

# **Analyse av vannforbruk i Kizilirmak ved bruk av WEAP- modellen**

*Effekter av klimaendringer og økt vannuttak*

**Jørgen Melhuus Rugelbak**

Bygg- og miljøteknikk (2-årig)

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Knut Alfredsen, IVM

Medveileder: Tor Haakon Bakken, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk



# Oppgavestilling



## M.Sc. thesis in Hydraulic and Environmental Engineering

**Candidate:** Jørgen Rugelbak  
**Title:** Analysis of water consumption in Kizilirmak using the WEAP model  
**Subtitle:** Effects of climate change and increased water use

### 1 BACKGROUND

Climate change and the needed reductions in the use of fossil fuels call for further development of renewable energy sources. The IPCC Special Report on Renewable Energy – SRREN (IPCC, 2012) presents an overview of the potential volume of energy from the various technologies and benchmarks them with respect to a set of criteria, including ‘how much water is need to produce 1 MWh, sometimes entitled as the water footprint of energy production. The outcome of this benchmarking indicated that most technologies consume in the range 1-5 m<sup>3</sup>/MWh, while the numbers on hydropower were very sparse and appeared very inconsistent ranging from a minimum value close to 0 m<sup>3</sup>/MWh and a maximum value of 209 m<sup>3</sup>/MWh. More recent studies (Mekonnen and Hoekstra, 2012; Demeke et al., 2013; Bakken et al., 2013) indicate that the water consumption values of hydropower might be even far beyond those numbers presented by IPCC (IPCC, 2012). The main cause of the high numbers was the evaporation losses from the surface of the reservoirs. A recent and comprehensive review revealed, however, a weak methodological basis (Bakken et al, 2013). One of the aspects raised in the critique was the fact the establishment of reservoirs, being the only the one large-scale measure to store water from the wet to the dry season, i.e. increasing the availability of water for drinking water supply, irrigation and hydropower production, as well as reducing the potential for devastating floods. Acknowledging the fact that climate change, population growth, economic development, increased needs for food production will put additional pressure on the available water resources (Bates et al., 2008), and a careful design, operation and management of the infrastructure to store and distribute water is needed.

The thesis will analyze how climate changes and increased water use will affect water consumption and the availability of water for various purposes, including irrigation, drinking water supply and hydropower production. The study will be carried out using Kizilirmak River Basin in central Turkey as the case. Statkraft is one of the hydropower producers in the river basin as the owner of Kargi hydropower plant, located in the downstream area of Kizilirmak River.

## **2 MAIN QUESTIONS FOR THE THESIS**

Configure a hydrological/water allocation model (WEAP) for Kizilirmak River Basin. This task will involve the following subtasks:

- Compile and process the needed climatic and hydrological data, as well as data on reservoirs, hydropower installations, water withdrawal, etc. in order to perform simulations with WEAP.
- Calibrate the model in order to simulate the historical conditions in Kizilirmak River Basin.
- Carry out selected statistical analysis to evaluate the 'goodness of fit' of the model setup.

Define a set of future scenarios ('what-if analyses), analyze the role of the reservoirs, and how the different water users in the river basin are affected. Possible scenarios:

- Today's water use (irrigation volumes and pattern, reservoirs, and hydropower production), combined with observed (climatic and hydrological) dry years.
- Today's water use (irrigation volumes and pattern, reservoirs, and hydropower production), combined with observed (climatic and hydrological) wet years.
- Planned and future water use, i.e. planned extensions of areas of irrigation. Carry out simulations for both dry and wet years.

## **3 SUPERVISION, DATA AND INFORMATION INPUT**

Professor Knut Alfredsen will be responsible for the thesis and PhD student Tor Haakon Bakken will be the main supervisor of the thesis work. Discussion with and input from colleagues and other research or engineering staff at NTNU, SINTEF, power companies or consultants are recommended. Significant inputs from others shall, however, be referenced in a convenient manner.

The research and engineering work carried out by the candidate in connection with this thesis shall remain within an educational context. The candidate and the supervisors are therefore free to introduce assumptions and limitations, which may be considered unrealistic or inappropriate in a contract research or a professional engineering context.

## **4 REPORT FORMAT AND REFERENCE STATEMENT**

The thesis report shall be in the format A5. It shall be typed by a word processor and figures, tables, photos etc. shall be of good report quality. The report shall include a summary, a table of content, lists of figures and tables, a list of literature and other relevant references and a signed statement where the candidate states that the presented work is his own and that significant outside input is identified. The report shall have a professional structure, assuming professional senior engineers (not in teaching or research) and decision makers as the main target group.

Trondheim 7<sup>th</sup> of January 2014

---

Professor Knut Alfredsen

## Sammendrag

I 2009 kjøpte Statkraft en portefølje med tre tyrkiske vannkraftprosjekt; Cakit (20 MW), Kargi (102 MW) og Cetin (517 MW) i tre separate vassdrag. Med disse tre kraftverkene vil Statkraft i 2015 ha en gjennomsnittlig årsproduksjon på rundt 2 TWh i Tyrkia. Etterspørselen etter elektrisitet i Tyrkia har økt mer enn 8 % hvert år siden 2000 og Tyrkia har større potensiale for vannkraft enn de fleste land i Europa. Omleggingen fra fossilt brennstoff til fornybar energi taler for ytterligere utbygging av vannkraft i Tyrkia, som fortsatt har om lag 50 % av det lønnsomme potensialet for vannkraft tilgjengelig. Ferskvannet brukes imidlertid også til andre formål, der jordbruk er sektoren med det høyeste vannforbruket. Vanningsbehovet til matproduksjon øker når folketallet vokser. Kombinert med mindre nedbør og høyere fordampning kan vannressursene i Tyrkia til slutt nå et kritisk punkt. Det forventes å være knapphet på ferskvann i Tyrkia innen 2030 dersom definisjonene i Falkenmark- indikatoren brukes.

Ett av hovedmålene med denne masteroppgaven har vært å analysere hvor sensitivt tilsiget til og produksjonen ved Kargi kraftverk er for klimaendringene og økt vannuttak. Kraftverket bygges i elven Kizilirmak i Tyrkia. En hydrologisk modell av elven har blitt etablert med verktøyet Water Evaluation And Planning (WEAP). Tre ulike numeriske kriterier; NSE, RSR og PBIAS, har blitt brukt til å vurdere kalibrering og validering, som har vist at modellen presterer akseptabelt både ved Kargi kraftverk og ved utløpet til Svartehavet. Modellen inneholder 57 jordvanningsanlegg og 12 vannkraftsanlegg, inklusive planlagte anlegg. Penmans ligning er benyttet til beregning av fordampning fra vannkraftsmagasinerne. Fordampningsberegningene er brukt til å beregne «Water Footprint» - verdier ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ ) for de ulike scenarioene. Scenarioene er basert på forventede klimaendringer i rapporten «Climate Change 2013» av FNs klimapanel, der det om sommeren forventes opp mot 3 °C høyere temperaturer og ned mot 10 % mindre nedbør i Tyrkia. Et slikt klimabilde er i følge IPCC konsekvensene av den nest mest moderate utslippsvarianten. Videre må leseren være klar over to svakheter ved modellen; at den mangler både grunnvanns- og snømodellering. Konsekvensen av dette er at modellen er mer følsom for mindre nedbør enn den virkelige Kizilirmak, fordi eneste kilde til avrenning i modellen er nedbør.

De viktigste resultatene i denne rapporten viser at Kizilirmak er svært sensitiv for de forventede klimaendringene, selv når det nest mest moderate utslippet av klimagasser benyttes. Om 40 år kan Kizilirmak føre hele 40 % mindre vann til Svartehavet enn mellom 1990 og 1995, kun på grunn av klimaendringer. Dersom alle planlagte irrigasjonsanlegg bygges vil reduksjonen øke ytterligere 10 %. Konsekvensene for Kargi kraftverk er at produksjonen blir 2/3 av dagens forventede produksjon. Samlet produksjon for kraftverkene som eksisterte i 1995 kan være 7 TWh lavere om 40 år, og enda 2 TWh lavere dersom all planlagt irrigasjon utbygges. Samtidig leder varmere klima til 10 % mer fordampning fra vannkraftmagasinene. Dette gir økende «Water Footprint» - verdier i fremtiden. Med unntak av de aller største magasinene overstiger verdiene sjeldent 200  $\text{m}^3/\text{MWh}$ , i likhet med IPCC sine verdier.

## Abstract

The demand for electricity in Turkey has increased by more than 8 % each year since 2000. Turkey has greater potential for hydropower than most countries in Europe and about 50 % of the viable potential for hydropower is estimated to still be available. Climate change and the subsequent need for reductions in use of fossil fuels call for further development of hydropower in this country. In 2009, Statkraft acquired a portfolio of three hydropower projects in Turkey; Cakit (20 MW), Kargi (102 MW) and Cetin (517 MW) in three different rivers. With these three plants Statkraft will have an average production of about 2 TWh/year in Turkey in 2015.

The fresh water is however also used for other purposes, such as irrigation. Agriculture is the sector with the highest water consumption and the irrigation demand will increase due to population growth. Thus, fresh water resources may soon be at a critical point. The expected reduction in precipitation and higher evaporation in the future also puts its pressure on the limited water resources. According to Nalbantoğlu (2006) fresh water will be a scarce resource in Turkey by 2030.

One of the main objectives of this thesis was to analyze how climate changes and increased water use will influence the inflow and production at Kargi hydropower plant, which is being built in the Kizilirmak River, Turkey. A hydrological model of the river has been established in the Water Evaluation And Planning tool (WEAP). Three different numerical criteria (NSE, RSR and PBIAS) have been used to assess the calibration and validation, which have shown that the model is performing acceptable both at Kargi and at the outlet to the Black Sea. In total, the model contains 57 irrigation dams and 12 hydropower plants, including planned projects. Penman's equation is used to estimate evaporation from the hydropower dams, which is used to calculate «Water Footprint» values ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ ) for the various scenarios. The scenarios are based on expected climate changes gathered from the report «Climate Change 2013», where the Turkish summer is expected to be 3° C warmer with 10 % less precipitation. These values are based on the second most moderate emission variant. The reader must be aware of two weaknesses of the model; it lacks both groundwater and snow modeling. A consequence of this is that the model is more sensitive to less precipitation than the real Kizilirmak, because only runoff source in the model is precipitation.

The main findings of the study show that Kizilirmak is very sensitive to climate change, even when the second most moderate emission variant is used. According to the model the discharge to the Black Sea from Kizilirmak may be reduced by as much as 40 % within the next 40 years, compared to the period between 1990 and 1995, due to climate change. The reduction will increase another 10 % if all of the planned irrigation dams are built. One of the consequences for Kargi is that production will be two thirds of today's expected production. Total production from the plants that existed in 1995 can be 7 TWh lower in 40 years and even 2 TWh lower in case all planned irrigation projects are built. Warmer climate leads to 10 % more evaporation from reservoirs. This gives rising «Water Footprint» values in the future. Except for the largest reservoirs the value rarely exceeds 200  $\text{m}^3/\text{MWh}$ , which is similar to the values given by the IPCC.

## Forord

Med denne masteroppgaven avsluttes en fantastisk studietid i Trondheim og ved Norges teknisk- vitenskapelige universitet (NTNU). Rapporten, som tilsvarer 30 studiepoeng, er utarbeidet våren 2014 i samarbeid med Institutt for vann- og miljøteknikk og Statkraft. I masteroppgaven fortsettes arbeidet som ble gjort i forprosjektet «Allokering av vann og vannforbruk ved Kargi kraftverk i Tyrkia», som jeg høsten 2013 skrev i forbindelse med fordypningsprosjektet TVM4520 (7,5 studiepoeng).

For meg har det vært utrolig spennende og givende å jobbe med spørsmål som berører problemer innenfor vannressurser og klimaendringer. Slike spørsmål er blant de viktigste i verden i dag, og er noe jeg absolutt kan se for meg å jobbe mer med i arbeidslivet som venter. Jeg føler også at jeg har satt meg godt inn i den hydrologiske modellen WEAP, et verktøy jeg håper og tror jeg kan få bruk for i arbeidslivet som venter.

Jeg skylder Tor Haakon Bakken en stor takk for all hjelp og innføring i forskjellige temaer han har gitt meg. Du har hele tiden vært tilgjengelig og hjelpsom. Lykke til videre med doktorgradsavhandlingen din og husk at dersom du trenger hjelp med en WEAP- modell så kan kanskje jeg hjelpe deg. Jeg vil også rette en stor takk til Professor Knut Alfredsen som med glede har stilt opp når jeg har banket på døra med spørsmål relatert til dataproblemer eller det faglige og formelle rundt masteroppgaven. Takk til Siri Stokseth i Statkraft som har anskaffet viktig og nødvendig informasjon om Kizilirmak, og i tillegg koblet meg opp mot sentrale kontakter i Tyrkia. Til slutt vil jeg takke Julie for motiverende ord og gode tips. Oslo, nå kommer vi.

Jeg håper leseren finner innholdet i rapporten interessant og nyttig.

God lesning!

*Trondheim /juni. 2014*

---

Trondheim/juni.2014

*Jørgen Rugelbak*

---

Jørgen Rugelbak

BLANK SIDE



# Innholdsfortegnelse

|   |      |
|---|------|
| Oppgavestilling .....   | i    |
| Sammendrag .....  | iii  |
| Abstract .....  | iv   |
| Forord .....  | v    |
| Innholdsfortegnelse .....   | vii  |
| Tabell- og figurliste .....   | viii |
| Ordliste .....  | x    |
| 1 Innledning.....   | 1    |
| 2 Materiale og metode.....  | 3    |
| 2.1 Tyrkia .....  | 3    |
| 2.1.1 Hydrologiske og klimatiske forhold.....                             | 3    |
| 2.1.2 Vannbruk .....  | 5    |
| 2.2 Kizilirmak og nedslagsfeltet.....                                     | 6    |
| 2.2.1 Kart over nedslagsfeltet .....                                      | 7    |
| 2.2.2 Vannføringsdata .....   | 9    |
| 2.2.3 Klimadata.....  | 12   |
| 2.2.4 Eksisterende irrigasjonsdammer .....                                | 15   |
| 2.2.5 Eksisterende vannkraftsdammer .....                                 | 19   |
| 2.3 WEAP-modellen.....  | 23   |
| 2.4 Fordampningsberegninger .....   | 26   |
| 2.5 Kizilirmak i fremtiden .....  | 30   |
| 2.5.1 Planlagte prosjekter .....  | 31   |
| 2.5.2 Klimaprognoser .....  | 35   |
| 3 Kalibrering og validering.....  | 39   |
| 3.1 Valg av kalibreringsperiode .....                                     | 39   |
| 3.2 Parameteregenskaper og kalibrerte parameterverdier .....              | 43   |
| 3.3 Vurdering av kalibrering .....  | 45   |
| 3.4 Kalibreringsresultater .....  | 46   |
| 3.5 Validering.....   | 50   |
| 3.6 Sensitivitetsanalyse .....  | 54   |
| 4 Resultat.....   | 55   |
| 4.1 Fremtidig fordampning fra magasinene.....                             | 57   |
| 4.2 Fremtidig produksjon ved kraftverkene.....                            | 59   |
| 4.3 Kargi kraftverk i fremtiden .....                                     | 61   |
| 5 Diskusjon .....   | 63   |
| 5.1 Svakheter og styrker ved modellen.....                                | 63   |
| 5.2 Sentrale antagelser ved modellen.....                                 | 65   |
| 5.3 Diskusjon av resultater .....   | 66   |
| 5.3.1 Vannføring, fordampning og produksjon for samtlige scenarioer ..... | 66   |
| 5.3.2 Kargi kraftverk .....   | 68   |
| 6 Konklusjon .....  | 69   |
| 7 Referanser .....  | 71   |
| 8 Vedlegg.....  | 75   |

## Tabell- og figurliste

- Tabell 1:** Potensiell energiproduksjon fra vannkraft  
**Tabell 2:** Økonomisk lønnsomt potensiale per 2011  
**Tabell 3:** Hydrologisk region nummer 15  
**Tabell 4:** Oversikt over målestasjoner for vannføring  
**Tabell 5:** Oversikt over målestasjoner for klima  
**Tabell 6:** Manglende nedbørsdata i datasettet fra NCDC  
**Tabell 7:** Original irrigasjonsdata  
**Tabell 8:** Oversikt over nedjustert irrigasjonsdata for de eksisterende anleggene  
**Tabell 9:** Vannføring til turbinene i Hirfanli tilpasset vannføringmålinger nedstrøms dammen  
**Tabell 10:** Antatt månedlig turbinvannføring og produksjon (eksisterende vannkraftsanlegg)  
**Tabell 11:** Parametre i WEAP relatert til vannkraftsanleggene  
**Tabell 12:** Medfølgende GIS- filer i WEAP  
**Tabell 13:** Eksempel på fordampningsberegning  
**Tabell 14:** Parametre for magasinene knyttet til fordampningsberegninger  
**Tabell 15:** Gjennomsnittlig årlig økning i jordvanningsvolum  
**Tabell 16:** Planlagte anlegg innenfor og utenfor nedslagsfeltet  
**Tabell 17:** Irrigasjonsdata etter nedjustering  
**Tabell 18:** Parameterverdier for planlagte vannkraftsanlegg  
**Tabell 19:** Antatt månedlig turbinvannføring og produksjon (planlagte vannkraftanlegg)  
**Tabell 20:** Utslippsvarianter  
**Tabell 21:** Sammendrag av temperaturendringer  
**Tabell 22:** Sammendrag av nedbørsendringer  
**Tabell 23:** Scenarioene basert på klimaendringer  
**Tabell 24:** Tilgjengelig data for de ulike delfeltene  
**Tabell 25:** To alternativer for kalibreringsperiode  
**Tabell 26:** Beskrivelse av parametre i WEAP relatert til nedslagsfeltet  
**Tabell 27:** Beskrivelse av parametre i WEAP relatert til klima i feltet  
**Tabell 28:** Kalibrerte parameterverdier  
**Tabell 29:** Parametre med månedsvariasjon  
**Tabell 30:** Anbefalte verdier for NSE, RSR og PBIAS  
**Tabell 31:** Oppnådde verdier for NSE, RSR og PBIAS ved kalibrering  
**Tabell 32:** Oppnådde verdier for NSE, RSR og PBIAS ved validering  
**Tabell 33:** Resultat av sensitivitetsanalyse  
**Tabell 34:** Oversikt over hvilke år scenarioene tilsvarer  
**Tabell 35:** Oversikt over scenarioene  
**Tabell 36:** Totalt nedbørsvolum til nedslagsfeltet for de ulike scenarioene  
**Tabell 37:** Årlig gjennomsnittlig vannføring fra Kizilirmak til Svartehavet  
**Tabell 38:** Endring i vannføring fra basisår inkludert alle eksisterende irrigasjonsanlegg  
**Tabell 39:** Fordampning fra magasinene for de ulike scenarioene  
**Tabell 40:** Simulert produksjon sammenlignet med planlagt (i løpet av 6 år)  
**Tabell 41:** Simulert reduksjon i produksjon i forhold til basisår  
**Tabell 42:** Produksjon i scenarioene (Produksjon i basisår minus reduksjon)  
**Tabell 43:** Årlig snittvannføring og produksjon ved Kargi kraftverk

**Figur 1:** Kart over Tyrkia  
**Figur 2:** Nedbør og temperatur i Tyrkia gjennom et år  
**Figur 3:** Hydrologiske regioner i Tyrkia  
**Figur 4:** Oppdeling av nedslagsfeltet til Kizilirmak  
**Figur 5:** Oversikt over alle eksisterende anlegg og målestasjoner brukt i denne oppgaven  
**Figur 6:** Årlig snittvannføring ved EIE1535  
**Figur 7:** Årlig snittvannføring EIE1501  
**Figur 8:** Årlig snittvannføring ved EIE1536  
**Figur 9:** Årlig snittvannføring ved EIE1533  
**Figur 10:** Månedlig snittvannføring ved EIE1535  
**Figur 11:** Månedlig snittvannføring ved EIE1501  
**Figur 12:** Månedlig snittvannføring ved EIE1536  
**Figur 13:** Månedlig snittvannføring ved EIE1533  
**Figur 14:** Årsnedbør i Sivas  
**Figur 15:** Årsnedbør i Kastamonu  
**Figur 16:** Gjennomsnittlig månedsnedbør i Sivas  
**Figur 17:** Gjennomsnittlig månedsnedbør i Kastamonu  
**Figur 18:** Årlig gjennomsnittstemperatur i Sivas  
**Figur 19:** Årlig gjennomsnittstemperatur i Kastamonu  
**Figur 20:** Gjennomsnittlig månedstemperatur i Sivas  
**Figur 21:** Gjennomsnittlig månedstemperatur i Kastamonu  
**Figur 22:** Irrigasjonsvolum for utvalgte år  
**Figur 23:** Observert totalt avrenningsvolum i 1986 ved utvalgte målestasjoner  
**Figur 24:** Hvilke irrigasjonsanlegg som skiller seg ut  
**Figur 25:** Irrigasjonsvolum for utvalgte år etter justeringene  
**Figur 26:** Parametre i WEAP som er relatert til bestemmelser angående magasinering  
**Figur 27:** Hvordan den nedlastede GIS- filen av Kizilirmak ser ut i WEAP  
**Figur 28:** Innkommende solstråling i Tyrkia  
**Figur 29:** Gjennomsnittlig årlig økning i jordvanningsvolum  
**Figur 30:** Kart over planlagte irrigasjonsanlegg  
**Figur 31:** Temperaturendringer for RCP.4.5  
**Figur 32:** Nedbørsendringer for RCP.4.5  
**Figur 33:** Vannføring i de ulike delfeltene (Alternativ 1)  
**Figur 34:** Vannføring i de ulike delfeltene (Alternativ 2)  
**Figur 35:** Soil Moisture- metoden i WEAP  
**Figur 36:** Kalibrering av første delfelt  
**Figur 37:** Kalibrering av andre delfelt  
**Figur 38:** Kalibrering av fjerde delfelt  
**Figur 39:** Validering av første delfelt  
**Figur 40:** Validering av andre delfelt  
**Figur 41:** Validering av tredje delfelt  
**Figur 42:** Totalt nedbørsvolum til nedslagsfeltet for de ulike scenarioene  
**Figur 43:** Årlig gjennomsnittlig vannføring fra Kizilirmak til Svartehavet  
**Figur 44:** Årlig gjennomsnittsvannføring ( $m^3/s$ ) ved utvalgte punkter i vassdraget  
**Figur 45:** Sammenligning av fordampningsestimater  
**Figur 46:** Total fordampning fra samtlige magasiner  
**Figur 47:** Total produksjon i løpet av scenarioene for utvalgte kraftverk  
**Figur 48:** 'Water footprint' -verdier for samtlige kraftverk  
**Figur 49:** Årlig snittvannføring og produksjon ved Kargi kraftverk

