு, பொன்னையாறு ஆகிய இரண்டு ஆறுகளும் அதன் முக்கிய உப நதிகளாகும். இவை பல ஏரிகளை நிரப்புகின்றன. இவைகளில் காவிரிப்பாக்கம், தாசி மாமனூர் ஆகிய இரண்டும் மிக முக்கிய ஏரிகள். மற்ற ஆறுகளில் கணிசமான அளவு வெள்ளமில்லாதிருப்பினும் பாலாற்றுப் படுகை மட்டும் சுமார் 61,000 ஹெக்டார் (1,50,000 ஏக்கர்) நிலத்திற்குப் பாசன வசதியளிக்கிறது.

ஆற்று மட்டத்திற்குக் கீழே அமைந்துள்ள நீர்ப் படிவம் (Aorvian) இவ்வமைப்பால் ஆண்டு முழு கிறந்த அம்சமாகும். இவ்வமைப்பால் ஆண்டு முழு வதும், தொடர்ச்சியாக ஊற்றுப் பெருக்கின் காரணமாக நீரோட்டம் உண்டு. கரையோரமாக வாழும் மக்கள் இந்த ஊற்று நீரை மிகுதியாக உபயோகிக்கின்றனர். இதற்கு ஓரளவு இடையூறு நேரிலும், மக்கள் தண்ணீரின் மிகவும் துன்பமடைவர். எனவே, ஊற்றுக் கால்வாய்கள், ஊற்றுத் தலைப்பு (spring channels and head) இவற்றிலிருந்து குறிப்பிட்ட தூரத்திற்கு அப்பால் மட்டுமே கிணறுகள் வெட்டலாம், நீரைக்கலாம் என்பன போன்ற கட்டுப்பாடுகளை மேற்கொள்ள வேண்டிய தேவை ஏற்படுகிறது. “ஆற்றுப் பெருக்கற்று அடிசும் அந்நாளும், ஊற்றுப் பெருக்கால் உலகட்டும்” என்னும் பெருமை இந்தநிக் கேயுரிய தனிப் பெருமையாகும். இராணிப் பேட்டைக்கு அருகிலுள்ள பாலாறு அணைக்கட்டு 317 ஏரிகளை நிரப்புவதற்கு வேண்டிய நீரைத் திருப்பிவிட உதவுகிறது. இவற்றுல் சுமார் 32,780 ஹெக்டார் (81,000 ஏக்கர்) நிலம் பயனடைகிறது. 1857-ம் ஆண்டில் இந்த அணைக் கட்டப்பட்டது. காலப் போக்கில் இந்த இடத்திலும், அணைக்கட்டிலிருந்து புறப்படும் 4 முக்கிய வாய்க்கால்களிலும் வண்டல் படிய ஆரம்பித்தது. எனவே மூன்றாவது ஐந்தாண்டுத் திட்டத்தில் 48 லட்ச ரூபாய் செலவில் வாய்க்கால்களிலுள்ள வண்டலைப் போக்கவும், அணைக்கட்டு மற்றும் ஓர்த் ஏரிகள் ஆகியவற்றைத் திறப்படுத்தவும் ஓர்த் திட்டம் ஏற்படுத்தப்பட்டு முடிவடைந்து விட்டது. எல்லா மிகுதியான நீரால் நிரப்பப்பட்டு பாசன வசதியும் வெற்றிப் பெறத்தக்க வகையில் அளிக்கப்படுகிறது.

**அடையாறு, கூவம்.**—அடையாறு, கூவம் ஆகியவைகள் பாலாற்றுக்கு வடக்கேயுள்ள சிறு ஓடைகள் ஆகும். இவை கடலில் கலக்கு முன்பு தமிழகத்தின் தலைநகரம் சென்னை நகர் வழியே பாய்கின்றன. இவ்வாறுகளின் வடி பரப்பில் அநேக ஏரிகள் உள். திறந்த கால்வாய்களின் மூலம் இந்த ஏரிகள் தங்களுக்கு வேண்டிய நீரைப் பெறுகின்றன. 5,463 ஹெக்டார் (13,500 ஏக்கர்) நிலத்திற்கு பாசன வசதியளிக்கும் செய்பரம் பாக்கம் ஏரியைக் கூவம் நிரப்புகிறது.