## Ordliste

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <i>AKVIFER</i>            | : Geologisk formasjon som inneholder grunnvann                                   |
| <i>AQUASTAT</i>           | : FNs globale vanndatabase   |
| <i>BASISÅR</i>            | : Årene som klimaendringene er basert på   |
| <i>CSV</i>                | : Kommaseparet Excel- fil  |
| <i>CURRENT ACCOUNTS</i>   | : Her kalibreres og valideres WEAP- modellen                                     |
| <i>DEMAND SITE</i>        | : Vannuttak i vassdraget (Drikkevann, irrigasjon etc.)                           |
| <i>DETERMINISTISK</i>     | : At modellen kun er basert på ligninger/ fysikk                                 |
| <i>DSI</i>                | : General Directorate of State Hydraulic Works (tilsvarende NVE)                 |
| <i>EIE XXXX</i>           | : Målestasjon for vannføring   |
| <i>FALKENMARK</i>         | : Indikator brukt for å beskrive tilgjengelighet på vann (m <sup>3</sup> /innb.) |
| <i>FAO</i>                | : FNs organisasjon for ernæring og landbruk                                      |
| <i>GIS</i>                | : Geografiske Informasjonssystemer   |
| <i>ha</i>                 | : 1 hektar = 10 000 m <sup>2</sup> = 0,01 km <sup>2</sup>                        |
| <i>HRV</i>                | : Høyeste regulerte vannstand  |
| <i>IPCC</i>               | : Intergovernmental Panel on Climate Change: FNs klimapanel                      |
| <i>LEAP</i>               | : Long- range Energy Alternatives Planning System                                |
| <i>LRV</i>                | : Laveste regulerte vannstand  |
| <i>MODFLOW</i>            | : Tredimensjonal grunnvannsmodell  |
| <i>NCDC</i>               | : National Climatic Data Center  |
| <i>OVERFIT</i>            | : At modellen gir gode resultater i kalibreringen, men ikke ellers               |
| <i>PEST</i>               | : Parameter Estimation Tool (for automatisk kalibrering)                         |
| <i>QUAL2K</i>             | : Endimensjonal vannkvalitetsmodell  |
| <i>RCP</i>                | : Representative Concentration Pathway: Utslippsvariant (W/m <sup>2</sup> )      |
| <i>REFERENCE SCENARIO</i> | : Scenarioet som baserer seg på Current Accounts                                 |
| <i>SEI</i>                | : Stockholm Environment Institute: Utvikler av WEAP                              |
| <i>TUIK</i>               | : The State Institute of Statistics  |
| <i>TWh</i>                | : 1 TWh = 1000 GWh   |
| <i>VIRTUELT VANN</i>      | : Vannmengde som er involvert i produksjon av ulike varer                        |
| <i>WATER FOOTPRINT</i>    | : Vannmengde som er involvert i energiproduksjon (m <sup>3</sup> /MWh)           |
| <i>WEAP</i>               | : Water Evaluation And Planning  |

# 1 Innledning

Jordkloden inneholder 35 millioner km<sup>3</sup> ferskvann. Av disse er omtrent en tredjedel i flytende form og resten bundet i form av is. Dersom en ikke regner med det flytende ferskvannet som befinner seg i berggrunnen i for eksempel akviferer, fordeles det gjenværende volumet på omtrent 0,2 millioner km<sup>3</sup> mellom andre vannbærere som innsjøer, jordsmonn, luft, sumper, våtmark, elver og levende organismer. Vannet er i stadig bevegelse og går konstant gjennom hydrologiske prosesser som frysing, tining og fordampning før det igjen faller som regn eller snø. Det er dimensjonene på disse prosessene som er viktige når vi skal si noe om tilgjengeligheten på ferskvann, ikke dimensjonene på vannbærerne. Hvis det for eksempel bores en brønn ned til en vannrik akvifer, vil brønnen til slutt stå tørr for alltid dersom akviferen ikke gjenfylles av nedbør (Pearce, 2006).

Hva har elvene Colorado og Rio Grande i USA, Indus i Pakistan, Hoang He i Kina, Murray i Australia, Jordan i Midtøsten og elvene som renner ut i Aralsjøen til felles? De fører enorme mengder vann og har vært uvurderlige for samfunn de renner gjennom, men har i dag problemer med å nå frem til sjøen. Årsakene til dette kan være mange og kompliserte, men én årsak er at det rett og slett tas ut for mye vann til jordvanning og andre formål (Pearce, 2006). I verden i dag er det likevel 1,1 milliarder mennesker som lever uten tilgang på rent drikkevann (Waughray og Workman, 2011). Falkenmark-indikatoren brukes ofte til å beskrive tilgjengelighet på ferskvann i et land. Brukes definisjonene fra denne indikatoren på Tyrkia, ser en at det allerede per i dag er mangel på vann. Dersom vannressursene ikke brukes mer effektivt de neste årene vil landet til slutt oppleve vannknapphet (White, 2012). Denne oppgaven vil derfor ta for seg Tyrkias lengste elv, Kizilirmak. Hensikten med rapporten er å kunne si noe om hvor sårbar elven er for ytterligere uttak av vann til jordvanning, sett i lys av klimaendringene.

I store deler av verden er konsekvensene av klimaendringene at de hydrologiske prosessene endres på minst mulig gunstig måte, i følge FNs Klimapanel (IPCC). Mange områder, deriblant Tyrkia, vil i fremtiden oppleve mindre nedbør og mer fordampning. I denne oppgaven er det brukt at det i Tyrkia er opptil 3 °C varmere og regner ned mot 10 % mindre i perioden 2081-2100, med verdier hentet fra IPCC-rapporten «Climate Change 2013» (IPCC, 2013b). Et av hovedspørsmålene denne rapporten besvarer er derfor hvordan Kizilirmak i fremtiden påvirkes av klimaendringene og økt vannuttak. Befolkningsvekst medfører økt vannuttak primært i form av jordvanning til matproduksjon, men også til drikkevann og diverse industriformål. Dette bidrar til ytterligere press på de tilgjengelige vannressursene (Bates et al, 2008). Dette gjelder også Tyrkia der det blant annet dyrkes mye hvete, ris, bygg, mais, poteter, bomull med mer (FAO, 2009). Det kreves store mengder vann for å produsere 1 kg av disse varene; 1000 liter for hvete, 2000-5000 liter for ris og 500 liter for poteter. Fôret som ei ku som må spise i løpet av sin livstid for å gi 1 kg hamburgerkjøtt krever en vanning på om lag 90 000 liter. Vannmengden som er involvert i produksjonen av de ulike varene (korn, kjøtt, bomullsklær etc.) kalles med en fellesbetegnelse for virtuelt vann og kan

benyttes til å vurdere hvor mye virtuelt vann et land importerer eller eksporterer (Pearce, 2006). En annen faktor som menes å medføre press på de tilgjengelige vannressursene er fordampning fra magasiner. IPCC har laget et indikatorsystem, kalt «Water Footprint of Energy Production» som forteller hvor mye vann som er involvert i produksjonen av 1 MWh for de ulike energiteknologiene. Indikatoren ligner på virtuelt vann, men her er det snakk om energi. Vanlige verdier er mellom 0 og 5 m<sup>3</sup>/MWh, men i følge IPCC (IPCC, 2011) kreves det mellom 0 og 209 m<sup>3</sup>/MWh for vannkraft. De høye verdiene skyldes hovedsaklig fordampning, og tilsier at de 12 vannkraftanleggene (totalt 5888 GWh/år) som er modellert i denne oppgaven til sammen kan miste opptil 1700 millioner m<sup>3</sup> hvert år til fordampning. Det andre hovedspørsmålet denne oppgaven besvarer er hvordan vanntapet til fordampning ved magasinene utvikler seg i fremtiden og hvorvidt «Water Footprint» - verdiene for vannkraft er overens med IPCC sine (IPCC, 2011). Videre må det presiseres at IPCC- rapporten (IPCC, 2011) har blitt kritisert for å ikke ta hensyn til at vannet i et magasin ikke alltid kun brukes til kraftproduksjon (Bakken et al, 2013). IPCC- rapporten nevner ikke magasinenes unike evne til å lagre vann fra våtsesong til tørresesong, i tillegg til å redusere faren for ødeleggende flommer. Magasinering sikrer tilgjengelig vann til drikkevann, jordvanning og kraftproduksjon jevnt ut over året. Aswandammen i Egypt, som består av Low og High Aswan, er et eksempel på hvor stor verdi et magasin kan ha selv om fordampningsvolumene er enorme. En studie (Strzepek et al, 2007) viser at oppdemming av Nilen med High Aswan Dam økte verdien av Aswandammen fra 2,7 % til 4,0 % av Egypts brutto nasjonalprodukt (BNP) i 1997. Økningen skyldtes altså en jevn tilgjengelighet på vann året rundt.

En viktig del av oppgaven har vært å etablere en godt kalibrert og validert modell. Modellen som er blitt laget i Water Evaluation And Planning (WEAP) har blitt brukt som et verktøy for å se på følgende sett med fremtidige scenarioer (**A** = vannuttak som i dag, **B** = alle planlagte vannuttak i drift, **1** = **2** = Basert på normal klimadata, **3** = basert på år med lite nedbør):

**Scenario 1A og 1B:**

Temperatur: 2,5 °C varmere om sommeren og 1,5 °C varmere om vinteren

Nedbør: 5 % mindre om sommeren og 2,5 % mindre resten av året

**Scenario 2A og 2B:**

Temperatur: 3 °C varmere om sommeren og 2 °C varmere om vinteren

Nedbør: 10 % mindre om sommeren og 5,0 % mindre resten av året

**Scenario 3B:**

Temperatur: 3 °C varmere om sommeren og 2 °C varmere om vinteren

Nedbør: 10 % mindre om sommeren og 5,0 % mindre resten av året

Verdiene er hentet fra FNs klimarapport fra 2013 (IPCC, 2013b). Scenariene har blitt brukt til å sammenligne dagens og fremtidig tilsig i Kizilirmak og fordampning og produksjon ved kraftverkene, og da spesielt ved Kargi kraftverk. Dette anlegget som bygges av Statkraft skal stå ferdig i begynnelsen av 2015 og er utgangspunktet for oppgaven. Kraftverket vil få en forventet årsproduksjon på 467 GWh.

## 2 Materiale og metode

I dette kapittelet beskrives grunnlagsmaterialet og fremgangsmåten som har blitt brukt for å løse oppgaven. Først er fokuset på Tyrkia som nasjon, før det snevres inn på hydrologien og klimaet i nedslagsfeltet til Kizilirmak. Det gis også en beskrivelse av den hydrologiske modellen Water Environment And Planning (WEAP). Kapittelet avslutter med å forklare grunnlaget for de ulike scenarioene brukt i denne oppgaven.

### 2.1 Tyrkia

Hjemmesidene til FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO) blitt brukt for å finne nyttig informasjon. FAO sitt informasjonssystem AQUASTAT har vært en sentral kilde for å finne fram til rapporter om for eksempel hydrologi, vannbruk og klima i Tyrkia. Opplysninger hentet fra disse og andre steder vil alltid bli kildehenvist.

#### 2.1.1 Hydrologiske og klimatiske forhold

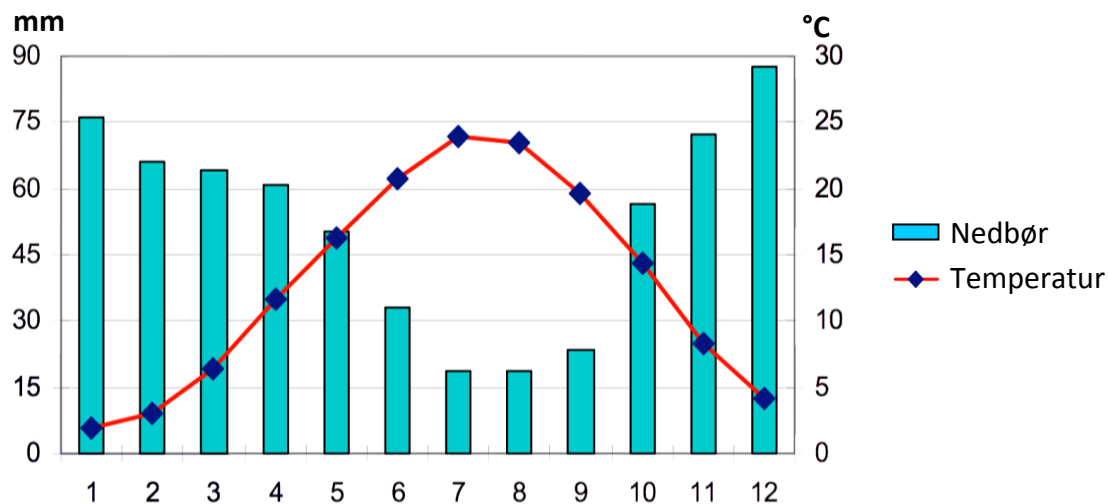
Tyrkia danner broen mellom Asia og Europa, med 97 % av sitt totale areal (omtrent 780 000 km<sup>2</sup>) på den asiatiske siden. Arealet av innsjøer utgjør omtrent 10 400 km<sup>2</sup>, som tilsvarer 1,3 % av det totale arealet. Landet grenser til åtte land; Georgia, Armenia, Azerbadsjan, Iran, Irak, Syria, Hellas og Bulgaria (se Figur 1). Tyrkias totale kystlinje er over 10 000 km lang, fordelt mellom Svartehavet i nord, Middelhavet i sør og Egeerhavet i vest (FAO, 2009).



**Figur 1:** Kart over Tyrkia

Klimaet i Tyrkia varierer i stor grad fra region til region, hovedsakelig på grunn av det mangfoldige landskapet og kuperte terrenget. Den europeiske delen Thrakia i vest er fruktbar og kupert. Den asiatiske delen Anotolia består av et høyt platå med fjellkjeder langs både den nordlige og sørlige kystlinjen med flere elvedaler. Fra vest mot øst vokser fjellene seg stadig høyere og helt i øst ligger Tyrkias høyeste fjell, Agri Mountain, med sine 5172 meter over havet (Tan, 1996). I de nordlige regionene langs Svartehavet faller det nedbør nokså jevnt gjennom hele året, mens det i sør er betydelig mer nedbør om vinteren enn om sommeren (Sensoy et al, 2008). I det vestlige området av den asiatiske delen ligger det et

platå med gjennomsnittshøyde 1132 moh der det om vinteren er kaldt og om sommeren varmt og vått (FAO, 2009). I tillegg til geografisk variasjon opplever Tyrkia store klimaforskjeller gjennom året, illustrert i Figur 2. Årlig gjennomsnittstemperatur i sør er 18-20 °C, mens den i nord er 14- 15 °C. Avhengig av høyde og avstand til kysten varierer snittemperaturen i innlandet mellom 4 og 19 °C (FAO, 2009). På grunn av lite nedbør i innlandet kombinert med mye fordampning, oppleves det i dette området mye tørke. Fordampning og transpirasjon er spesielt høyt i de sør- østlige områdene av Tyrkia, og kan komme helt opp i 2000 mm per år. Snø kan forekomme hvor som helst i Tyrkia, men dette gjelder stort sett i innlandet, der det kan ligge snø i opptil 120 dager i året (FAO, 2009).



**Figur 2:** Nedbør og temperatur i Tyrkia gjennom et år (Sensoy et al, 2008)

I følge rapporten «Country Report of Turkey» (Nalbantoğlu, 2006) er årlig gjennomsnittlig nedbørsmengde i Tyrkia 643 mm. Med et areal på 780 000 km<sup>2</sup> gir dette et årlig innkommende nedbørsvolum på 501 km<sup>3</sup>. Videre presenterer rapporten en beregning av tilgjengelige vannressurser per år, der det summeres opp til 112 km<sup>3</sup>. Utnyttbar vannmengde per innbygger i Tyrkia blir i rapporten fra 2006 beregnet til 1500 m<sup>3</sup> i året. Innen 2030 spår The State Institute of Statistics (TUIK) at dette tallet kan synke helt ned til 1000 m<sup>3</sup> per innbygger, på grunn av økende innbyggertall (Nalbantoğlu, 2006). Rapporten påpeker også at dette er under forutsetning av at vannressursene forblir beskyttet mot forurensning fram til 2030. En av de mest brukte metodene for å beskrive mangel og knapphet på tilgjengelige vannressurser er Falkenmark- indikatoren. Den definerer det slik at det er mangel på vann dersom hver innbygger har mindre enn 1700 m<sup>3</sup> ferskvann tilgjengelig i året. Dersom tilgjengeligheten på vann er under 1000 m<sup>3</sup>/år, sies det at landet opplever knapphet på vann (White, 2012). Brukes denne metoden ser en at det allerede per i dag er mangel på vann i Tyrkia, og dersom vannressursene ikke brukes mer effektivt de neste årene vil landet til slutt oppleve vannknapphet.



### 2.1.2 Vannbruk

Tyrkia er en stor landbruksnasjon og det eksisterer i dag et stort antall jordvanningsanlegg. Funksjonen deres er å samle opp vann og sende det ut på åkrene gjennom kanaler i perioder med mindre nedbør. Jordbruk er den sektoren som bruker mest vann, og med dagens irrigasjonsteknologi er overdreven vanning vanlig (Çakmak et al, 2007). Den viktigste avlingen er hvete som står for 67 % av total kornproduksjon. Andelen av kornproduksjon i den totale landbruksproduksjonen utgjør 73,5 %. I følge rapporten «Water Reports 34» (FAO, 2009), var det i 2005 et landbruksareal (dyrkbart og dyrket areal) på 26 millioner hektar, noe som tilsvarer omtrent en tredjedel av Tyrkias totale areal. Omtrent 10 % av dette arealet består av permanent dyrkede arealer som for eksempel vingårder, frukttrær og oliventrær. Andre viktige avlinger er ris, bygg, mais, poteter, bomull, solsikkeblomster og diverse grønnsaker (FAO, 2009).

Tyrkia er også en stor vannkraftsnasjon. Landet har en brutto potensiell energiproduksjon fra vannkraft på 433 TWh per år, noe som tilsvarer 13,7 % av potensialet i hele Europa. Tabell 1, hentet fra «An Analysis of Turkish Hydropower Policy» (Erdogdu, 2011), viser dette. Av disse 433 TWh er 140 TWh (32,3 %) økonomisk brukbart. I Europa er det kun Norge som har et større økonomisk brukbart vannkraftpotensial. I 2010 var det i Tyrkia en installert effekt på 13 700 MW, fordelt på 172 vannkraftstasjoner, med årlig produksjon på 35,8 TWh. Den installerte effekten på 13700 MW utgjør omtrent en tredjedel av Tyrkias totale installerte effekt. Resten kommer hovedsakelig fra gass (28 %), kull (25 %) og olje (13 %) (Erdogdu, 2011).

**Tabell 1:** Potensiell energiproduksjon fra vannkraft (Erdogdu, 2011)

| Potensiale               | Verden | Europa | Tyrkia |
|--------------------------|--------|--------|--------|
| Brutto (TWh)             | 40 150 | 3150   | 433    |
| Teknisk (TWh)            | 14 060 | 1225   | 216    |
| Økonomisk lønnsomt (TWh) | 8905   | 1000   | 140    |

Per 2011 var kun 35 % av det økonomisk lønnsomme potensiale utnyttet, som vist i Tabell 2. Ved ferdigstilling av alle kraftverkene som i 2011 var under konstruksjon, ville dette tallet øke til 49 %. Per 2011 var 148 vannkraftverk under utbygging, med total årsproduksjon på 20 TWh, som tilsvarer 14 % av det økonomisk lønnsomme potensialet (Yuksel, 2012). I følge rapporten «Renewable energy status of electricity generation and future prospect hydropower in Turkey» (Yuksel, 2012) vil utbygging av 1418 nye vannkraftverk gi fullstendig utnyttelse av det økonomisk lønnsomme vannkraftpotensialet.

**Tabell 2:** Økonomisk lønnsomt potensiale per 2011 (Yuksel, 2012)

|                          | I drift | Utbygges | Rest  | Totalt |
|--------------------------|---------|----------|-------|--------|
| Antall                   | 172     | 148      | 1418  | 1738   |
| Effekt (MW)              | 13 700  | 8600     | 22700 | 45 000 |
| Årlig produksjon (TWh)   | 48      | 20       | 72    | 140    |
| % av lønnsomt potensiale | 35      | 14       | 51    | 100    |
| Sum: 35 % + 14 % = 49 %  |         |          |       |        |

På 1950- tallet i Tyrkia var den totale energiproduksjonen 800 GWh. I dag har dette tallet økt til over 250 ganger så stort. Etter 2000 har etterspørselen av elektrisitet i Tyrkia økt mer enn 8 % per år (Erdogdu, 2011). Med et stort potensiale for vannkraftutbygging, samtidig som at Tyrkia ikke er like rike på fossilt brennstoff og ikke har kjernekraftverk, vil vannkraft spille en større rolle i det tyrkiske energimarkedet (Erdogdu, 2011). Et annet viktig argument for mer vannkraftutbygging er klimaendringene og behovet for redusert bruk av fossilt brennstoff. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC/FNs klimapanel) har i sin rapport (IPCC, 2013a) bevist økte temperaturer i atmosfæren og havet, redusert is - og snømengde, høyere havnivå og økt konsentrasjon av drivhusgasser. I tillegg er det mulig at klimaendringene medfører til enda større forskjeller mellom sesongene, og da er det gunstig å kunne bruke magasinene til å spare på vannet som kommer i perioder med mye regn. Det at dammene også kan brukes til flomkontroll er også viktig, da det kan redde både mennesker og deres hjem (Yuksel, 2012).