**குசல் தலையாறு.**—குசல்தலையாறு சென்னை மாநகருக்குச் சற்று வடக்காக உள்ளது. இவ்வாற்று நீர் பெரும்பாலும் சென்னை நகரில் குடி தண்ணீர் விநியோகத்திற்காக உபயோகப்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. நகரின் குடிநீர்ப் பிரச்சினையைப் போக்கும் வண்ணம் 1945-ம் ஆண்டில் 78 மிலியன் கன மீட்டர் (2,750 மிலியன் கன அடி) கொள்ளளவு கொண்ட பூண்டி நீர்த்தேக்கம் ஏற்படுத்தப்பட்டது. ரெட்ஹில்ஸ், சோழவரம் ஆகிய ஏரிகளுக்கு இந்த ஆறு நீர் அளிக்கிறது. சிறிய அளவு நிலப் பரப்பிற்குப் பாசன வசதியளிப்பதுடன் சென்னை நகர குடி தண்ணீர் விநியோகத்திற்கு முக்கிய ஆதாரமாக இவை விளங்குகின்றன.

**ஆரணியாறு.**—தமிழகத்தின் வட கோடியிலுள்ள ஆறு ஆரணியாறு ஆகும். ஆற்றில் எப்பொழுதாவது வரும் நீர், பல ஏரிகளை நிரப்புகின்றது. முதல் ஐந்தாண்டுத் திட்டத்தின் கீழ், ஏற்கனவே ஏரிப் பாசனத்தில் பயனுறும் நிலங்களுக்கு பாசன வசதியை ஸ்திரப்படுத்தவும், மேலும் புதிய நிலங்களுக்குப் பாசன வசதியளிக்கவும், ஓர் புதிய நீர்த் தேக்கம் அமைக்கப்பட்டது. ஆனால் இந்த நீர்த்தேக்கம் மாநில மாற்றமைப்பின் காரணமாக ஆந்திர மாநிலத்தில் சேர்க்கப்பட்டுவிட்டது. சென்னை மாநிலத்தில் இவ்வாற்றில் உள்ள ஒரே கால்வாய் அணைக்கு கீழே 11 மைல் தொலைவில் உள்ள சுருட்டைப்பள்ளி அணைக்கட்டிலிருந்து புறப்படுகிறது. இதனால் சுமார் 2,455 ஹெக்டார் (6,066 ஏக்கர்) நிலம் பயனுறுகின்றது.

புதிதாக ஏற்பட்டுள்ள நீர்த் தேக்கங்கள் அனைத்திற்கும் பொதுவாக உள்ள தனிக்கூறு என்னவென்றால், ஆற்றில் குறைவாக ஓடும் நீரெல்லாம் பழைய பாசனப் பகுதிக்ே உரிமையாகிறது. வெள்ளப் பெருக்கின் காரணமாக வரும் நீர் மட்டுமே நீர்த் தேக்கங்களால் சேமித்து வைக்கப்படுகின்றது. தர்க்க ரீதியாகச் சொல்ல வேண்டுமாயின் பழைய பாசனப் பகுதிகளுக்கு இந்தப் புதிய நீர்த் தேக்கங்களில் சேமித்து வைக்கப்பட்ட நீரின் மீது எவ்வித உரிமையும் கிடையாது என்பதாகும். ஆயினும் நடைமுறையில் பழைய பாசனப் பகுதிகளுக்கும் தலிர்க்க முடியாத நெருக்கடியான சமயங்களில் தக்க உதவிகள் அளிக்கப்படுகின்றன. நிலைமைகள் அனுமதிக்கும்போது பல புதிய பகுதிகளுக்கும் பாசன வசதி அளிக்கப்படுகின்றன. முன்பே பாசன வசதியளிக்கப்பட்டு வந்த நிலங்களுக்குத் தேவையான நீரையும், புதிய நிலங்களுக்கான நீரையும் சேமித்து வைக்கும் அளவிற்கு சில நீர்த் தேக்கங்கள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

**பரம்பிக்குளம்-ஆனியாறு.**—சமீபத்தில், பூர்த்தியான பரம்பிக்குளம்-ஆனியாறு திட்டந்தான் இரண்டாவது ஐந்தாண்டுத் திட்டத்தில் சேர்க்கப்பட்டு நம் மாநிலத்தில் செயல்படுத்தப்பட்ட மிக முக்கியமான பெரிய திட்டமாகும். பல நோக்குத் திட்டமான இது மேற்கு மலைத் தொடரில் உற்பத்தியாகி மேலைக் கடலில் கலக்கும் பல ஆறுகளின் நீரை உபயோகப்படுத்தி உதவி புரிகிறது. பாலக் காட்டிற்குத் தெற்கில், மேற்கு மலைத் தொடரின் ஒரு பகுதிதான் ஆனமலைத் தொடர் எனப்படுவது. எல்லாத் திசைகளிலும் பாய்கின்ற ஆறுகள் இங்கிருந்துதான் உற்பத்தியாகின்றன. வகரியாறு, உப்பாறு, ஆனியாறு, பாலாறு ஆகியவைகள் வடபுறமும், அமராவதி கிழக்கு புறமும், நீராறு தென்புறமும், கோலையாறு, பாப்பிக்