## 2.2 Kizilirmak og nedslagsfeltet

For å kunne sette opp en hydrologisk modell av vassdraget er det viktig å ha et godt kartgrunnlag i bunn som beskriver vannbruket i nedslagsfeltet. Samtidig må hydrologiske og klimatiske forhold beskrives. Med tanke på at Kizilirmak er Tyrkias lengste elv er dette krevende å beskrive helt i detalj, men i dette kapitlet beskrives hva som har blitt gjort og hvilke data som har blitt brukt. Som Figur 3 viser, hentet fra rapporten «Country Report of Turkey» (2006), deles Tyrkia inn i 25 hydrologiske regioner der Kizilirmak befinner seg i nummer 15. Inndelingen baseres etter all hovedsak på spesifikk avrenning (FAO, 2009). I Tabell 3 presenteres noen data fra denne regionen, med tall hentet fra «Trend Analysis of streamflow in Turkey» (Kahya og Kalayci, 2003).



**Figur 3:** Hydrologiske regioner i Tyrkia (Nalbantoğlu, 2006)

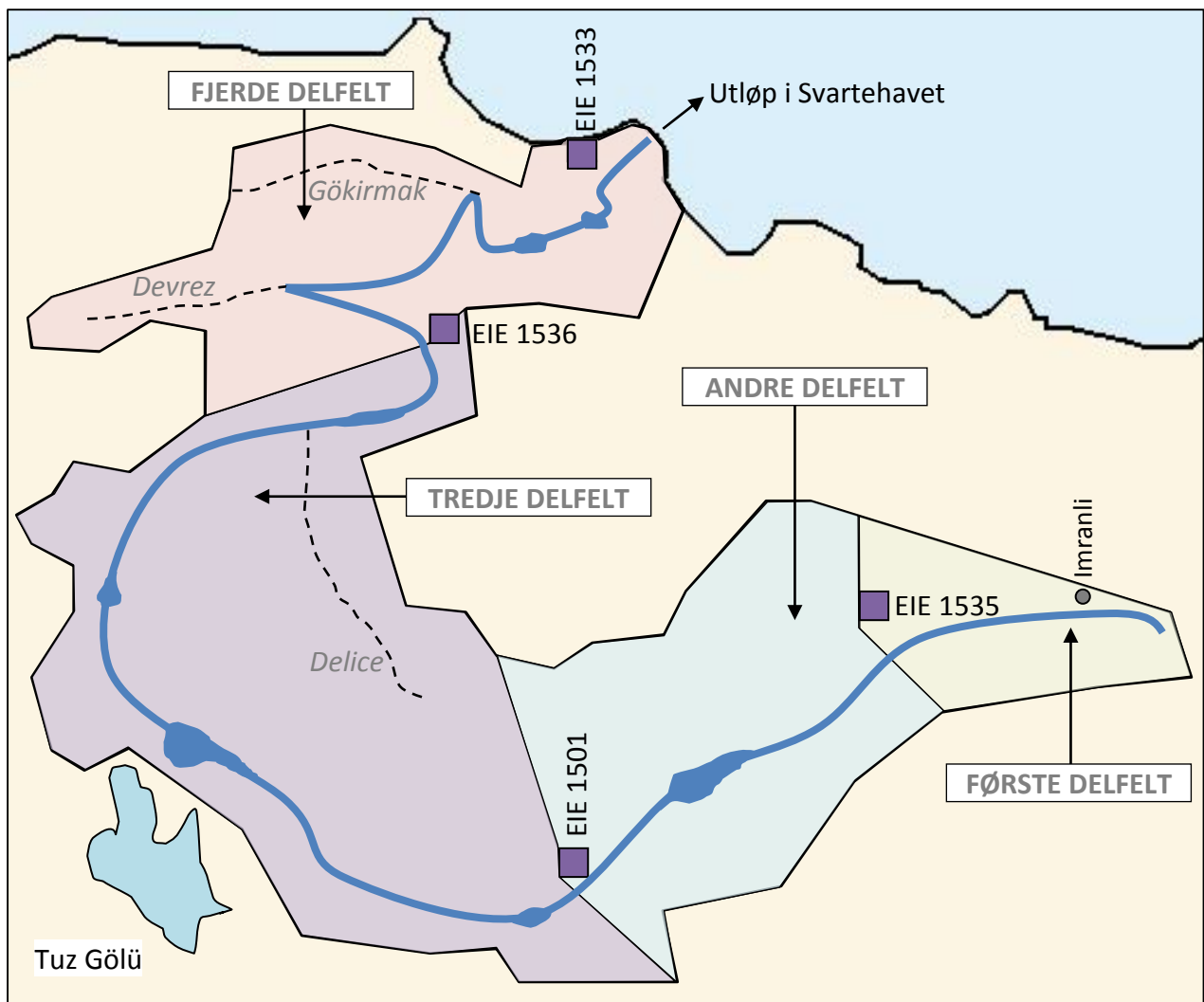
**Tabell 3:** Hydrologisk region nummer 15 (Kahya og Kalayci, 2003)

| Data                      | Verdi                  |
|---------------------------|------------------------|
| Navn på region            | Kizilirmak             |
| Areal på nedslagsfelt     | 78 200 km <sup>2</sup> |
| Gjennomsnittlig høyde     | 749 moh                |
| Gjennomsnittlig årsnedbør | 446                    |

Nedslagsfeltet er altså 78 200 km<sup>2</sup> stort, og dekker med dette 10 % av Tyrkias totale areal. Elvens høyeste punkt ligger litt øst for byen Imranli og renner til slutt ut i Svartehavet. De største sideelvene som Kizilirmak møter før utløpet er Delice, Devrez og Gökirmak.

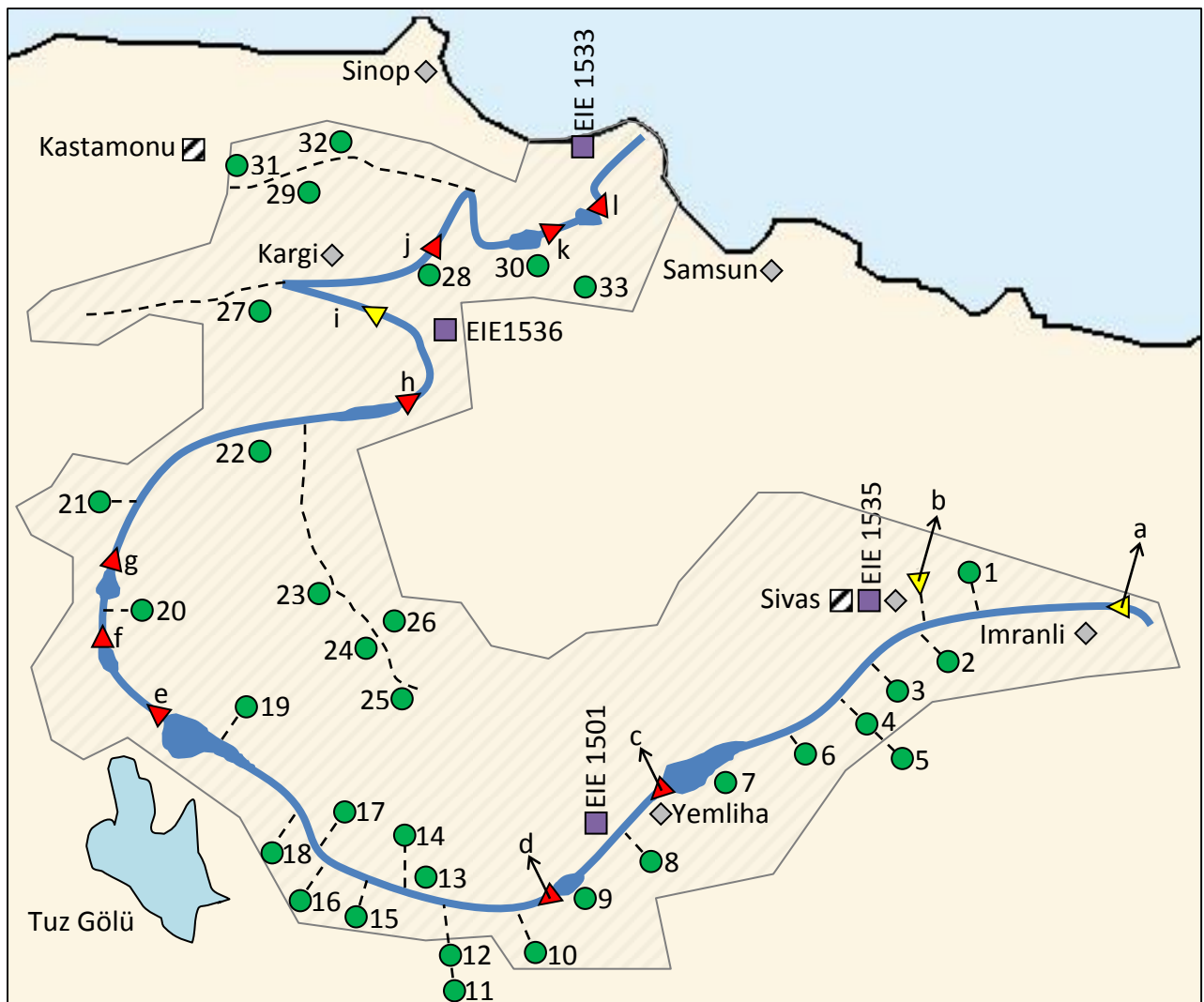
### 2.2.1 Kart over nedslagsfeltet

Nedslagsfeltet til Kizilirmak har i dette prosjektet blitt delt opp i fire delfelt; det første, andre, tredje og fjerde delfeltet (se Figur 4). Grunnen til oppdelingen av feltet var ønsket om å kunne kalibrere mindre delfelt. Feltet kunne med fordel blitt delt opp i flere delfelt på grunn av det store arealet, men det har kun blitt brukt vannføringsdata fra fire stasjoner, markert som lilla firkanter. Kartene som presenteres er tegnet ved hjelp av Office Microsoft Word 2007. Kartformatet som brukes i WEAP- modellen forklares i kapittel 2.3.



**Figur 4:** Oppdeling av nedslagsfeltet til Kizilirmak

I Figur 5 på neste side vises i tillegg plassering av irrigasjons- og vannkraftsanleggene og klimastasjonene som er brukt i modellen. Informasjonen er levert av Statkraft og dobbeltkontrollert av undertegnede ved bruk av karttjenesten Google Maps, men kartet må likevel leses med forbehold om at det kan inneholde mangler.



| ● Damnavn |                | ▲ Damnavn | Tegnforklaring |                                     |
|-----------|----------------|-----------|----------------|-------------------------------------|
| 1         | Ozen-Pusat     | a         | Imranli        | ▭ Nedslagsfelt                      |
| 2         | Karacalar      | b         | Cermikler      | — Kizilirmak                        |
| 3         | Gazibey        | c         | Yemliha        | - - Sideelv                         |
| 4         | Maksutlu       | d         | Bayramhacili   | ◇ By/tettsted                       |
| 5         | Yapialtin      | e         | Hirfanli       | ● Irrigasjonsanlegg                 |
| 6         | Sarioglan      | f         | Kesikkopru     | ▲ Vannkraftanlegg (eksisterende)    |
| 7         | Yemliha        | g         | Kapulukaya     | ▲ Vannkraftsdam (planlagt/bygges)   |
| 8         | Sarimsakli     | h         | Obruk          | ■ Målestasjon, vannføring           |
| 9         | Bayramhacili   | i         | Kargi          | ▨ Målestasjon, nedbør og temperatur |
| 10        | Damsa          | j         | Boyabat        |                                     |
| 11        | Kovali         | k         | Altinkaya      |                                     |
| 12        | Akkoey         | l         | Derbent        |                                     |
| 13        | Avanos-Ozkonak |           |                |                                     |
| 14        | Ayhanlar       |           |                |                                     |
| 15        | Tatlarin       |           |                |                                     |
| 16        | Kultepe        |           |                |                                     |
| 17        | Cogun          |           |                |                                     |
| 18        | Yalintas       |           |                |                                     |
| 19        | Siddikli       |           |                |                                     |
| 20        | Koprulukoy     |           |                |                                     |
| 21        | Gokceoren      |           |                |                                     |
| 22        | Timarli        |           |                |                                     |
| 23        | Kuzayca        |           |                |                                     |
| 24        | Karaova        |           |                |                                     |
| 25        | Uzunlu         |           |                |                                     |
| 26        | Yahyasaray     |           |                |                                     |
| 27        | Guldurcek      |           |                |                                     |
| 28        | Boyabat        |           |                |                                     |
| 29        | Karacomak      |           |                |                                     |
| 30        | Vezirokopru    |           |                |                                     |
| 31        | Germetepe      |           |                |                                     |
| 32        | Karadere       |           |                |                                     |
| 33        | Gumushacikoy   |           |                |                                     |

Figur 5: Oversikt over alle eksisterende anlegg og målestasjoner brukt i denne oppgaven

### 2.2.2 Vannføringsdata

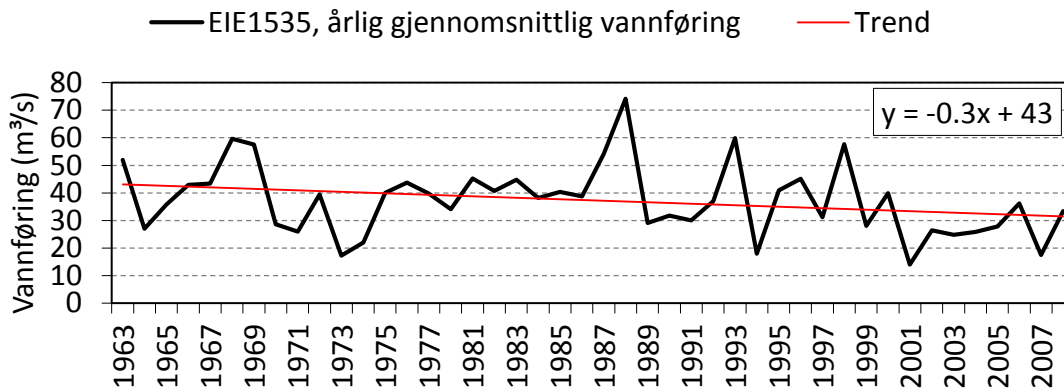
Det har i dette prosjektet blitt brukt vannføringsdata fra fire målestasjoner langs Kizilirmak, fremskaffet av Statkraft. Posisjonene til de fire stasjonene er spredt langs hele elven (se Figur 5), helt fra Imranli- området der elven starter til Samsun- provinsen der elven renner ut i Svartehavet. Målingene varierer i tidsrom, men tidligste tilgjengelige måling er fra 1961 (EIE1533) og seneste fra 2008 (EIE1535). Alle måleseriene har døgnoppløsning. Ved beregning av årlige og månedlige gjennomsnittsvannføringer har det blitt vurdert mest hensiktsmessig å benytte hele kalenderår, det vil si januar til desember, fremfor hydrologiske år. Microsoft Office Excel 2007 har blitt brukt til databearbeiding og grafisk framstilling.

I Tabell 4 er stasjonene presentert fra venstre mot høyre som oppstrøms til nedstrøms langs vassdraget. Det er tydelig at gjennomsnittsvannføringen øker jo lenger nedstrøms i vassdraget målestasjonen befinner seg. Dette skyldes voksende nedslagsfelt og at elven stadig møter flere sideelver, både store og små. De største sideelvene er markert i Figur 5. Høyeste vannføring (flom) har også en tendens til å øke lenger ned i vassdraget.

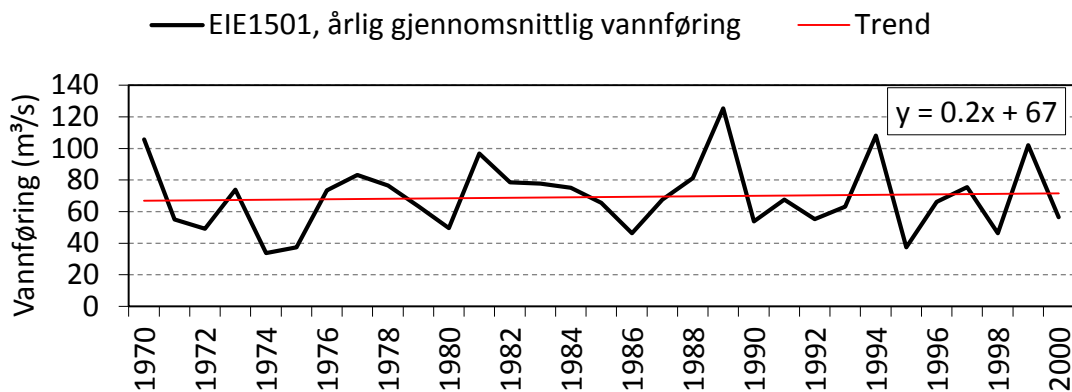
**Tabell 4:** Oversikt over målestasjoner for vannføring

|                             | EIE1535          | EIE1501         | EIE1536         | EIE1533          |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Måleperiode                 | 1963 - 2008      | 1970 - 2000     | 1964 - 2007     | 1961 - 1989      |
| Antall år                   | 46               | 31              | 44              | 29               |
| Snitt (m <sup>3</sup> /s)   | 37               | 69              | 119             | 186              |
| Laveste (m <sup>3</sup> /s) | 1,5 (aug 1974)   | 5 (aug 1975)    | 1,8 (nov 2007)  | 0,53 (okt 1987)  |
| Høyeste (m <sup>3</sup> /s) | 489 (april 1988) | 1037 (mai 1981) | 940 (mars 1968) | 1345 (mars 1968) |
| Median (m <sup>3</sup> /s)  | 14               | 33              | 108             | 158              |

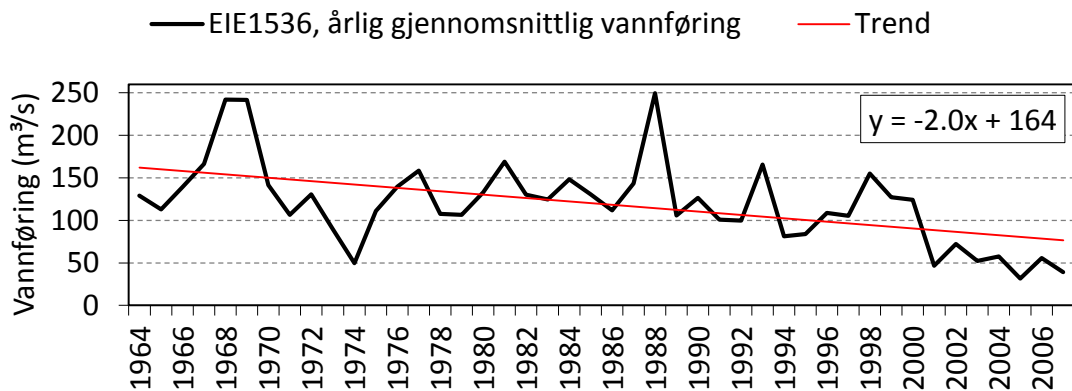
Hydrogrammene (Se Figur 6 til Figur 9) på neste side tilsier ikke en spesiell synkende trend for vannføringen i Kizilirmak, men heller ikke en spesiell økende trend. I de to tilfellene (EIE1501 og EIE1533) der trenden er økende, er trenden *svakt* økende (henholdsvis 0,2 m<sup>3</sup>/s og 0,6 m<sup>3</sup>/s økende vannføring hvert år). Ved de to andre stasjonene, EIE1535 og EIE1536, sees en synkende trend (henholdsvis 0,3 m<sup>3</sup>/s og 2 m<sup>3</sup>/s synkende vannføring hvert år). Størst endring sees altså ved EIE1536, som ligger rett oppstrøms Kargi kraftverk. Det er derimot vanskelig å bestemme hvorvidt den synkende trenden skyldes oppfylling av stadig nye magasiner, endring i arealbruk, økt uttak av vann eller om det kan ses i sammenheng med mindre nedbør og mer fordampning. Alle kurvene har derimot til felles at vannføringene varierer i stor grad fra år til år. Vannføringen er høyest i vårmånedene mars, april og mai (se Figur 10 til Figur 13). Det er tydelig at vannføringen er mindre om sommeren og høsten. Høyere vannføring om våren kan forklares med snøsmelting i de øvre delene av nedbørsfeltet. Det er også mer nedbør i disse månedene (se Figur 16 og Figur 17), men nedbørsvariasjonen i løpet av året er ikke like markante som vannføringsvariasjonene i løpet av året – noe som også taler for at nedbør magasineres som snø om vinteren, og gir økt avrenning om våren. I tillegg bærer målingene ved EIE1536 og EIE1533 tydelige preg av å være lokalisert nedstrøms store magasiner som fylles opp i perioder med mye vann, og tømmes i perioder med mindre vann, noe som fører til en mer jevn kurve.



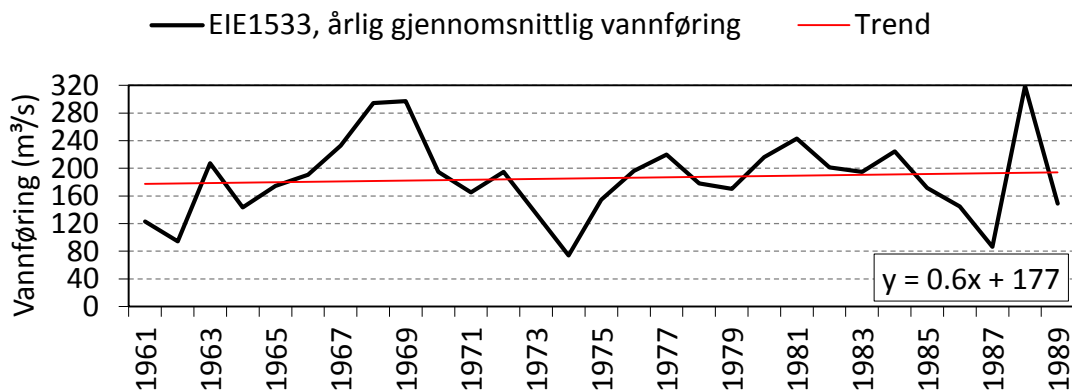
Figur 6: Årlig snittvannføring ved EIE1535



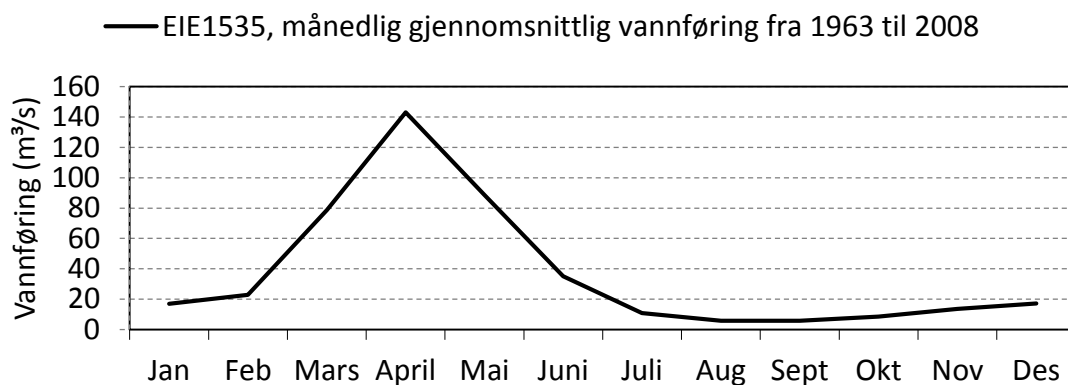
Figur 7: Årlig snittvannføring EIE1501



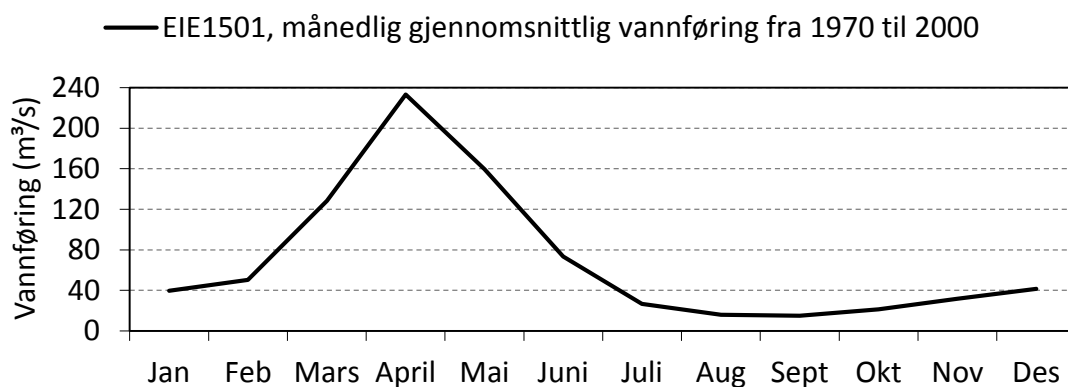
Figur 8: Årlig snittvannføring ved EIE1536



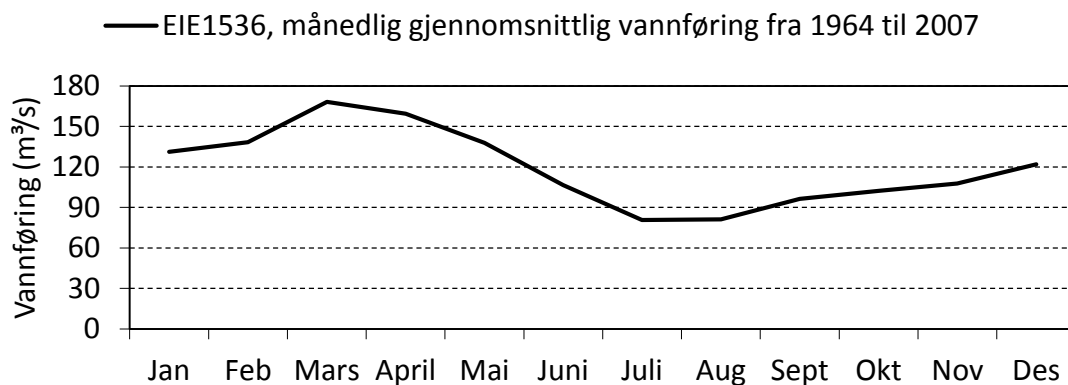
Figur 9: Årlig snittvannføring ved EIE1533



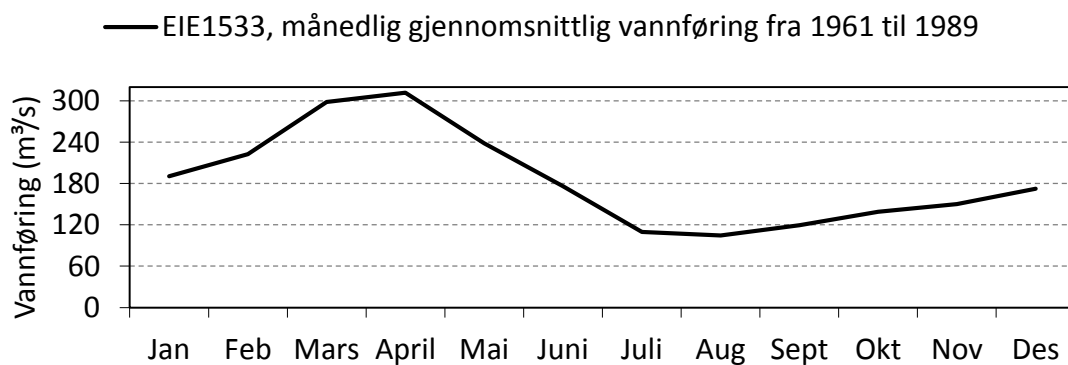
**Figur 10:** Månedlig snittvannføring ved EIE1535



**Figur 11:** Månedlig snittvannføring ved EIE1501



**Figur 12:** Månedlig snittvannføring ved EIE1536



**Figur 13:** Månedlig snittvannføring ved EIE1533

### 2.2.3 Klimadata

Klimadata har blitt bestilt gratis fra hjemmesidene til National Climatic Data Center (NCDC). I denne rapporten har det blitt brukt nedbørs- og temperaturmålinger fra to ulike stasjoner; én i Kastamonu og én i Sivas (se Figur 5). Begge disse stasjonene ligger i nær tilknytning til Kizilirmak, men høydeforskjellen mellom disse to stasjonene er i underkant av 500 meter. Tidsoppløsningen på datasettene er månedlige, der nedbør er gitt i total nedbør (mm) i løpet av måneden, mens temperatur er gitt i gjennomsnittstemperatur (grader celsius) for den aktuelle måneden. Datasettet som ble lastet ned var i CSV-format (Kommaseparert Excel-fil), noe som krevde litt bearbeiding av materialet. Excel har blitt brukt til databearbeiding og grafisk framstilling, og i dette kapitlet presenteres klimadata brukt i modellen.

**Tabell 5:** Oversikt over målestasjoner for klima

| Målestasjon | Moh. | Periode     | Antall år | Breddegrad | Lengdegrad | Snittnedbør |
|-------------|------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|
| Kastamonu   | 800  | 1940 – 2012 | 73        | 41,366     | 33,783     | 460 mm/år   |
| Sivas       | 1285 | 1930 – 2003 | 74        | 39,750     | 37,016     | 434 mm/år   |

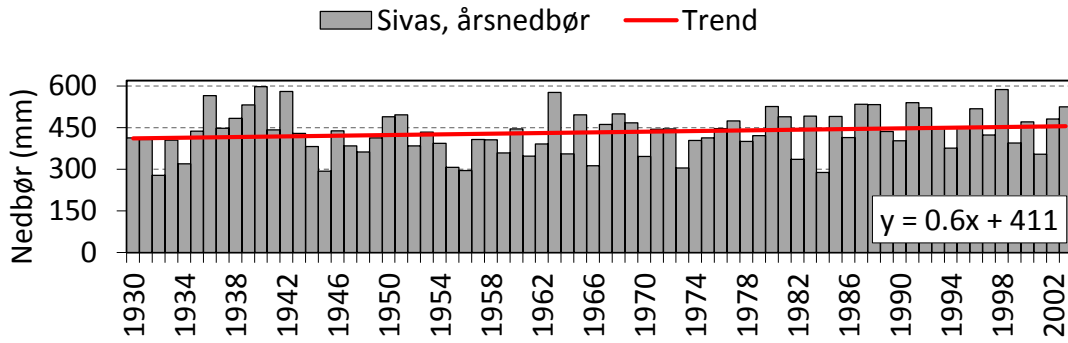
I løpet av kalibreringsperioden (1981 – 1986) og valideringsperioden (1993 – 2002) har det blitt oppdaget til sammen 11 måneder med manglende nedbørsdata, som vist i Tabell 6. Dersom det manglet nedbørsdata for en måned ble gjennomsnittet for den aktuelle måneden benyttet (se Figur 20 og Figur 21).

**Tabell 6:** Manglende nedbørsdata i datasettet fra NCDC

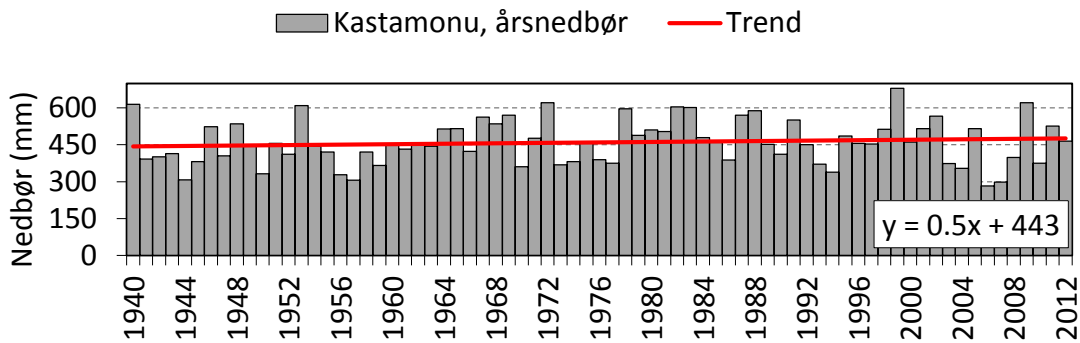
| Måned     | Sivas                  | Gjennomsnitt (1930 – 2003) |
|-----------|------------------------|----------------------------|
| Juli      | 1981, 1993, 1996, 2000 | 10 mm                      |
| August    | 1981, 1994, 1998       | 8 mm                       |
| September | 1985                   | 18 mm                      |
| November  | 2000                   | 40 mm                      |
| Måned     | Kastamonu              | Gjennomsnitt (1940 – 2012) |
| August    | 1998                   | 28 mm                      |
| September | 1984                   | 84 mm                      |

Begge målestasjonene viser til dels store nedbørsforskjeller fra år til år, og trenden viser en svak økning i årlig totalt nedbør for begge stasjonene. Økning i nedbør i Kastamonu er 0,5 mm/år, mens økning i nedbør i Sivas er 0,6 mm/år. Historien viser at det regner litt mer i Kastamonu. Figur 14 viser en økende nedbørstrend i Sivas, men samtidig viser Figur 6 (EIE1535, som ligger like ved Sivas) en synkende vannføringstrend mellom 1963 og 2008. At vannføringen blir mindre når det blir mer nedbør kan tyde på økt jordvanning og/eller mer fordampning på grunn av høyere temperaturer (se Figur 18). Trenden viser en meget svak økning i årlig gjennomsnittstemperatur. I Kastamonu øker temperaturen med 0,01 °C/ år, og i Sivas øker temperaturen med 0,015 °C/ år. I både Kastamonu og Sivas er juli og august de varmeste månedene, med gjennomsnittstemperaturer på henholdsvis 20 og 19 °C. I Kastamonu er den kaldeste måneden januar med 1 °C i snitt. Fra desember til februar ligger temperaturen i Sivas på 2 °C i snitt.

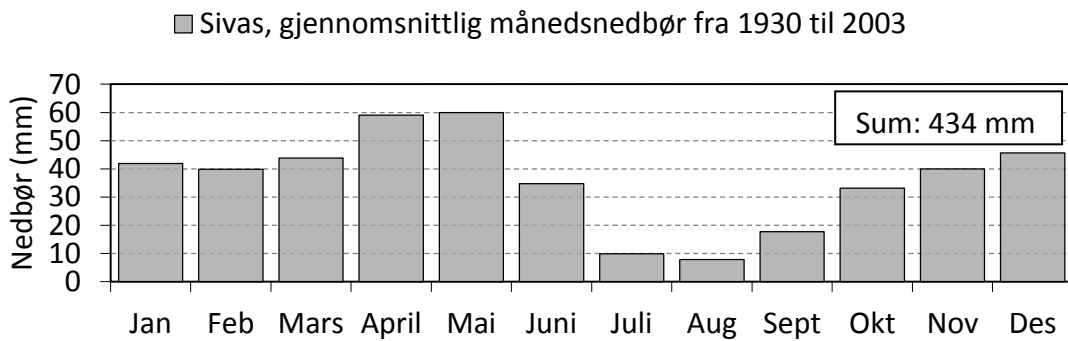




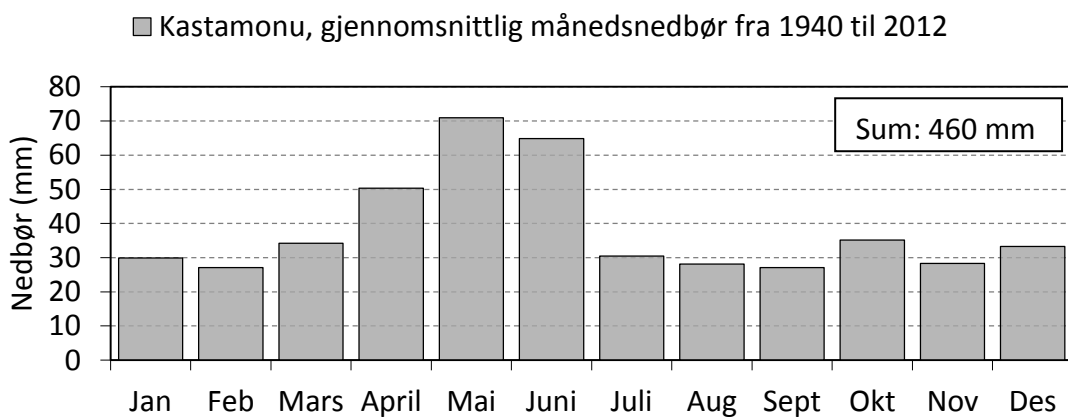
Figur 14: Årsnedbør i Sivas



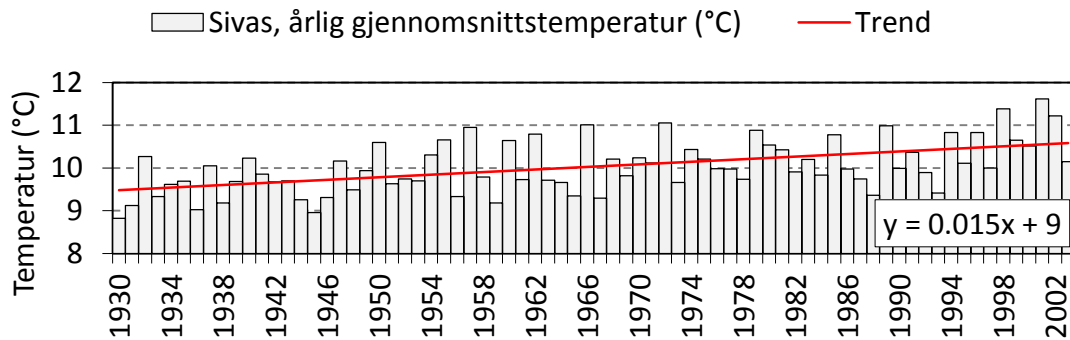
Figur 15: Årsnedbør i Kastamonu



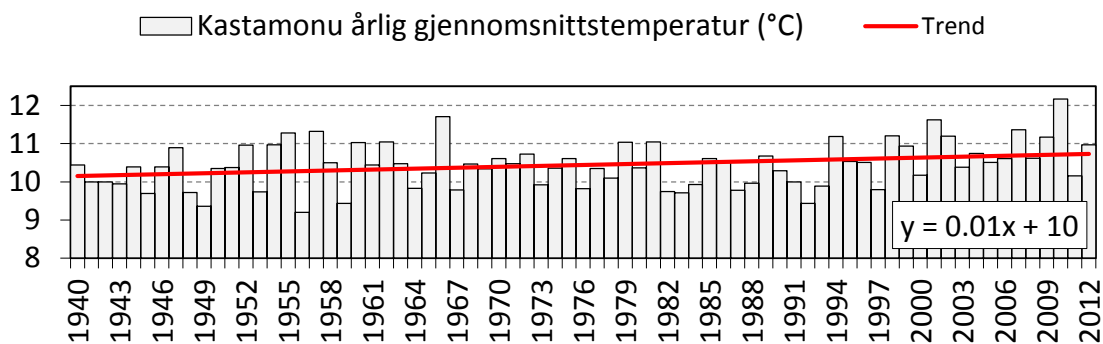
Figur 16: Gjennomsnittlig månedsnedbør i Sivas



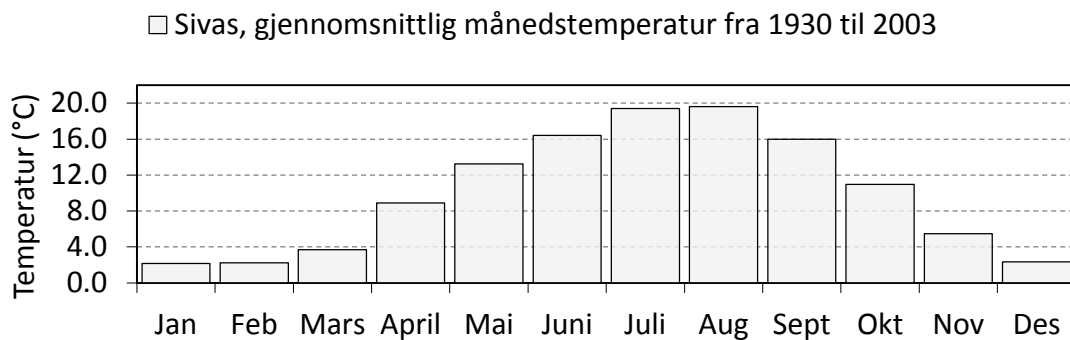
Figur 17: Gjennomsnittlig månedsnedbør i Kastamonu



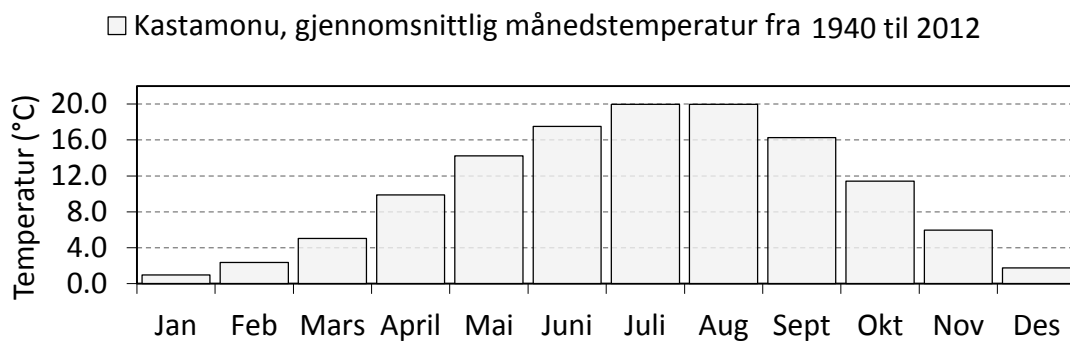
Figur 18: Årlig gjennomsnittstemperatur i Sivas



Figur 19: Årlig gjennomsnittstemperatur i Kastamonu



Figur 20: Gjennomsnittlig månedstemperatur i Sivas



Figur 21: Gjennomsnittlig månedstemperatur i Kastamonu

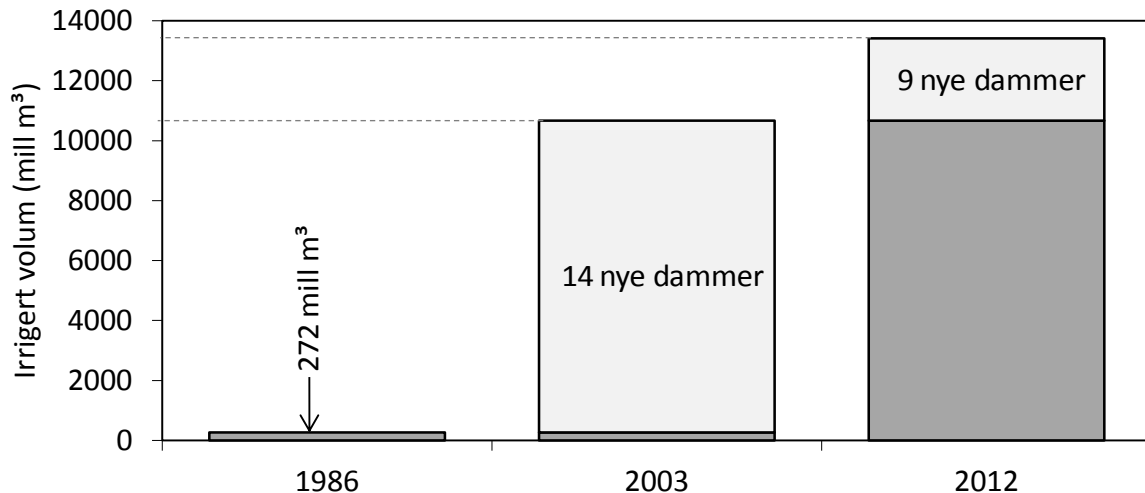
### 2.2.4 Eksisterende irrigasjonsdammer

Under følger en oversikt over eksisterende irrigasjonsdammer i nedslagsfeltet til Kizilirmak. Dataen har blitt fremskaffet av Statkraft, via det tyrkiske konsulentfirmaet SERGRUP.