குளம் ஆகியவை மேற்குப்புறமும் பாய்கின்றன. வடக்குத் திசையில் உள்ள ஆறுகள் ஒன்றுசேர்ந்து பாரதப் புழா என்னும் பெயரைப் பெறுகின்றன. அதுபோலவே சோலையாறு, பரம்பிக்குளம் ஆகிய ஆறுகள் அவைகள் உற்பத்தியாகும் இடத்திற்குக் கீழே ஒன்று சேர்ந்து “கலக்குடி” எனும் பெயரைப் பெறுகின்றன. பெரியாற்றின் துணை உபநதி (Subtributary) நீராறு ஆகும். மேற்கே பாயும் இவ்வாறுகளை உபயோகப்படுத்தும் எந்தத் திட்டத்திற்கும் கேரள மாநிலத்தின் ஒப்புதலும் ஒத்துழைப்பும் வேண்டும். இவ்வாறுகளின் நீரை பகிர்ந்துகொள்ளும் திட்டத்தை இரு மாநிலங்களும் ஒப்புக்கொண்டது ஒரு நல்ல அறிகுறியாகும்.

சென்கோடு விலையும் உயர வரம்பான 1,143 மீ. (3,750 அடி) உயரத்தில் நீராற்றில் ஒரு கலிங்கல் (weir) கட்டப்பட்டு 4 கி. மீ. (2½ மைல்) நீளமும் 45 கன மீட்டர் (1,600 கன அடி) கொள்ளளவும் உள்ள சுரங்கப் பாதை மூலம் நீராற்றின் தண்ணீர் அருகிலுள்ள சோலையாறு பள்ளத்தாக்கிற்குத் திருப்பி விடப்படும். இந்த நீரையும், சோலை யாற்றின் மிகுதி நீரையும் சேமித்து வைக்க பன்னிமடை எஸ்டேட் எல்லைக்குள் சோலை யாற்றிற்கு குறுக்கே ஓர் அணை கட்டப்படுகிறது. சோலையாறு அணையிலிருந்து விடப்படும் நீரை கேரள மாநிலத்தில் உபயோகப்படுத்த, அணையிலிருந்து 914 மீட்டர் (3,000 அடி)க்குக் கீழே ஒரு மின் சக்தி நிலையம் அமைக்கப்படுகிறது. சோலையாற்றின் நீரை பரம்பிக்குளம் பள்ளத்தாக்கிற்குக் கொண்டு செல்ல 2,682 மீ. (8,800 அடி) நீளமுள்ள ஒரு சுரங்கப் பாதை வெட்டப்படுகிறது. இதன் முடிவில் கிடைக்கும் 396 மீ. (1,300 அடி) அழுத்தச் சக்தி மின்னூற்பத்திக்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

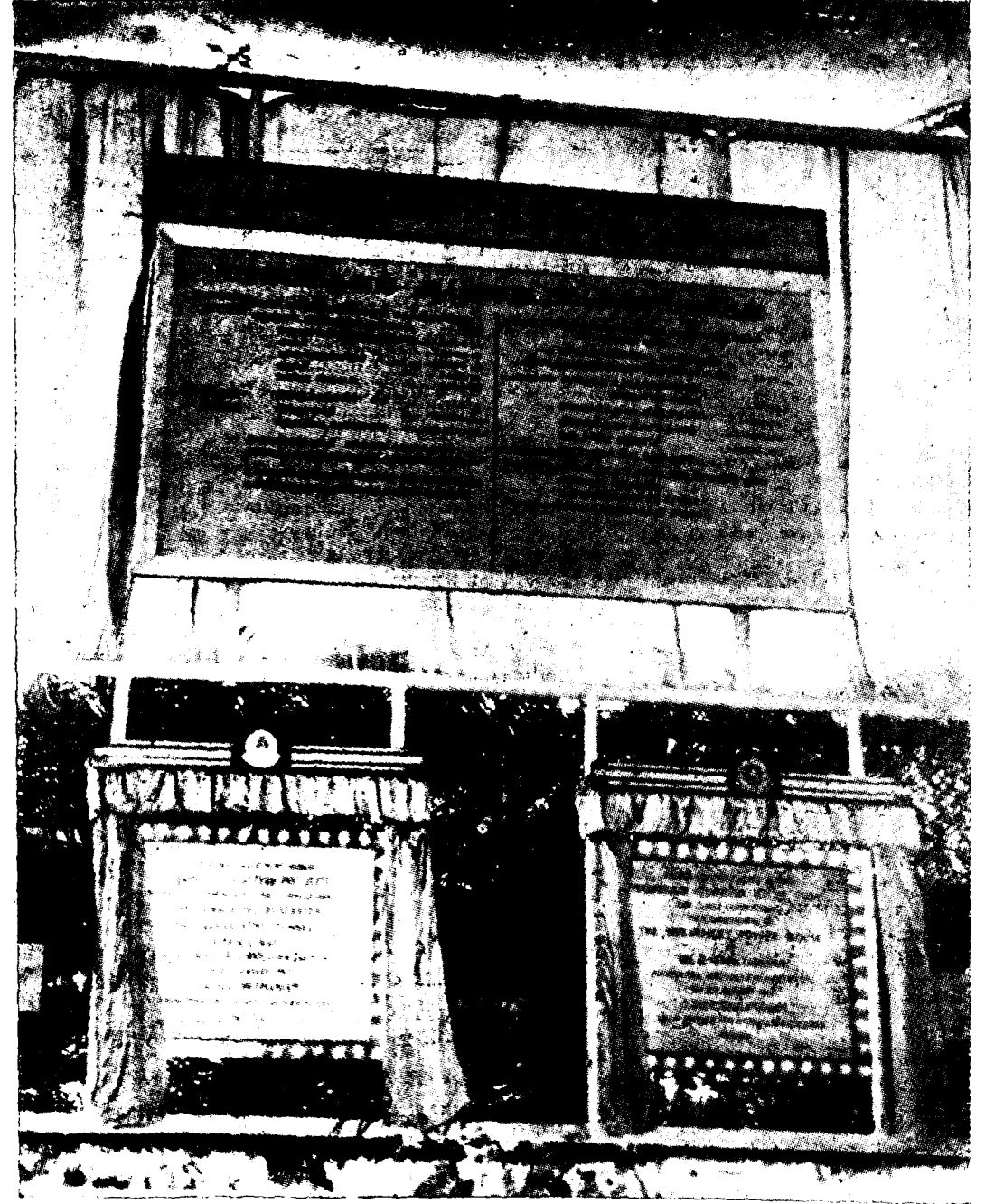
இதிலிருந்து வெளியேறும் நீர் பரம்பிக்குளம் ஆற்றில் போய்ச் சேரும். இதன் குறுக்கே கேரள மாநிலத்தின் எல்லைக்குள் புலிக்கல்லாடி என்னுமிடத்தில் 61 மீ. (200 அடி) உயரமுள்ள ஓர் அணைக்கட்டப் பட்டிருக்கிறது. இவ்விரு ஆறுகளிலிருந்தும் திருப்பி விடப்பட நீரை 473 மிலியன் கன மீட்டர் (16,700 மிலியன் கன அடி) கொள்ளளவுள்ள இம்முக்கிய நீர்த் தேக்கத்தில் தேக்கி வைத்து மின்னூற்பத்திக்கும், பாசனத்திற்கும் தேவைப்படும்பொழுது தகுந்த அளவு கொடுக்கப்படும். பரம்பிக்குளம் நீர்த் தேக்கத்திலிருந்து சுரங்கப் பாதையின் வழியாக நீர் துணைக்கடவு பள்ளத்தாக்கிற்குக் கொண்டுவரப்படுகிறது. இங்கே மீண்டும் அந்நீரைத் தேக்கி, உண்டாகும் துணைக் கடவுத் தேக்கம் சமன் செய்யும் நீர்த் தேக்க மாக்கப் படுகிறது (Balancing reservoir). அருகிலுள்ள பெருவாரிப்பள்ளம், தேக்கடி முதலிய ஆறுகளின் குறுக்கே அணைகளை எழுப்பி, அந்நீரையும், துணைக்கடவுக்குத் திருப்பிவிடப்படும். துணைக்கடவிலிருந்து புறப்படும் 4 கி. மீ. (2½ மைல்) நீளமுள்ள சுரங்கப் பாதையின் வழியாக சென்னை மாநிலத்திலுள்ள சர்க்கார்ப்பதி மின் நிலையத்திற்கு தண்ணீர் கொண்டு வரப்படும். இங்கே 91 மீ. (300 அடி) உயர அழுத்தத்தில் மின் சக்தி உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது.