**Tabell 7:** Original irrigasjonsdata (33 anlegg)

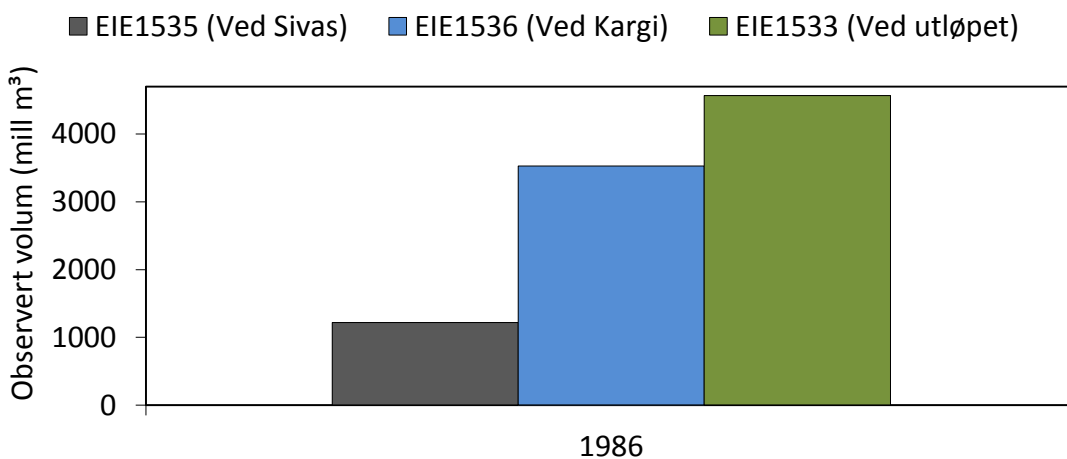
| Eksisterende irrigasjonsanlegg | Ferdigstilt | Prioritet i WEAP | Irrigert areal (ha) | Årlig vannning (m <sup>3</sup> /ha) | Fordelt aktivitet over et år (%) |       |     |      |      |        |           |         |          |          |  |  |
|--------------------------------|-------------|------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------|-----|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|--|--|
|                                |             |                  |                     |                                     | Mars                             | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | November | Desember |  |  |
| Ozen-Pusat                     | 2007        | 2                | 10924               | 5830                                |                                  |       | 1   | 10   | 41   | 33     | 14        |         |          |          |  |  |
| Karacalar                      | 2005        | 3                | 4500                | 66033                               |                                  |       |     | 15   | 38   | 32     | 12        | 1       |          |          |  |  |
| Gazibey                        | 1992        | 4                | 2537                | 5164                                |                                  | 1     | 8   | 18   | 24   | 24     | 19        | 6       |          |          |  |  |
| Maksutlu                       | 1977        | 5                | 423                 | 5830                                |                                  |       | 12  | 21   | 23   | 24     | 12        | 8       |          |          |  |  |
| Yapialtin                      | 1986        | 6                | 2444                | 5106                                |                                  |       | 3   | 9    | 39   | 35     | 13        | 1       |          |          |  |  |
| Sarioglan                      | 2007        | 8                | 5321                | 4905                                |                                  |       | 7   | 13   | 38   | 25     | 14        | 4       |          |          |  |  |
| Yemliha                        | 2005        | 10               | 7272                | 60596                               |                                  |       | 3   | 12   | 38   | 32     | 13        | 2       |          |          |  |  |
| Sarimsakli                     | 1968        | 11               | 6400                | 5802                                |                                  | 2     | 11  | 16   | 23   | 23     | 15        | 9       | 3        |          |  |  |
| Bayramhacili                   | 2011        | 12               | 3054                | 17836                               |                                  | 1     | 9   | 17   | 28   | 27     | 13        | 6       |          |          |  |  |
| Damsa                          | 1958        | 13               | 600                 | 42774                               |                                  | 1     | 9   | 20   | 32   | 26     | 10        | 2       |          |          |  |  |
| Kovali                         | 1988        | 15               | 3868                | 513269                              |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |
| Akkoy                          | 1967        | 16               | 800                 | 42071                               |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |
| Avanos                         | 2006        | 17               | 200                 | 310850                              |                                  | 1     | 9   | 19   | 33   | 27     | 10        | 2       |          |          |  |  |
| Ayhanlar                       | 2003        | 18               | 1472                | 36685                               |                                  | 1     | 9   | 20   | 32   | 26     | 10        | 2       |          |          |  |  |
| Tatlarin                       | 1977        | 19               | 384                 | 22382                               |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |
| Yalintas                       | 1994        | 20               | 1097                | 33661                               |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |
| Kultepe                        | 1983        | 21               | 2350                | 15871                               |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |
| Cogun                          | 1974        | 22               | 2028                | 42342                               |                                  | 1     | 9   | 20   | 33   | 26     | 10        | 2       |          |          |  |  |
| Siddikli                       | 2004        | 23               | 4317                | 10076                               |                                  | 1     | 9   | 20   | 33   | 26     | 10        | 2       |          |          |  |  |
| Koprukoy                       | 1998        | 24               | 5500                | 11818                               |                                  | 11    | 18  | 27   | 20   | 15     | 8         | 1       |          |          |  |  |
| Gokceoren                      | 1984        | 29               | 1850                | 9521                                |                                  | 7     | 14  | 22   | 26   | 22     | 7         | 1       |          |          |  |  |
| Timarli                        | 1992        | 31               | 8433                | 7304                                |                                  |       |     | 1    | 16   | 14     | 25        | 28      | 16       | 2        |  |  |
| Kuzayca                        | 2001        | 42               | 950                 | 164368                              |                                  | 6     | 11  | 15   | 24   | 21     | 13        | 9       |          |          |  |  |
| Karaova                        | 2001        | 43               | 3596                | 105426                              |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |
| Uzunlu                         | 1988        | 44               | 7222                | 913010                              |                                  |       | 4   | 12   | 38   | 31     | 13        | 2       |          |          |  |  |
| Yahyasaray                     | 1991        | 45               | 3436                | 86676                               |                                  | 6     | 11  | 15   | 24   | 21     | 14        | 10      |          |          |  |  |
| Guldurcek                      | 1988        | 48               | 6200                | 3371                                |                                  |       |     | 7    | 9    | 20     | 30        | 25      | 7        | 1        |  |  |
| Boyabat                        | 2012        | 49               | 6200                | 232506                              |                                  | 5     | 9   | 16   | 28   | 24     | 12        | 4       | 1        | 1        |  |  |
| Karacomak                      | 1973        | 51               | 1670                | 7486                                |                                  |       |     |      |      | 10     | 44        | 35      | 10       |          |  |  |
| Vezirkopru                     | 2001        | 52               | 9657                | 43823                               |                                  | 7     | 9   | 20   | 30   | 25     | 7         | 1       |          |          |  |  |
| Germecepe                      | 1987        | 53               | 650                 | 14152                               |                                  |       |     | 10   | 44   | 35     | 10        |         |          |          |  |  |
| Karadere                       | 2007        | 54               | 5456                | 57351                               |                                  |       |     |      |      | 10     | 44        | 35      | 10       |          |  |  |
| Gumushacikoy                   | 1989        | 56               | 3500                | 86803                               |                                  |       | 9   | 16   | 31   | 25     | 13        | 5       |          |          |  |  |

Det har blitt funnet nødvendig å redigere data for enkelte av irrigasjonsdammene i Tabell 7. Grunnen til dette er at disse dammene bruker altfor mye vann i forhold til rimelighetens grenser, noe som illustreres i Figur 22. Årene 1986 og 2003 er i dette tilfellet valgt som referanser, da disse representerer siste år i henholdsvis kalibrerings- og valideringsperioden (se kapittel 3). 2012 er tatt med for å få med resten av dammene som ble bygd etter 2003. Volumene som presenteres er *brutto* forbruk, da det i modellen antas at 20 % av bruttoforbruket renner tilbake til Kizilirmak.



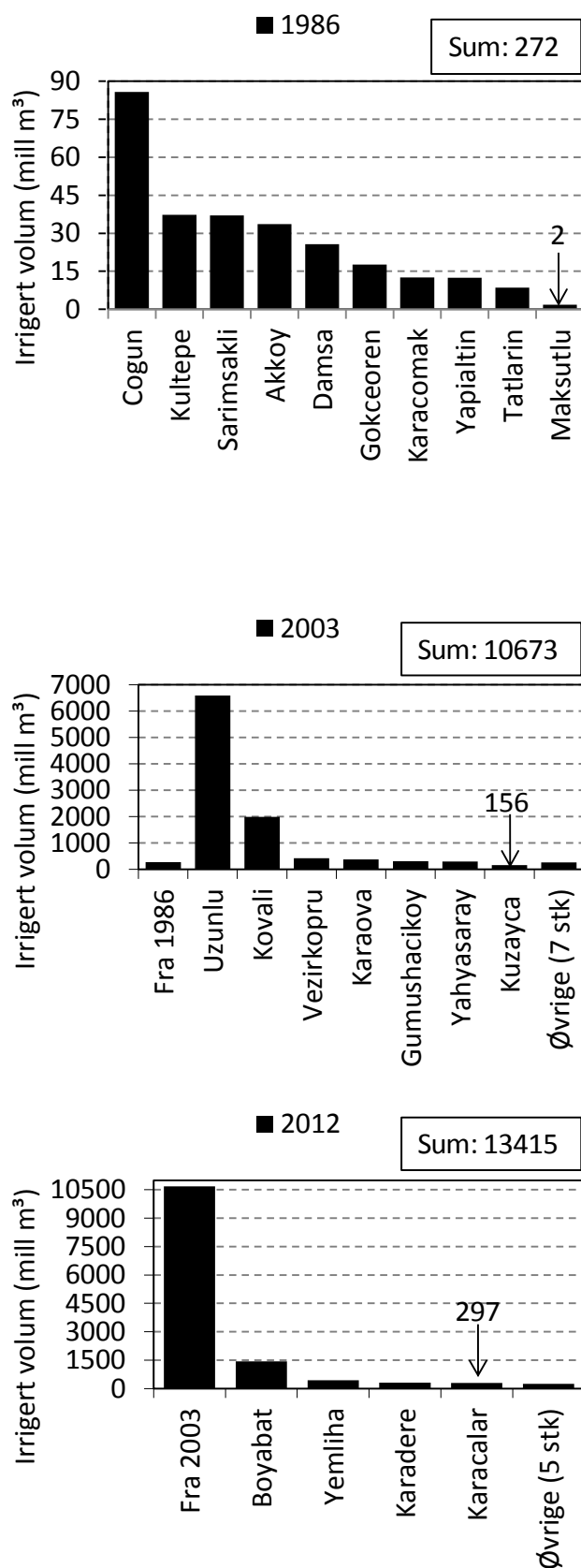
**Figur 22:** Irrigasjonsvolum for utvalgte år

Figur 22 viser at det totale irrigasjonsvolumet i 2003 og 2012 er betydelig større enn i 1986. Dersom dataen stemmer betyr det at jordvanning i Kizilirmak øker med omtrent 5000 % fra 1986 til 2012. Et årlig forbruk på 10 600 mill m<sup>3</sup> (2003) og 13 400 mill m<sup>3</sup> (2012) tilsvarer en elv som strømmer konstant i ett år med henholdsvis 336 m<sup>3</sup>/s og 425 m<sup>3</sup>/s. Figur 23, som viser observert totalt volum i 1986 ved utvalgte målestasjoner, illustrerer hvor usannsynlig irrigasjonsvolumet i 2003 og 2012 er. I følge EIE1533 tilførte Kizilirmak Svartehavet 4500 mill m<sup>3</sup> i 1981, og derfor kan det trygt sies at Kizilirmak ikke har kapasitet til å forsyne irrigasjonsområder med over 10 000 mill m<sup>3</sup> i 2003 og 2012. Det forutsettes for øvrig i dette prosjektet at vannføringsmålingene er mer til å stole på enn irrigasjonsdataen.



**Figur 23:** Observert totalt avrenningsvolum i 1986 ved utvalgte målestasjoner

Figur 24 viser hvilke irrigasjonsdammer som skiller seg ut i 1986, 2003 og 2012:



Figur 24: Hvilke irrigasjonsanlegg som skiller seg ut

I motsetning til 2003 og 2012, ser irrigasjonsdata for 1986 fornuftig ut. Cogun, som bruker mest vann i 1986, har et årlig bruttoforbruk på 86 mill m<sup>3</sup>. Siden 33 % brukes i juli (se Tabell 7) vil det si at vannføringen i irrigasjonskanalene er i snitt omtrent 10 m<sup>3</sup>/s i juli. I tillegg har Cogun vært aktiv siden 1974, noe som gir grunn til å stole på dataen som er gitt. Dette gjelder også de øvrige dammene, som alle er bygd før 1986.

Uzunlu, som bruker mest vann i 2003, har tilsynelatende et bruttoforbruk på 6594 mill m<sup>3</sup>. Dersom 38 % av dette brukes i juli betyr det at irrigasjonskanalene må ha en kapasitet på omtrent 930 m<sup>3</sup>/s. Det er ikke mulig. Ut i fra det gitte forbruket ved Kuzayca må irrigasjonskanalene ha en kapasitet på omtrent 14 m<sup>3</sup>/s, og kan virke fornuftig.

Irrigasjonskanalene ved Boyabat må ha en kapasitet på 150 m<sup>3</sup>/s for å kunne føre fram 28 % av det årlige forbruket på 1442 mill m<sup>3</sup> i juli. Av de totalt 33 dammene, har det blitt funnet nødvendig å nedjustere de ti dammene med høyest forbruk, det vil si alle med høyere bruttoforbruk enn ved Kuzayza (156 mill m<sup>3</sup>). Disse blir vist i Tabell 8.

Justeringene ble utført ved at Uzunlu først ble satt til å vanne like mye som Kuzayca (156 millioner m<sup>3</sup>/år) og et nedjustert vanningsbehov ble beregnet med ligningen nedenfor:

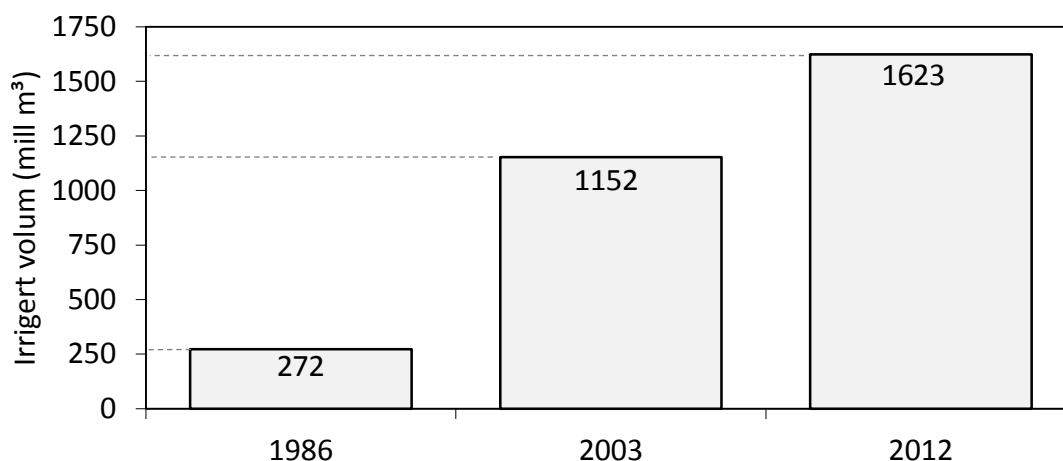
$$\text{Behov}_{\text{justert}} = \frac{\text{Behov}_{\text{originalt}} * \text{Forbruk}_{\text{justert}}}{\text{Forbruk}_{\text{originalt}}} = \frac{913010 * 156}{6595} = 21601 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Tabell 8 viser det justerte vanningsbehovet- og forbruket for de ti de nedjusterte anleggene:

**Tabell 8:** Oversikt over nedjustert irrigasjonsdata for de eksisterende anleggene

| Irrigasjonsanlegg som nedjusteres | Irrigert areal (ha) | Originalt vanningsbehov (m <sup>3</sup> /ha) | Nedjustert vanningsbehov (m <sup>3</sup> /ha) | Originalt bruttoforbruk (mill m <sup>3</sup> /år) | Nedjustert bruttoforbruk |                           |
|-----------------------------------|---------------------|--|---|---|--------------------------|---------------------------|
|                                   |                     |  |   |   | mill m <sup>3</sup> /år  | Som tilsvarer anlegget i: |
| Uzunlu                            | 7222                | 913010                                       | 21601   | 6594  | 156                      | Kuzayca                   |
| Kovali                            | 3868                | 513269                                       | 22234   | 1985  | 86                       | Cogun                     |
| Boyabat                           | 6200                | 232506                                       | 10484   | 1442  | 65                       | Koprukoy                  |
| Yemliha                           | 7272                | 60596  | 8758  | 441   | 64                       | Ozen-Pusat                |
| Vezirkopru                        | 9657                | 43823  | 6438  | 423   | 62                       | Avanos                    |
| Karaova                           | 3596                | 105426                                       | 17129   | 379   | 62                       | Timarli                   |
| Karadere                          | 5456                | 57351  | 9984  | 313   | 54                       | Bayramhacili              |
| Gumushacikoy                      | 3500                | 86803  | 15429   | 304   | 54                       | Ayhanlar                  |
| Yahyasaray                        | 3436                | 86676  | 12660   | 298   | 43                       | Siddikli                  |
| Karacalar                         | 4500                | 66033  | 8288  | 297   | 37                       | Kultepe                   |
| <b>Sum:</b>                       |                     |  |   | <b>12475</b>                                      | <b>684</b>               |                           |

Irrigert areal og fordelt aktivitet over året er uendret. Ingen av de øvrige irrigasjonsanleggene i Tabell 7 er endret på. Figur 25 under viser bruttoforbruket for de samme referanseårene som i Figur 22, men etter nedjusteringene. Nå øker jordvanning i Kizilirmak med omtrent 600 % fra 1986 til 2012, noe som er mer troverdig enn 5000 %.



**Figur 25:** Irrigasjonsvolum for utvalgte år etter justeringene

### 2.2.5 Eksisterende vannkraftsdammer

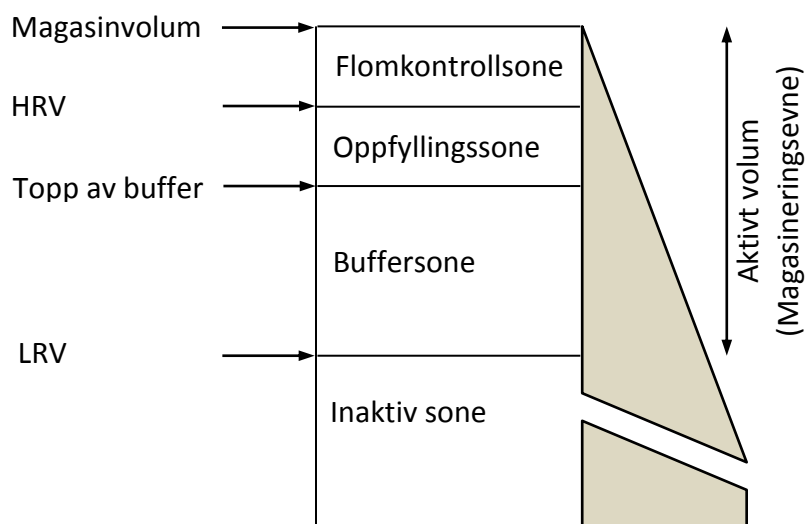
Det har blitt gjort en rekke forutsetninger og manuelle beregninger når det gjelder parametre for de ulike vannkraftsdammene og i dette kapitlet beskrives disse. Først forklares enkelte av parametrene som har blitt brukt. Deretter presenteres de ulike verdiene for parametrene som har blitt brukt i WEAP (i Tabell 10 og Tabell 11). All data som er relatert til dammene, som for eksempel årstall, volum, vannstand, turbinkapasitet og planlagt produksjon, er mottatt fra Statkraft.

#### *Prioritet i WEAP*

Denne parameteren bestemmer rekkefølgen på hvilke dammer i modellen som først skal få tilstrekkelig tilsig til planlagt produksjon. Tilsvarende parameter finnes for irrigasjonsanleggene (se Tabell 7). I denne oppgaven er det antatt at jordvanning prioriteres fremfor vannkraft. Utover dette tilsvarer prioriteten tallet anlegget får dersom en teller anleggene nedover i vassdraget.

#### *Topp av buffer og bufferkoeffisient*

I WEAP er det mulig å variere aktivt volum fra måned til måned ved å etablere en buffersone og en bufferkoeffisient (mellom 0 og 1). Bufferkoeffisienten kan variere fra måned til måned. På den måten kan for eksempel det aktive volumet (magasineringsvevnen) være større om våren enn om sommeren. I dette prosjektet er ikke denne funksjonen brukt, da "Topp av buffer" er satt lik laveste regulerte vannstand (LRV) og bufferkoeffisienten er satt lik 1. Det aktive volumet er satt konstant året rundt. I tillegg er magasinvolumet ved høyeste regulerte vannstand (HRV) satt lik magasinvolumet, noe som betyr at vannet går til overløp dersom vannstanden overstiger HRV. Figur 26, som er hentet fra «WEAP Tutorial» viser et damsnitt og de ulike parametrene:



**Figur 26:** Parametre i WEAP som er relatert til bestemmelser angående magasinering (SEI,2012)

*Volum- høydekurver*

For hvert magasin må det etableres et forhold mellom magasinivolum og vannstand. I WEAP utgjør vannstanden i magasinet trykkhøyden på turbinen. Det må registreres minimum to punkter. I dette prosjektet er det brukt tre kjente punkter:

- Volum = 0 = Vannstand
- Volum = "Volum ved LRV", Vannstand = Damhøyde – (0,10\*Damhøyde)
- Volum = "Volum ved HRV", Vannstand = Damhøyde

Det antas altså at mellom HRV og LRV synker vannstanden 10 % av total høyde. Mellom de kjente punktene er det for enkelhetsskyld antatt en lineær sammenheng. Vedlegg 5 viser volum- høydekurver for alle magasin og en oversikt over alle punktene.

*Fordampning*

Fordampning er beregnet ved bruk av Penman sin ligning. Vedlegg 4 viser beregnet fordampning for de ulike magasinene, og i kapittel 2.4 beskrives fordampningsberegningene.

*Turbinvannføring, produksjon, virkningsgrad og driftstid*

Først ble turbinvannføringene til Hirfanli kraftverk fordelt over året slik at vannføringen nedstrøms dammen passet med vannføringsmålingene ved EIE1536. Deretter ble en månedsfordeling "n" beregnet (se Tabell 9) og gjort gjeldene for de andre dammene også. Forholdet mellom gjennomsnittlig turbinvannføring  $Q_m$  (141 m<sup>3</sup>/s) og turbinkapasitet  $Q_{kap}$  (244 m<sup>3</sup>/s) for Hirfanli ble beregnet til 0,58. Det betyr at turbinvannføring  $Q_t$  en gitt måned for dam i blir

$$Q_t^i = n * Q_m^i = n * Q_{kap}^i * 0,58$$

**Tabell 9:** Vannføring til turbinene i Hirfanli tilpasset vannføringsmålinger nedstrøms dammen

| Måned                                     | Turbinvannføring $Q_t$ (m <sup>3</sup> /s) | Fordeling n ( $n = Q_t/Q_m$ ) |
|---|--|-------------------------------|
| Jan                                       | 140  | 0,99                          |
| Feb                                       | 170  | 1,21                          |
| Mars                                      | 195  | 1,38                          |
| April                                     | 160  | 1,14                          |
| Mai                                       | 120  | 0,85                          |
| Juni                                      | 120  | 0,85                          |
| Juli                                      | 100  | 0,71                          |
| Aug                                       | 115  | 0,82                          |
| Sept                                      | 140  | 0,99                          |
| Okt                                       | 140  | 0,99                          |
| Nov                                       | 145  | 1,03                          |
| Des                                       | 145  | 1,03                          |
| <b>Gjennomsnitt <math>Q_m</math></b>      | 141  | 1                             |
| <b><math>Q_{kap}</math></b>               | 244  |                               |
| <b>Forholdet <math>Q_m/Q_{kap}</math></b> | 0,58                                       |                               |

Tabell 10 på neste side viser antatt månedlig turbinvannføring og produksjon for alle eksisterende kraftstasjoner i feltet, som altså er basert på Hirfanli.



**Tabell 10: Antatt månedlig turbinvannføring og produksjon (eksisterende vannkraftsanlegg)**

|   | Yemliha  | Bayramhacili   | Hirfanli | Kesikkopru | Kapulukaya | Obruk | Boyabat | Altinkaya | Derbent |                     |     |  |
|---|----------|--|----------|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|---------------------|-----|--|
| $Q_{kap}$ (m <sup>3</sup> /s) (gitt)                | 123      | 135  | 244      | 257        | 165        | 375   | 471     | 676       | 280     |                     |     |  |
| $Q_m = 0,58 * Q_{kap}$ (m <sup>3</sup> /s) (antatt) | 71       | 78   | 141      | 148        | 95         | 216   | 272     | 390       | 162     |                     |     |  |
|   | <i>n</i> | Turbinvannføring $Q_t = n * Q_m$ (m <sup>3</sup> /s)             |          |            |            |       |         |           |         |                     |     |  |
| Jan   | 0,99     | 71   | 77       | 140        | 147        | 95    | 215     | 270       | 388     | 161                 |     |  |
| Feb   | 1,21     | 86   | 94       | 170        | 179        | 115   | 261     | 328       | 471     | 195                 |     |  |
| Mars  | 1,38     | 98   | 108      | 195        | 205        | 132   | 300     | 376       | 540     | 224                 |     |  |
| April   | 1,14     | 81   | 89       | 160        | 169        | 108   | 246     | 309       | 443     | 184                 |     |  |
| Mai   | 0,85     | 60   | 66       | 120        | 126        | 81    | 184     | 232       | 332     | 138                 |     |  |
| Juni  | 0,85     | 60   | 66       | 120        | 126        | 81    | 184     | 232       | 332     | 138                 |     |  |
| Juli  | 0,71     | 50   | 55       | 100        | 105        | 68    | 154     | 193       | 277     | 115                 |     |  |
| Aug   | 0,82     | 58   | 64       | 115        | 121        | 78    | 177     | 222       | 319     | 132                 |     |  |
| Sept  | 0,99     | 71   | 77       | 140        | 147        | 95    | 215     | 270       | 388     | 161                 |     |  |
| Okt   | 0,99     | 71   | 77       | 140        | 147        | 95    | 215     | 270       | 388     | 161                 |     |  |
| Nov   | 1,03     | 73   | 80       | 145        | 153        | 98    | 223     | 280       | 402     | 166                 |     |  |
| Des   | 1,03     | 73   | 80       | 145        | 153        | 98    | 223     | 280       | 402     | 166                 |     |  |
| Trykkehøyde H ved HRV (m)                           | 98       | 41   | 69       | 41         | 42         | 64    | 188     | 135       | 24      |                     |     |  |
| Virkningsgrad $\eta$ (%)                            | 95       | 95   | 95       | 95         | 95         | 95    | 95      | 95        | 95      | 95                  |     |  |
|   |          | Månedlig produksjon $E = 9,81 * \eta * H * Q_t * h / 10^6$ (GWh) |          |            |            |       |         |           |         |                     |     |  |
| Jan   | 48       | 22   | 67       | 42         | 28         | 95    | 352     | 363       | 27      | 31                  | 744 |  |
| Feb   | 53       | 24   | 73       | 46         | 30         | 105   | 386     | 398       | 29      | 28                  | 672 |  |
| Mars  | 67       | 31   | 93       | 58         | 38         | 133   | 491     | 506       | 37      | 31                  | 744 |  |
| April   | 53       | 24   | 74       | 46         | 30         | 106   | 390     | 402       | 30      | 30                  | 720 |  |
| Mai   | 41       | 19   | 57       | 36         | 24         | 82    | 302     | 311       | 23      | 31                  | 744 |  |
| Juni  | 40       | 18   | 56       | 35         | 23         | 79    | 292     | 301       | 22      | 30                  | 720 |  |
| Juli  | 34       | 16   | 48       | 30         | 20         | 68    | 252     | 259       | 19      | 31                  | 744 |  |
| Aug   | 39       | 18   | 55       | 34         | 23         | 78    | 289     | 298       | 22      | 31                  | 744 |  |
| Sept  | 46       | 21   | 65       | 41         | 27         | 92    | 341     | 351       | 26      | 30                  | 720 |  |
| Okt   | 48       | 22   | 67       | 42         | 28         | 95    | 352     | 363       | 27      | 31                  | 744 |  |
| Nov   | 48       | 22   | 67       | 42         | 28         | 96    | 353     | 364       | 27      | 30                  | 720 |  |
| Des   | 50       | 23   | 69       | 43         | 29         | 99    | 365     | 376       | 28      | 31                  | 744 |  |
| Sum brutto produksjon (GWh), $E_{BRUTTO}$           | 567      | 260  | 792      | 496        | 326        | 1129  | 4165    | 4293      | 316     | $\Sigma E_{PLAN}$ : |     |  |
| Planlagt årlig produksjon (GWh), $E_{PLAN}$         | 422      | 165  | 400      | 250        | 190        | 473   | 1500    | 1632      | 257     | 5289                |     |  |
| Driftstid (%) = $E_{PLAN}/E_{BRUTTO}$               | 74       | 63   | 51       | 50         | 58         | 42    | 36      | 38        | 81      |                     |     |  |

Hirfanli har altså fungert som en mal for de andre vannkraftsdammene når det gjelder drift og produksjon. Vannføringsmålinger nedstrøms Hirfanli viser en tydelig magasinering av vann enkelte måneder, og tømning av reservoaret andre måneder. Det eneste virkemiddelet for å få til denne reguleringen av reservoaret var å variere maksimal turbinvannføring fra måned til måned, som vist på side 20 og 21. I virkeligheten kjører ikke turbinene på for eksempel halv kapasitet, da virkningsgraden  $\eta$  vil bli redusert. I virkeligheten vil turbinene enten kjøre på full kapasitet, eller ikke i det hele tatt. Problemet i WEAP er da at elva blir tørr i de periodene reservoaret fylles opp og det ikke går vann over overløpet, med mindre turbinene kjører. I praksis må det være en form for slipp av minstevannsføring i dammen, eventuelt en tappelupe hvis det er mulig. Fordi dette alternativet ikke ble funnet gjennomførbart i WEAP har det blitt gjort som ovenfor beskrevet.

I Tabell 11 nedenfor summeres alle parametrene som er relatert til vannkraftsanleggene. For enkelte av parameterverdiene henvises det til egen tabell eller vedlegg. Ingen parametre som ikke blir nevnt her har blitt endret på, når det gjelder vannkraftsanleggene.

**Tabell 11:** Parametre i WEAP relatert til vannkraftsanleggene

| Parameter i WEAP   | Yemliha   | Bayramhacili | Hirfanli | Kesikkopru | Kapulukaya | Obruk | Boyabat | Altinkaya | Derbent |
|--|---|--------------|----------|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|
| <b>Ferdigstilt</b>   | 2005  | 2011         | 1959     | 1966       | 1989       | 2007  | 2012    | 1988      | 1990    |
| <b>Volum når simulering starter i 1981 (mill m<sup>3</sup>) (antatt)</b> | -   | -            | 4200     | 34         | -          | -     | -       | -         | -       |
| <b>Prioritet i WEAP</b>  | 60  | 61           | 62       | 63         | 64         | 65    | 67      | 68        | 69      |
| <b>Magasinvolum (mill m<sup>3</sup>)</b>                                 | 3476  | 912          | 5980     | 95         | 282        | 661   | 3557    | 5763      | 213     |
| <b>Volum ved HRV (mill m<sup>3</sup>)</b>                                | Samme som "Magasinvolum"  |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Aktivt volum (mill m<sup>3</sup>)</b>                                 | 2078  | 66           | 2045     | 61         | 140        | 161   | 1410    | 2892      | 49      |
| <b>Topp av buffer (mill m<sup>3</sup>)</b>                               | Samme som "Volum ved LRV"   |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Bufferkoeffisient</b>   | 1   |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Volum ved LRV (mill m<sup>3</sup>)</b>                                | 1398  | 846          | 3935     | 34         | 142        | 500   | 2147    | 2871      | 164     |
| <b>Volum- høyde kurve</b>  | Se Vedlegg 5  |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Fordampning (mm/mnd)</b>  | Se Vedlegg 4 (verdier) og kapittel 2.4 (beregninger)  |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Turbinvannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>                                | Produksjon varierer fra måned til måned.<br>Beregning av og verdier for disse parametrene finnes i<br>Tabell 10 |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Produksjon (GWh/mnd)</b>  |   |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Total virkningsgrad <math>\eta</math> (%)</b>                         |   |              |          |            |            |       |         |           |         |
| <b>Driftstid (%)</b>   |   |              |          |            |            |       |         |           |         |

### 2.3 WEAP-modellen

Mange land opplever stadig større utfordringer knyttet til allokering av begrenset mengde ferskvann. Også miljøproblemer og bærekraftig samfunnsutvikling er av økende bekymring. Utviklingen av modellen Water Evaluation And Planning (WEAP) ble startet av Stockholm Environment Institute (SEI) i 1988 med hovedfokus på å kunne være et fleksibelt og integrert planleggingsverktøy for vurdering av bærekraftighet når det gjelder forholdet mellom etterspørsel og tilførsel av vann. At WEAP- modellen er et integrert planleggingsverktøy betyr at den er i stand til å regulere retningslinjer i vannforvaltningen i tillegg til modellering av hydrologiske prosesser (Abrishamchi, 2007; Droogers, 2009). En annen viktig drivkraft for utviklingen av WEAP var muligheten for analyse av langsiktige scenarioer der en kan ta klimaendringer, teknologiske fremskritt og politikk med i betraktningene. (Sieber og Purkey, 2006). Modellen er semiteoretisk, sammenhengende i tid, semidistribert og deterministisk. Fordi den er semiteoretisk må modellen kalibreres og valideres (Hamlat et al, 2012). Programmet ble nedlastet og installert før Tor Haakon Bakken gjennom sine kontakter ordnet lisensen som krevdes. I dette kapittelet beskrives WEAP nærmere. I dette arbeidet har det hovedsakelig blitt tatt utgangspunkt i «WEAP User Guide» (Sieber og Purkey, 2011) og «WEAP Tutorial» (SEI, 2012), men også i en presentasjon som representanter fra SEI holdt ved NTNU den 6.september 2013. WEAP- modellen byr på et oversiktlig og intuitiv brukergrensesnitt, som består av fem visninger (Views) (Sieber og Purkey, 2006):

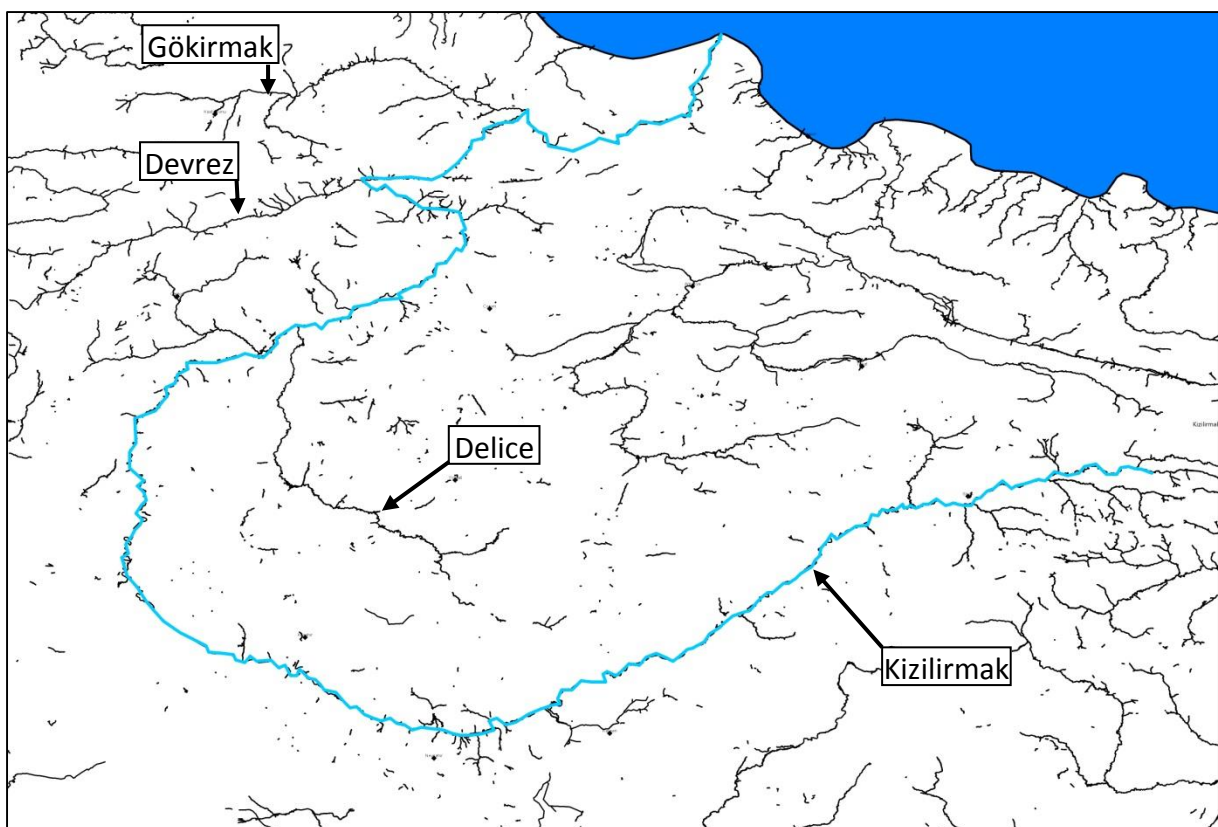
- 1) Schematic View er utgangspunktet for all modellering i WEAP. Ved å bruke "dra – og slippeprinsippet" kan en enkelt plassere alle elementene (elver, nedslagsfelt, dammer, målestasjoner, jordvanningsanlegg) man ønsker i systemet sitt. Her kan en velge å bruke kartgrunnlag i bunn, i GIS- format (Geografiske Informasjonssystemer), for å gjenspeile det virkelige elvesystemet på best mulig måte.
- 2) Data View brukes for å beskrive elementene nærmere. Det er her forutsetninger, vannforbruk, hydrologi, tilførsel og miljøfaktorer beskrives.
- 3) I Result View kan en generere grafer og tabeller i alle mulige varianter, som tar for seg hvert enkelt element i systemet. Her kan en også sammenligne ulike scenarioer, og en kan lagre sine egne favoritter. Når en kalibrerer et nedslagsfelt brukes denne visningen for å sammenligne observerte og simulerte vannføringer.
- 4) Scenario Explorer View brukes når en ønsker å sammenligne sine favoritter, ved å vise flere samtidig.
- 5) I Notes View kan en notere seg momenter som er viktige å huske på, for eksempel hva de ulike scenarioene inneholder. Notatene kan enkelt eksporteres til Microsoft Word.

Når WEAP installeres på datamaskinen følger det med en rekke GIS- filer som automatisk kommer til syne som egne lag i Schematic View (Se Tabell 12)

**Tabell 12:** Medfølgende GIS- filer i WEAP

| Lagnavn             | Innhold                               |
|---------------------|---------------------------------------|
| <i>Cities</i>       | Alle store byer i verden              |
| <i>States</i>       | Regioner/stater/provinser i alle land |
| <i>Country</i>      | Alle landegrenser i verden            |
| <i>Ocean</i>        | Alle havene i verden                  |
| <i>Major Rivers</i> | Et utvalg av verdens største elver    |

På grunn av at laget Major Rivers ikke inneholder Kizilirmak har det i dette prosjektet blitt nødvendig å søke opp elvene i Tyrkia i GIS- format. Denne filen ble lastet ned fra nettsidene til Geofabrik, en tysk karttjeneste. Når filen åpnes i WEAP ser den ut som i Figur 27, der den lyseblå streken er Kizilirmak som er påtegnet. I figuren er lagene Cities og States skrudd av. Alle lag kan skrues av og på som ønskelig.

**Figur 27:** Hvordan den nedlastede GIS- filen av Kizilirmak ser ut i WEAP

WEAP kan kobles til andre modeller, deriblant QUAL2K, MODFLOW og LEAP (SEI, 2012):

- **QUAL2k:** I tillegg til WEAP sin innebygde funksjon for modellering av vannkvalitet, kan modellen kobles til den endimensjonale vannkvalitetsmodellen QUAL2K. Det er flere likheter og ulikheter mellom disse to modellene, men hovedfordelen med denne koblingen er at QUAL2K er i stand til å modellere mange flere stoffer mye mer detaljert.
- **MODFLOW:** Dersom WEAP sin innebygde funksjon for modellering av grunnvann ikke er tilstrekkelig, kan det etableres en dynamisk kobling til den tredimensjonale

grunnvannsmodellen MODFLOW. Ved en vellykket kobling vil data sendes fram og tilbake mellom de to modellene.

- LEAP: Denne modellen (Long-range Energy Alternatives Planning System) er også utviklet av SEI og kan tilkobles WEAP. LEAP brukes til politikkanalyse og vurderinger i forhold til klimaendringer, der en kan beregne energiforbruk – og produksjon og studere fordeler ved reduksjon av lokal luftforurensning.

WEAP- modellen, som baserer seg på vannbalanseregnskap, kan brukes både til urbane områder og jordbruk, med alt fra enkle til kompliserte vannsystemer. Grovt sett kan bruksområdene for WEAP deles inn i tre områder (Sieber og Purkey, 2012):

- Som database, der en kan hente informasjon om tilførsel og etterspørsel av vann.
- Som prognoseverktøy, der en kan simulere vannføringer, vannbalanse og forurensning.
- Som politikkanalyse verktøy, der en kan vurdere ulike retningslinjer for vannbruk, inkludert konkurrerende brukere av vannressursene.

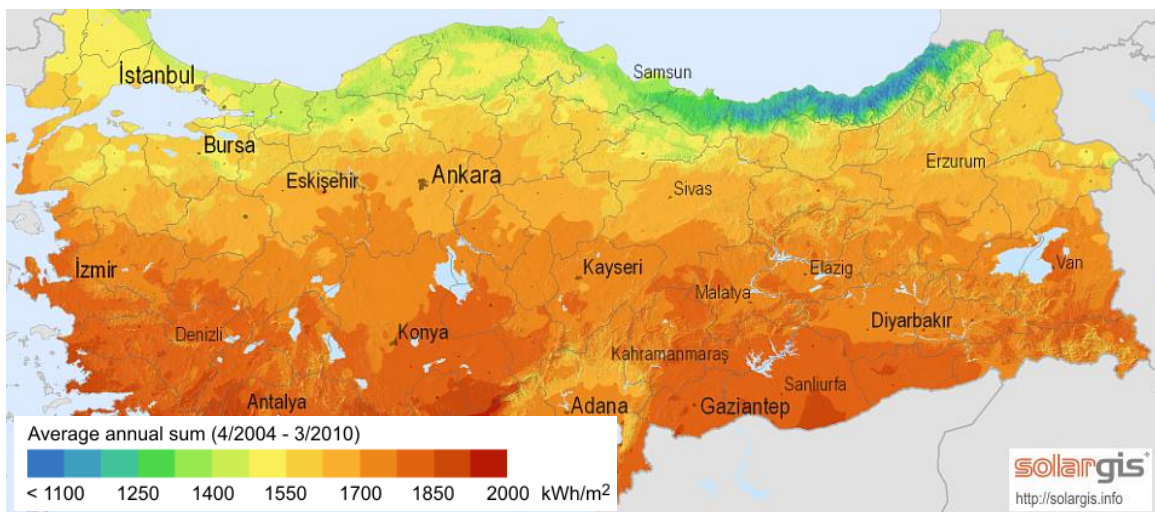
Å bruke WEAP innbefatter som regel flere steg. Først defineres tidsrammen, geografiske avgrensinger og systemets innhold. Dette skjer i «Current Accounts» der en beskriver hvordan situasjonen er i dag. Etter at modellen er kalibrert og validert kan det etableres ulike scenarioer som baseres på alternative forutsetninger for fremtidige situasjoner. Slike alternative forutsetninger kan for eksempel være endringer i politikk og retningslinjer, kostnader, tekniske fremskritt og faktorer som påvirker tilførselen, etterspørselen, forurensninger, klima og hydrologi. De ulike scenarioene kan sammenlignes med hverandre, og med scenarioet som baserer seg på hvordan situasjonen er i dag (Reference Scenario). Dermed kan slike scenarioer kan brukes til å besvare en rekke "Hva om"- spørsmål. (Sieber og Purkey, 2006). Det som skiller WEAP fra andre modeller som brukes til å vurdere vannallokering (REALM, Mike Basin etc.) er at WEAP er i stand til å vurdere de økonomiske konsekvensene som kommer av endringer i fordelingen av vannressursene (George et al, 2010).

I Bolivia har WEAP blitt brukt til å studere infrastrukturen i vann- og avløpsnett i byene La Paz og El Alto og konsekvensene av at isbreene smelter på grunn av klimaendringene. I California har WEAP blitt brukt til å studere forholdene i et laksehabitat som deler vannet sitt med et vannkraftverk. I Colombia har WEAP blitt brukt til flomanalyser (Escobar og Purkey, 2013). WEAP har også blitt anbefalt som verktøy i arbeidet med langsiktige analyser av vannforvaltning i både Benin (Höllermann et al, 2010) og Algerie (Hamlat et al, 2012). Bruken av WEAP innbefatter ikke kun vannallokering, men også vannkvalitet og bevaring av økosystemer, noe som gjør modellen i stand til å simulere mange av ferskvannsproblemene i verden i dag (Droogers, 2009).