சர்க்கார்ப்பதி மின் நிலையத்திலிருந்து வெளியாகும் நீர் இரு கால்வாய்கள் வழியாக எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. உயரத்திலுள்ள சம மட்டக் கால்வாய் (contour canal) 5 கி. மீ. (3 மைல்) நீளமுள்ள பெரிய சுரங்கப் பாதையையும், 5 கி. மீ. சுரங்கப் பாதையையும் கடந்து கரடு முரடான ஆனையூர் சரிவுகளில் 51 கி. மீ. (32 மைல்) தூரம் ஓடிய பின் தலி எலுமிடத்தில் பாணாற்றின் குறுக்கே கட்டியிருக்கும் திருமூர்த்தி நீர்த் தேக்கத்திற்கு நீரை எடுத்துச் செல்கிறது. கீழ் மட்டத்திலுள்ள ஆளியாற்று கால்வாய் (Aliyar feeder canal) பொள்ளாச்சி வரம்பான பாதையில் உள்ள வண்ணன்துறையிலிருந்து 2 கி. மீ. (1½ மைல்) தூரத்தில் ஆளியாற்றின் குறுக்கே ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கும் நீர்த் தேக்கத்திற்கு ஒரு பகுதி நீரை அளிக்கிறது. ஆளியாற்றில் இப்பகுதியாக ஓடும் நீர் 434 மீ. (1,424 அடி) அழுத்த சக்தியில் (head) மின்சார உற்பத்திக்குப் பயன்படுத்தப்படும். இம் மின் நிலையம் ஆளியாறு நீர்த் தேக்கத்தின் முன்புறத்தில் அமையும். இவ்விரு நீர்த் தேக்கங்களும், கோவை மாவட்டத்தைச் சேர்ந்த பொள்ளாச்சி, உடுமலைப் பேட்டை, பல்லடம், தாராபுரம் தாலுகாக்களில் சமார் 97,125 ஹெக்டார் (240,000 ஏக்கர்) நிலப் பரப்பிற்குப் பாசன வசதி அளக்கும். இப்பரப்பில் ஐந்தில் ஒரு பங்கு நஞ்சையாகும். மீதம் முழுவதும் புஞ்சை நிலமாகும். கால்வாய்களில் நீர் ஊறி வீணாவதைக் குறைக்க கால்வாய் எல்லாக் கால்வாய்களுக்கும் கால்கிரீட் பூச்சு (lining) கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. நிலத்தின் கீழ் வடியும் நீர் வடிகால் வழியின் (Drainage Course) குறுக்கே சில அணைகள் அமைக்கப்பட்டு மீண்டும் பாசனத்திற்காகப் பயன்படுத்தப்படும். அமையப்பெறும் நான்கு மின் நிலையங்களிலிருந்து மொத்தம் 180,000 கிலோ வாட் மின்சக்தி கிடைக்கும்.

எழு நீர்த் தேக்கங்கள், 25 கி. மீ. (15½ மைல்) நீளமுள்ள சுரங்கப் பாதைகள், ஒரு கலிங்கல், பெரும் பாலும் மலைச் சரிவுகளில் ஓடும் 51 கி. மீ. (32 மைல்) நீளமுள்ள சம மட்டக் கால்வாய் (Contour canal) 280 கி. மீ. (174 மைல்) நீளமுள்ள கால்கிரீட் பூச்சுக்களால் திறப்படுத்தப்பட்ட கால்வாய்கள் (lined canal) 644 கி. மீ. (400 மைல்) நீளமுள்ள கிளைக் கால்வாய்கள் (Branches) 966 கி. மீ. (600 மைல்) நீளமுள்ள கிறு வாய்க்கால்கள் ஆகிய இவ்வளவையும் கொண்டது இப்பெரும் பரம்பிக்குளம் ஆளியாறு திட்டம். இப் பாசனத் திட்டத்திற்கு மட்டும் சுமார் 380 மிலியன் ரூபாய் செலவாகும்.

1959-ம் ஆண்டில் துவங்கப்பட்ட இத்திட்டம் மிக விரைவாகச் செயல்படுகிறது. ஆளியாறு அணை ஏற்கனவே கட்டி முடிக்கப்பெற்று திட்ட நிலங்களில் (Project Lands) ஒரு பகுதிக்குப் பாசன வசதி அளிக்கப்பட்டு வருகிறது. திருமூர்த்தி அணையிலிருந்து செல்லும் பரம்பிக்குளம் முக்கிய கால்வாயிலும் பாசன நீர் விடப்பட்டிருக்கிறது. இத்திட்டம் 1968-ம் ஆண்டில் முடிவுறும் என எதிர்பார்க்கப்படுகிறது.

COMMISSIONING OF THE PARAMBIKULAM-ALIYAR PROJECT WORKS



VIEW OF THE TABLEUX