## 2.4 Fordampningsberegninger

Den største kilden til lokale vanntap i et nedslagsfelt er fordampning fra åpne vann, slik som innsjøer og magasiner (Gökbülak og Özhan, 2006). En studie fra 2006 (Gökbülak og Özhan, 2006) har estimert totalt fordampningsvolum i hele Tyrkia fra 129 naturlige innsjøer og 223 menneskeskaptede reservoarer. I følge studiet tilsvarte fordampningsvolumet i 1999 over en femtedel av det totale irrigasjonsvolumet i Tyrkia. Total årlig fordampning fra innsjøene og reservoarene ble estimert til henholdsvis 2700 mill m<sup>3</sup> og 4100 mill m<sup>3</sup>. Det betyr at det i gjennomsnitt fordampes omtrent 18,4 mill m<sup>3</sup> per år fra hvert magasin. Siden fordampning i praksis vil variere fra magasin til magasin på grunn av klima og areal har det i dette prosjektet blitt utført manuelle fordampningsberegninger for hvert enkelt magasin. Av de ulike metodene å estimere fordampning fra frie vannoverflater på (Artificial Neural Network, Thornthwaite etc.) har det i dette prosjektet blitt valgt å bruke Penman sin metode. I rapporten «Comparison of the Different Evaporation Computation Methods at Sultansazligi Wetland Kayseri» (Gurer og Yildiz, 2012) anbefales Penman sin metode fordi den tar hensyn til flere klimatiske faktorer, deriblant luftfuktighet, solstråling, temperatur og vindhastighet. Thornthwaite sin metode tar kun hensyn til lufttemperatur og er i utgangspunktet ment for å estimere evapotranspirasjon (Gurer og Yildiz, 2012). (Formel 1 er Shuttleworth sin omskrevne versjon av Penman sin formel (Wikipedia, 2013))

Dette kapittelet presenterer gangen i fordampningsberegningene, og rapporten «Step by Step Calculation of the Penman- Monteith Evapotranspiration» (Zotarelli et al, 2009) har blitt brukt som kilde for å beskrive innholdet i (Formel 1. Figur 28 ble brukt til å finne innkommende solstråling ( $R_s$ ) i fordampningsberegningene som vises på neste to sidene, og ble hentet fra nettsidene til Solargis.



**Figur 28:** Innkommende solstråling i Tyrkia

Merk at verdiene som Figur 28 viser har enheten kWh/m<sup>2</sup>\*år. Enheten til  $R_s$  er MJ/m<sup>2</sup>\*dag. I overgangen brukes det at 1 kWh = 3,6 MJ, slik at for eksempel

$$1700 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år} = 1700 \cdot 3,6 / 365 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dag} = 16,8 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dag}$$

$$E_{\text{mass}} = \frac{m * R_n + \gamma * 6,43 * (1 + 0,535 * U_2) * \delta_e}{\lambda_v(m + \gamma)} \quad (\text{Formel 1})$$

**E<sub>mass</sub>**: Fordampning (mm/dag)  
**m**: Helning på metning/damptrykkskurve (kPa/K)

$$m = \frac{4098 * 0,6108 * e^{\frac{17,27T}{T+273,3}}}{(T + 273,3)^2}$$

**T**: Gjennomsnittstemperatur (°C)  
**R<sub>n</sub>**: Netto solstråling (MJ/m<sup>2</sup>dag) = R<sub>ns</sub> – R<sub>nl</sub>

R<sub>ns</sub>: Kortbølgestråling (inn)  
 R<sub>nl</sub>: Langbølgestråling (ut) (Se formel på neste side)

R<sub>ns</sub> = (1 – a)R<sub>s</sub>  
 a: Albedo (refleksjonskoeffisient), antatt til 0  
 R<sub>s</sub>: Innkommende solstråling (Se Figur 28)

**γ**: Psykrometrisk konstant (kPa/K)

$$\gamma = \frac{0,0016286 * P}{\lambda_v}$$

P: Atmosfærisk trykk (kPa)

$$P = 101,3 * \left[ \frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right]^{5,26}$$

z: Høyde over havet (m) (se HRV i Tabell 14)

**U<sub>2</sub>**: Gjennomsnittlig vindhastighet (m/s)  
**δ<sub>e</sub>**: Damptrykksunderskudd (kPa) = e<sub>s</sub> – e<sub>a</sub>

e<sub>s</sub>: Damptrykk, gitt en lufttemperatur

e<sub>a</sub>: Damptrykk, gitt en luftfuktighet

$$e_s = \frac{e_{(T_{\text{max}})} + e_{(T_{\text{min}})}}{2}, e_a = \frac{\text{RH}_{\text{mean}}}{100} * \left( \frac{e_{(T_{\text{min}})} + e_{(T_{\text{max}})}}{2} \right)$$

$$e_{(T_{\text{max}})} = 0,6108 * e^{\left( \frac{17,27 * T_{\text{max}}}{T_{\text{max}} + 237,3} \right)}$$

$$e_{(T_{\text{min}})} = 0,6108 * e^{\left( \frac{17,27 * T_{\text{min}}}{T_{\text{min}} + 237,3} \right)}$$

T<sub>min</sub> og T<sub>max</sub>: Laveste og høyeste målte temperatur

RH<sub>mean</sub>: Gjennomsnittlig luftfuktighet

**λ<sub>v</sub>**: Latent varme for fordampning (MJ/kg) = 2,45

$$R_{nl} = \sigma * \left[ \frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left( \frac{1,35R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

- $R_{nl}$**  Langbølgestråling (ut) (fra forrige side) (MJ/m<sup>2</sup>dag)  
 **$\sigma$** : Stefan- Boltzmann = 4,903\*10<sup>-9</sup> MJ/K<sup>4</sup>m<sup>2</sup>dag  
 **$T_{max}$** : Høyeste målte temperatur (°C)  
 **$T_{min}$** : Laveste målte temperatur (°C)  
 **$e_a$** : Damptrykk, gitt en luftfuktighet (kPa)  
 **$R_s$** : Innkommende solstråling (se Figur 28) (MJ/m<sup>2</sup>dag)  
 **$R_{so}$** : Stråling ved klar himmel (MJ/m<sup>2</sup>dag)

$$R_{so} = (0,75 + 2z/10^5) * R_a$$

$z$ : Høyde over havet (m) (se HRV i Tabell 14)

$R_a$ : Ekstraterrestial stråling (MJ/m<sup>2</sup>dag)

$$R_a = \frac{24(60) * G_{sc} * d_r}{\pi} * [(\omega_s \sin \varphi \sin \delta) + (\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s)]$$

$G_{sc}$ : Solarkonstant (MJ/m<sup>2</sup>min) = 0,082

$d_r$ : Invers relativ avstand til sola

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left[ \frac{2\pi}{365} J \right]$$

$J$ : Dagens nummer fra 1 til 365

$\omega_s$ : Vinkel på solnedgang

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan \varphi \tan \delta]$$

$\varphi$ : Breddegrad i radianer (se Tabell 14)

$$\varphi = \frac{\pi * [\text{Desimalgrader}]}{180}$$

$\delta$ : Solar deklinasjon

$$\delta = 0,409 \sin \left[ \frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right]$$

Resultatene vises i Vedlegg 4. Klimaparametrene som varierer fra magasin til magasin er  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $T$ ,  $R_s$ ,  $U_2$  og RH. Disse er markert med grå bakgrunn i Tabell 13 som viser et eksempel på hvordan fordampningen har blitt beregnet. (Det digitale vedlegget som medfølger rapporten inneholder Excel- filen som ble brukt til fordampningsberegninger). AQUASTAT ([www.fao.org/nr/water/aquastat/quickWMS/climcropwebx.htm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/quickWMS/climcropwebx.htm)) ble brukt til å finne disse parametrene (karakteristiske klimaverdier). Verktøyet gir gjennomsnittlige verdier for et område, og fordampningsverdiene i denne rapporten varierer derfor ikke fra år til år. I AQUASTAT- verktøyet trenger en kun å skrive inn koordinatene til magasinene som har blitt funnet ved hjelp av karttjenesten Google Earth. Parameteren  $z$ , høyde over havet, tilsvarer HRV for de ulike magasinene. Breddegrad i desimalgrader har vært nødvendig for å beregne  $R_a$ . I Tabell 14 oppsummeres alle de varierende parametrene som ikke vises i Tabell 13.



**Tabell 13:** Eksempel på fordampningsberegning

| Res             | Mnd | T <sub>max</sub>      | T <sub>min</sub>     | T                    | m        | R <sub>s1</sub> | R <sub>s</sub> | R <sub>ns</sub> | R <sub>a</sub> | R <sub>so</sub> | R <sub>nl</sub> | R <sub>n</sub> | λ <sub>v</sub> | P  | γ   | U <sub>2</sub> | RH | e <sub>max</sub> | e <sub>min</sub> | e <sub>s</sub> | e <sub>a</sub> | δ <sub>e</sub> | E <sub>mas</sub> | E <sub>mnd</sub> |
|-----------------|-----|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----|-----|----------------|----|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| HIRFANLI        | Jan | 2,9                   | -4,7                 | -0,9                 | 0,04     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 14,3           | 11,0            | 11,3            | 5,5            | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,8            | 78 | 0,7              | 0,5              | 0,6            | 0,5            | 0,1            | 0,6              | 20               |
|                 | Feb | 5,6                   | -3,2                 | 1,2                  | 0,05     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 18,0           | 13,8            | 8,6             | 8,1            | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,9            | 73 | 0,9              | 0,5              | 0,7            | 0,5            | 0,2            | 0,9              | 26               |
|                 | Mar | 10,6                  | -0,2                 | 5,2                  | 0,06     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 24,4           | 18,7            | 5,9             | 10,8           | 2,5            | 92 | 0,1 | 2,1            | 66 | 1,2              | 0,6              | 0,9            | 0,6            | 0,3            | 1,5              | 47               |
|                 | Apr | 16,2                  | 4,5                  | 10,4                 | 0,08     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 32,3           | 24,7            | 3,9             | 12,8           | 2,5            | 92 | 0,1 | 2,1            | 62 | 1,6              | 0,8              | 1,2            | 0,7            | 0,5            | 2,2              | 65               |
|                 | Mai | 20,7                  | 8,1                  | 14,4                 | 0,11     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 38,3           | 29,4            | 2,9             | 13,8           | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,9            | 59 | 2,1              | 1,0              | 1,5            | 0,9            | 0,6            | 2,7              | 83               |
|                 | Jun | 25,2                  | 11,4                 | 18,3                 | 0,13     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 41,5           | 31,8            | 2,6             | 14,2           | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,8            | 52 | 2,6              | 1,2              | 1,9            | 1,0            | 0,9            | 3,4              | 102              |
|                 | Jul | 28,7                  | 14,2                 | 21,5                 | 0,16     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 41,4           | 31,8            | 2,6             | 14,1           | 2,5            | 92 | 0,1 | 2,1            | 46 | 3,2              | 1,4              | 2,3            | 1,1            | 1,2            | 4,1              | 129              |
|                 | Aug | 28,6                  | 13,8                 | 21,2                 | 0,15     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 38,1           | 29,2            | 3,1             | 13,7           | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,9            | 46 | 3,1              | 1,4              | 2,3            | 1,0            | 1,2            | 4,0              | 123              |
|                 | Sep | 24,9                  | 10,2                 | 17,6                 | 0,13     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 31,9           | 24,5            | 4,2             | 12,6           | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,7            | 50 | 2,6              | 1,1              | 1,9            | 0,9            | 0,9            | 3,1              | 94               |
|                 | Okt | 18,6                  | 5,7                  | 12,2                 | 0,09     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 24,3           | 18,7            | 6,0             | 10,8           | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,6            | 61 | 1,8              | 0,9              | 1,4            | 0,8            | 0,5            | 2,0              | 63               |
|                 | Nov | 11,5                  | 1,1                  | 6,3                  | 0,07     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 17,7           | 13,6            | 8,9             | 7,9            | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,6            | 71 | 1,2              | 0,7              | 0,9            | 0,7            | 0,3            | 1,2              | 35               |
|                 | Des | 5,2                   | -2,4                 | 1,4                  | 0,05     | 1700            | 16,8           | 16,8            | 14,2           | 10,9            | 11,5            | 5,3            | 2,5            | 92 | 0,1 | 1,8            | 78 | 0,8              | 0,5              | 0,7            | 0,5            | 0,2            | 0,7              | 21               |
| <b>Sum: 806</b> |     |                       |                      |                      |          |                 |                |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 |     | <b>G<sub>sc</sub></b> | <b>d<sub>r</sub></b> | <b>ω<sub>s</sub></b> | <b>φ</b> | <b>J</b>        | <b>δ</b>       |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Jan | 0,08                  | 1,03                 | 1,2                  | 0,7      | 1               | -0,4           |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Feb | 0,08                  | 1,03                 | 1,3                  | 0,7      | 32              | -0,3           |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Mar | 0,08                  | 1,02                 | 1,5                  | 0,7      | 61              | -0,1           |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Apr | 0,08                  | 1,00                 | 1,6                  | 0,7      | 93              | 0,1            |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Mai | 0,08                  | 0,98                 | 1,8                  | 0,7      | 124             | 0,3            |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Jun | 0,08                  | 0,97                 | 1,9                  | 0,7      | 156             | 0,4            |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Jul | 0,08                  | 0,97                 | 1,9                  | 0,7      | 187             | 0,4            |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Aug | 0,08                  | 0,97                 | 1,8                  | 0,7      | 219             | 0,3            |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Sep | 0,08                  | 0,99                 | 1,6                  | 0,7      | 251             | 0,1            |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Okt | 0,08                  | 1,00                 | 1,5                  | 0,7      | 282             | -0,1           |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Nov | 0,08                  | 1,02                 | 1,3                  | 0,7      | 313             | -0,3           |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |
|                 | Des | 0,08                  | 1,03                 | 1,2                  | 0,7      | 345             | -0,4           |                 |                |                 |                 |                |                |    |     |                |    |                  |                  |                |                |                |                  |                  |

| Param.           | Enhet                  | Param.              | Enhet  |
|------------------|------------------------|---------------------|--------|
| T <sub>max</sub> | °C                     | P                   | kPa    |
| T <sub>min</sub> | °C                     | γ                   | kPa/K  |
| T                | °C                     | U <sub>2</sub>      | m/s    |
| m                | kPa/K                  | RH                  | %      |
| R <sub>s1</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> *år | e <sub>(Tmax)</sub> |        |
| R <sub>s</sub>   | MJ/m <sup>2</sup> *dag | e <sub>(Tmin)</sub> |        |
| R <sub>a</sub>   | MJ/m <sup>2</sup> *dag | e <sub>s</sub>      | kPa    |
| R <sub>so</sub>  | MJ/m <sup>2</sup> *dag | e <sub>a</sub>      | kPa    |
| R <sub>nl</sub>  | MJ/m <sup>2</sup> *dag | δ <sub>e</sub>      | kPa    |
| R <sub>n</sub>   | MJ/m <sup>2</sup> *dag | E <sub>mass</sub>   | mm/dag |
| λ <sub>v</sub>   | MJ/kg                  | E <sub>mnd</sub>    | mm/mnd |

Tilsvarende ble gjort for samtlige vannkraftsanlegg. Excel-arket som ble brukt til beregningen finnes i det digitale vedlegget. Sum av E<sub>mnd</sub> for øvrige anlegg finnes i Vedlegg 4.

**Tabell 14:** Paramtere for magasinene knyttet til fordampningsberegninger

| Magasin      | Breddegrad                    | Lengdegrad | Breddegrad N  | Lengdegrad E | HRV<br>(moh) |
|--------------|-------------------------------|------------|---------------|--------------|--------------|
|              | Grader°, minutter', sekunder" |            | Desimalgrader |              |              |
| Yemliha      | 38°54'17"                     | 35°16'30"  | 38,905        | 35,275       | 1100         |
| Bayramhacili | 38°47'35"                     | 35°00'16"  | 38,793        | 35,004       | 980          |
| Hirfanli     | 39°11'19"                     | 33°31'52"  | 39,189        | 33,531       | 851          |
| Kesikkopru   | 39°23'10"                     | 33°25'21"  | 39,386        | 33,423       | 785          |
| Kapulukaya   | 39°41'08"                     | 33°27'09"  | 39,686        | 33,453       | 724          |
| Obruk        | Ikke brukt                    |            | 40,769        | 34,785       | 510          |
| Boyabat      | Ikke brukt                    |            | 41,348        | 35,017       | 330          |
| Altinkaya    | Ikke brukt                    |            | 41,358        | 35,708       | 190          |
| Derbent      | Ikke brukt                    |            | 41,453        | 35,852       | 57           |

AQUASTAT- verktøyet gir også et estimat på evapotranspirasjonen  $ET_0$  (fordampning pluss transpirasjon), og vises i Vedlegg 4. Det kan se ut som fordampningsberegningene gjort i denne rapporten ser fornuftige ut, fordi evapotranspirasjon som skal være noe høyere.

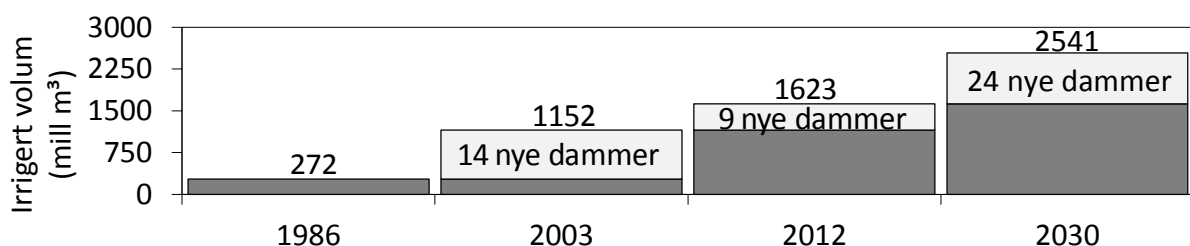
## 2.5 Kizilirmak i fremtiden

Datasettet for de planlagte prosjektene inneholder totalt 43 irrigasjonsanlegg, men det har blitt funnet ut at 19 av disse ikke ligger innenfor nedslagsfeltet til Kizilirmak (se Tabell 16). I tillegg har det blitt funnet nødvendig å nedjustere enkelte av de planlagte forbrukene, akkurat som for de eksisterende, på grunn av ufornuftig høye verdier. Datasettet inneholdt 10 irrigasjonsanlegg med vanningsforbruk større enn 240 millioner  $m^3$ /år, og alle disse har blitt nedjustert (se de uthevede anleggene i Tabell 17). For eksempel ble årsforbruket ved anleggene i Ibi- Havza og Sarayduzu oppgitt til å være henholdsvis 48 000 og 40 000 millioner  $m^3$ , noe som åpenbart er feil. Etter en kort mailutveksling med SERGRUP, det tyrkiske firmaet bak datasettet, ble disse forbrukene nedjustert til henholdsvis 40 og 30 millioner  $m^3$ . Forbruket ved de øvrige anleggene har blitt estimert til 46 mill  $m^3$ /år av to grunner:

- Gjennomsnitt for de *eksisterende* irrigasjonsanleggene er lik 46 mill  $m^3$ /år
- Det blir en tilsvarende økning i vannuttak som tidligere år, på omtrent 50 mill  $m^3$ /år, dersom det antas at alle anleggene er bygd i 2030 (se Tabell 15 og Figur 29)

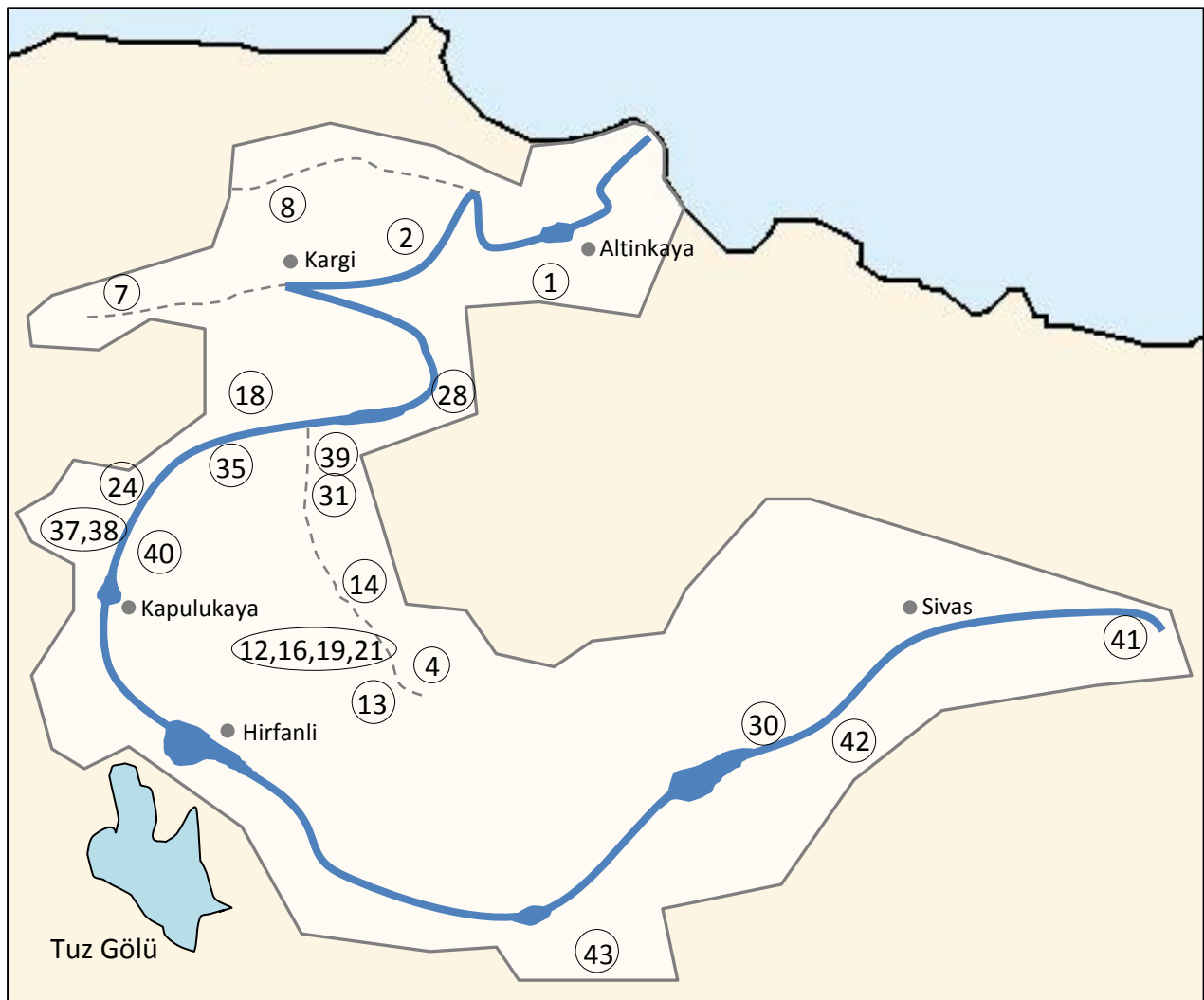
**Tabell 15:** Gjennomsnittlig årlig økning i jordvanningsvolum

| Periode   | Antall år | Økning (mill $m^3$ ) | Årlig økning (mill $m^3$ /år) |
|-----------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| 1986-2003 | 17        | 880                  | 52                            |
| 2003-2012 | 9         | 471                  | 52                            |
| 2012-2030 | 18        | 918                  | 51                            |

**Figur 29:** Gjennomsnittlig årlig økning i jordvanningsvolum

### 2.5.1 Planlagte prosjekter

Figur 30 viser omtrentlig posisjonering av de planlagte irrigasjonsanleggene i feltet.



**Figur 30:** Kart over planlagte irrigasjonsanlegg

**Tabell 16:** Planlagte anlegg innenfor og utenfor nedslagsfeltet

| Innenfor nedslagsfeltet |                     | Utenfor nedslagsfeltet |                    |
|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| 1                       | Ibi/Havza           | 24                     | Hamzali/Bugra      |
| 2                       | Sarayduzu           | 28                     | Tuzluburun         |
| 4                       | Hasbek              | 30                     | Kayapinar          |
| 7                       | Kirik               | 31                     | Sungurlu           |
| 8                       | Esengazili          | 35                     | Sulakyurt          |
| 12                      | Gelingullu 2        | 37                     | Kalecik 1          |
| 13                      | Doyduk              | 38                     | Kalecik 2          |
| 14                      | Sarihamzali         | 39                     | Asagifindikli      |
| 16                      | Gelingullu 1        | 40                     | Hasandede          |
| 18                      | Koyunbaba           | 41                     | Imranli            |
| 19                      | Gelingullu 3        | 42                     | Gemerek            |
| 21                      | Gelingullu 4        | 43                     | Agcasar            |
| 3                       | Kizlaryolu/Cevrenaz | 26                     | Taslik             |
| 5                       | Kizlaryolu/Beloren  | 27                     | Oyrak              |
| 6                       | Kizlaryolu/Colakli  | 29                     | Balaban/Kizilirmak |
| 9                       | Ogulcuk             | 32                     | Budaklar           |
| 10                      | Obrucak             | 33                     | Akcakavak          |
| 11                      | Musabeyli           | 34                     | Taskopru           |
| 15                      | Kizlaryolu/Cucarca  | 36                     | Degirmenozu        |
| 17                      | Yenice              |                        |                    |
| 20                      | Goncalar            |                        |                    |
| 22                      | Balaban/Kizilirmak  |                        |                    |
| 23                      | Balaban             |                        |                    |
| 25                      | Bezirgan            |                        |                    |

**Tabell 17:** Irrigasjonsdata etter nedjustering

| Planlagt<br>irrigasjons-<br>anlegg | Prioritet i WEAP | Irrigert areal<br>(ha) | Årlig vanning<br>(m <sup>3</sup> /ha) | Irrigert volum<br>(mill m <sup>3</sup> /år) | Fordelt aktivitet over et år (%) |       |     |      |      |        |           |         |          |  |
|------------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|-------|-----|------|------|--------|-----------|---------|----------|--|
|                                    |                  |                        |                                       |   | Mars                             | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | November |  |
| <i>Oppstrøms Altinkaya</i>         |                  |                        |                                       |   |                                  |       |     |      |      |        |           |         |          |  |
| <b>Hasbek</b>                      | 34               | 2457                   | <b>18722</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 1     | 2   | 12   | 38   | 32     | 13        | 1       | 1        |  |
| <b>Kirik</b>                       | 47               | 11368                  | <b>4046</b>                           | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 0   | 11   | 44   | 35     | 10        | 0       | 0        |  |
| <b>Esengazili</b>                  | 55               | 118                    | <b>389831</b>                         | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 9   | 16   | 31   | 26     | 13        | 5       | 0        |  |
| <b>Gelingullu 2</b>                | 36               | 3976                   | <b>11569</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 11  | 22   | 27   | 27     | 11        | 2       | 0        |  |
| <b>Doyduk</b>                      | 33               | 2745                   | <b>16758</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 1     | 9   | 20   | 32   | 26     | 10        | 2       | 0        |  |
| <b>Sarimhamzali</b>                | 39               | 1980                   | <b>23232</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 2   | 13   | 38   | 32     | 13        | 2       | 0        |  |
| <b>Gelingullu 1</b>                | 35               | 2260                   | <b>20354</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 11  | 22   | 27   | 27     | 11        | 2       | 0        |  |
| <b>Koyunbaba</b>                   | 32               | 1834                   | <b>25082</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 12  | 23   | 26   | 26     | 11        | 2       | 0        |  |
| <b>Gelingullu 3</b>                | 37               | 1723                   | <b>26698</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 11  | 22   | 27   | 27     | 11        | 2       | 0        |  |
| <b>Gelingullu 4</b>                | 38               | 1375                   | <b>33455</b>                          | <b>46</b>                                   | 0                                | 0     | 11  | 22   | 27   | 27     | 11        | 2       | 0        |  |
| Hamzali/Bugra                      | 28               | 8118                   | 11346                                 | 92  | 0                                | 0     | 12  | 30   | 21   | 23     | 12        | 2       | 0        |  |
| Tuzluburun                         | 46               | 350                    | 119280                                | 42  | 0                                | 0     | 11  | 22   | 27   | 27     | 11        | 2       | 0        |  |
| <b>Ibi/Havza</b>                   | 57               | 2512                   | <b>15924</b>                          | <b>40</b>                                   | 0                                | 0     | 2   | 13   | 38   | 32     | 13        | 2       | 0        |  |
| <b>Sarayduzu</b>                   | 50               | 925                    | <b>32432</b>                          | <b>30</b>                                   | 0                                | 0     | 9   | 16   | 32   | 25     | 13        | 5       | 0        |  |
| Kayapinar                          | 9                | 525                    | 41220                                 | 22  | 0                                | 0     | 2   | 12   | 38   | 33     | 13        | 2       | 0        |  |
| Sungurlu                           | 40               | 2700                   | 7973                                  | 22  | 0                                | 2     | 9   | 17   | 30   | 27     | 13        | 2       | 0        |  |
| Sulakyurt                          | 30               | 2140                   | 5922                                  | 13  | 0                                | 0     | 9   | 23   | 28   | 25     | 12        | 2       | 0        |  |
| Kalecik 1                          | 26               | 621                    | 14531                                 | 9   | 0                                | 0     | 9   | 25   | 38   | 21     | 5         | 2       | 0        |  |
| Kalecik 2                          | 27               | 498                    | 14496                                 | 7   | 0                                | 0     | 9   | 25   | 38   | 21     | 5         | 2       | 0        |  |
| Asagifindikli                      | 41               | 147                    | 20874                                 | 3   | 0                                | 0     | 11  | 22   | 27   | 27     | 11        | 2       | 0        |  |
| Hasandede                          | 25               | 377                    | 4783                                  | 2   | 0                                | 0     | 4   | 15   | 35   | 34     | 11        | 1       | 0        |  |
| <i>Oppstrøms Hirfanli</i>          |                  |                        |                                       |   |                                  |       |     |      |      |        |           |         |          |  |
| Agcasar                            | 14               | 4499                   | 20844                                 | 94  | 0                                | 0     | 0   | 11   | 18   | 35     | 28        | 8       | 0        |  |
| Imranli                            | 1                | 10547                  | 5677                                  | 60  | 0                                | 0     | 0   | 9    | 42   | 34     | 15        | 0       | 0        |  |
| Gemerek                            | 7                | 5910                   | 3858                                  | 23  | 0                                | 0     | 4   | 15   | 34   | 32     | 13        | 2       | 0        |  |

Anleggene med uthevet skrift er anlegg som i det originale datasettet virket å bruke for mye vann, og av den grunn har blitt nedjustert.

Tabell 18 viser parameterverdier for de planlagte vannkraftsanleggene, og i Figur 5 vises plasseringen av disse.

**Tabell 18:** Parameterverdier for planlagte vannkraftsanlegg

| Parameter i WEAP                           |             | Imranli  | Cermikler | Kargi  |
|--|-------------|--|-----------|--------|
| <b>Ferdigstilt</b>                         |             | 2014   | 2014      | 2014   |
| <b>Prioritet i WEAP</b>                    |             | 58   | 59        | 66     |
| <b>Magasinvolum (mill m<sup>3</sup>)</b>   | Se Figur 26 | 62   | 62        | 40     |
| <b>Volum ved HRV (mill m<sup>3</sup>)</b>  |             | Samme som "Magasinvolum"   |           |        |
| <b>Aktivt volum (mill m<sup>3</sup>)</b>   |             | 56   | 10        | 6      |
| <b>Topp av buffer (mill m<sup>3</sup>)</b> |             | Samme som "Volum ved LRV"  |           |        |
| <b>Bufferkoeffisient</b>                   |             | 1  |           |        |
| <b>Volum ved LRV (mill m<sup>3</sup>)</b>  |             | 6  | 52        | 34     |
| <b>Fordampning (mm/mnd)</b>                |             | Se Vedlegg 4 (verdier) og kap 2.4 (beregninger)  |           |        |
| <b>Turbinvannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>  |             | Produksjon varierer fra måned til måned.<br>Beregning av og verdier for disse parametrene finnes i Tabell 19 |           |        |
| <b>Produksjon (GWh/mnd)</b>                |             |  |           |        |
| <b>Total virkningsgrad (%)</b>             |             |  |           |        |
| <b>Driftstid (%)</b>                       |             |  |           |        |
| <b>Breddegrad N, desimalgrad</b>           |             | 39,876   | 39,836    | 41,074 |
| <b>Lengdegrad E, desimalgrad</b>           |             | 38,193   | 37,063    | 34,511 |
| <b>HRV (moh.)</b>                          |             | 1652   | 1191      | 405    |

Antatt drift og produksjon for de planlagte vannkraftstasjonene er beregnet på akkurat samme måte som for de eksisterende (se Tabell 10), og vises i Tabell 19 på neste side.

**Tabell 19: Antatt månedlig turbinvannføring og produksjon (planlagte vannkraftanlegg)**

|  | Imranli  | Cermikler  | Kargi |     |                     |                |
|--|----------|--|-------|-----|---------------------|----------------|
| $Q_{kap}$ (m <sup>3</sup> /s)              | 40       | 110  | 167   |     |                     |                |
| $Q_m = 0,58 * Q_{kap}$ (m <sup>3</sup> /s) | 23       | 63   | 96    |     |                     |                |
|  | <i>n</i> | Turbinvannføring<br>$Q_t = n * Q_m$ (m <sup>3</sup> /s)                |       |     |                     |                |
| Jan  | 0.99     | 23   | 63    | 96  |                     |                |
| Feb  | 1.21     | 28   | 77    | 116 |                     |                |
| Mars                                       | 1.38     | 32   | 88    | 133 |                     |                |
| April                                      | 1.14     | 26   | 72    | 110 |                     |                |
| Mai  | 0.85     | 20   | 54    | 82  |                     |                |
| Juni                                       | 0.85     | 20   | 54    | 82  |                     |                |
| Juli                                       | 0.71     | 16   | 45    | 68  |                     |                |
| Aug  | 0.82     | 19   | 52    | 79  |                     |                |
| Sept                                       | 0.99     | 23   | 63    | 96  |                     |                |
| Okt  | 0.99     | 23   | 63    | 96  |                     |                |
| Nov  | 1.03     | 24   | 65    | 99  |                     |                |
| Des  | 1.03     | 24   | 65    | 99  |                     |                |
| Trykkehøyde H ved HRV (m)                  |          | 41   | 26    | 75  | Antall dager d      | Antall timer h |
| Virkningsgrad $\eta$ (%)                   |          | 95   | 95    | 95  |                     |                |
|  |          | Månedlig produksjon<br>$E = 9,81 * \eta * H * Q_t * h / 10^6$<br>(GWh) |       |     |                     |                |
| Jan  |          | 7  | 11    | 50  | 31                  | 744            |
| Feb  |          | 7  | 12    | 55  | 28                  | 672            |
| Mars                                       |          | 9  | 16    | 69  | 31                  | 744            |
| April                                      |          | 7  | 13    | 55  | 30                  | 720            |
| Mai  |          | 6  | 10    | 43  | 31                  | 744            |
| Juni                                       |          | 5  | 9     | 41  | 30                  | 720            |
| Juli                                       |          | 5  | 8     | 36  | 31                  | 744            |
| Aug  |          | 5  | 9     | 41  | 31                  | 744            |
| Sept                                       |          | 6  | 11    | 48  | 30                  | 720            |
| Okt  |          | 7  | 11    | 50  | 31                  | 744            |
| Nov  |          | 7  | 11    | 50  | 30                  | 720            |
| Des  |          | 7  | 12    | 52  | 31                  | 744            |
| Sum brutto produksjon, $E_{BRUTTO}$        |          | 77   | 135   | 589 | $\Sigma E_{PLAN}$ : |                |
| Planlagt årlig produksjon, $E_{PLAN}$      |          | 70   | 62    | 467 | 599                 |                |
| Driftstid (%) = $E_{PLAN}/E_{BRUTTO}$      |          | 91   | 46    | 79  |                     |                |

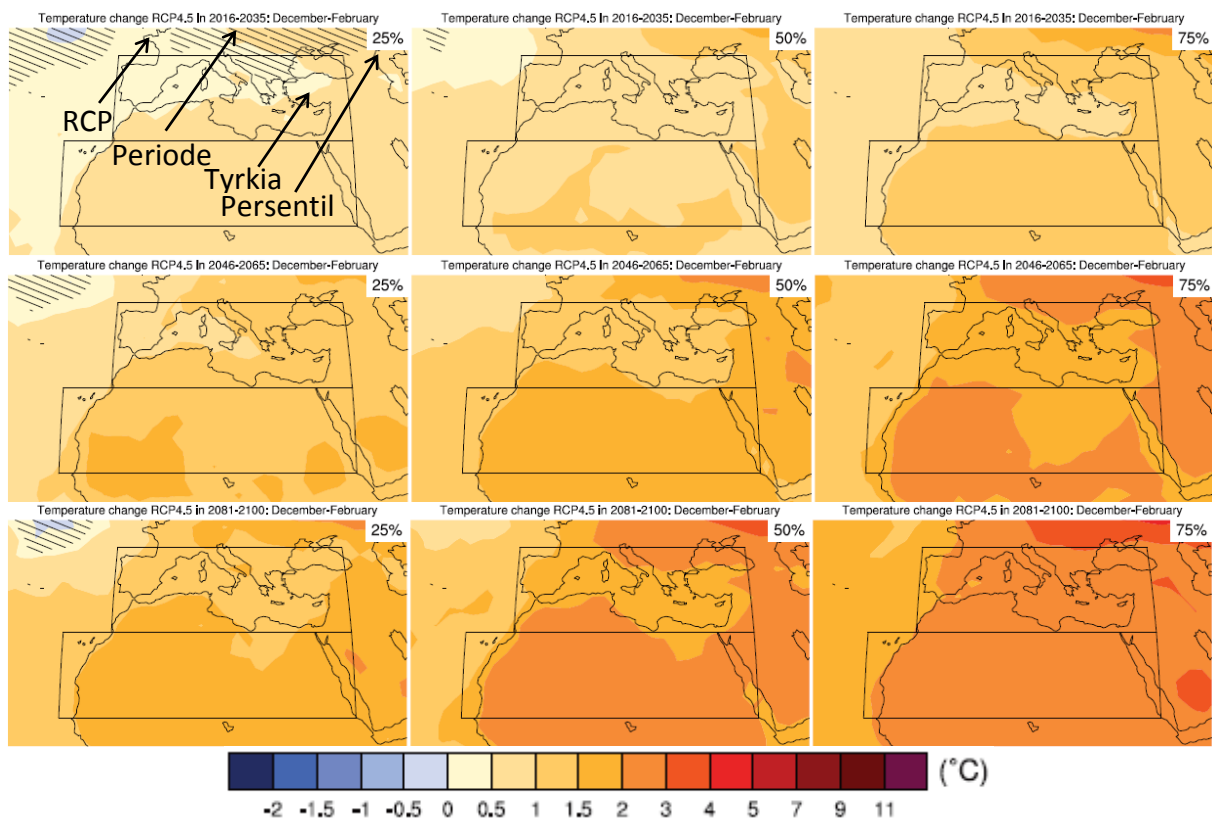
### 2.5.2 Klimaprognoser

IPCC- rapporten «Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections» (IPCC, 2013b) har blitt brukt som grunnlag for å etablere de ulike klimascenarioene i denne rapporten. Forfatterne av rapporten har valgt å fokusere på fire forskjellige utslippsvarianter kalt «Representative Concentration Pathway» (RCP), avhengig av hvor mye varme ( $W/m^2$ ) som blir produsert mot slutten av dette århundret og blir vist i Tabell 20 under:

**Tabell 20: Utslippsvarianter**

| Utslippsvariant (RCP)                   | RCP2.6 | RCP4.5 | RCP6.0 | RCP8.5 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Varme ( $W/m^2$ ) som følge av utslipp: | 2,6    | 4,5    | 6,0    | 8,5    |

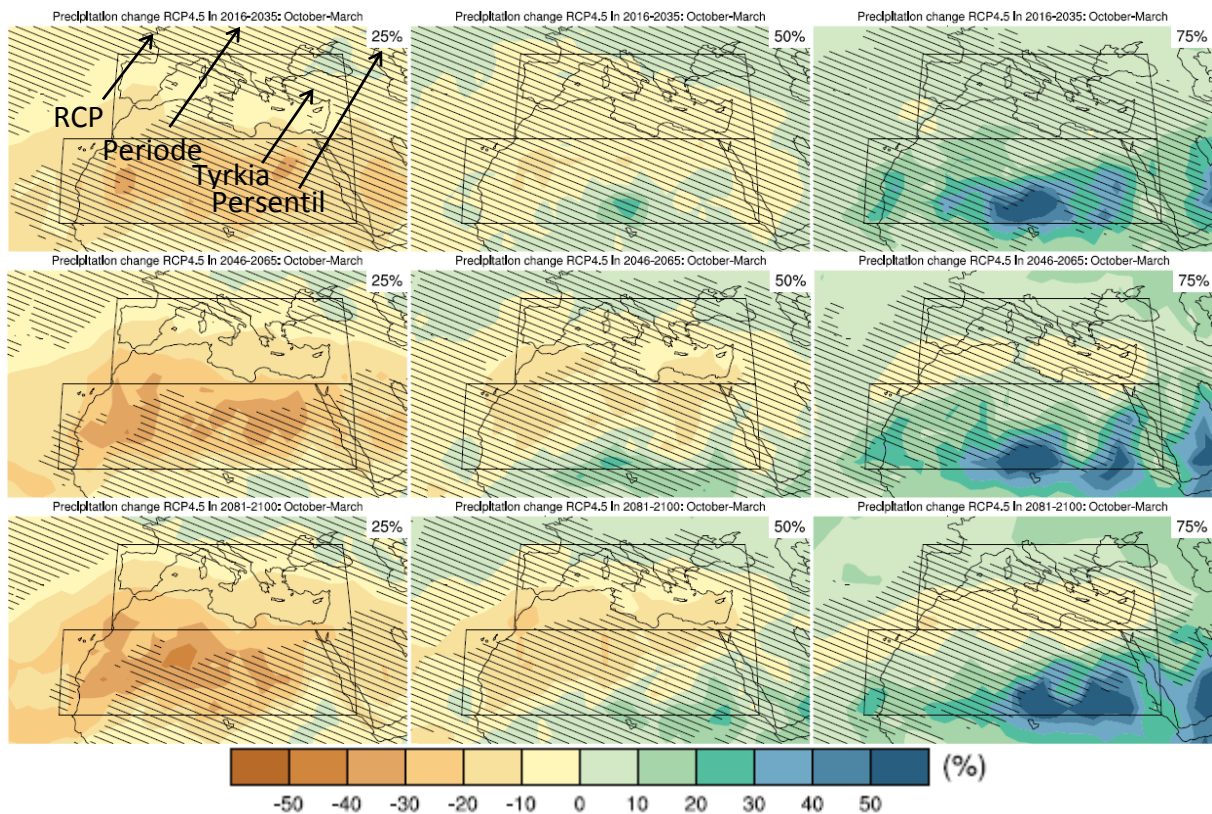
I rapporten presenteres kart som viser temperatur- og nedbørsendringer som gjelder for RCP4.5, og derfor vil denne rapporten også fokusere på RCP4.5 som tilsvarer den nest mest moderate utslippsvarianten. Rapporten beskriver temperatur- og nedbørsendringer for tre ulike perioder; 2016-2035, 2046-2065 og 2081-2100. Innenfor hver av disse periodene finnes det tre ulike persentiler; 25 %, 50 % og 75 %. IPCC har brukt ulike modeller for å simulere et stort antall sett med mulige fremtidige temperaturer. Dersom en sorterer all data fra lav til høy og plukker ut de 75 % laveste temperaturene er 75- persentilen funnet. Hvis 75- persentilen er 4 °C betyr det at 75 % av datasettet består av temperaturer lavere enn 4 °C. En 50- persentil tilsvarer medianen. Figur 31 nedenfor viser et eksempel på hvordan rapporten fremstiller temperaturendringene. Temperaturverdiene som fargene representerer er relative endringer i forhold til referanseperioden 1986 – 2005 (IPCC, 2013b).



**Figur 31: Temperaturendringer for RCP.4.5 (IPCC, 2013b)**

Av figuren kan en lese at 75- persentilen gir en økning fra referanseperioden til perioden 2081 – 2100 på omtrent 2,5 °C. Merk at denne figuren gjelder for vinterperioden (desember til februar). Det finnes en egen figur for sommerperioden (juni til august), der endringene er større. For våren (mars til mai) og høsten (september til november) er det i denne rapporten brukt en midlet verdi av sommer og vinter.

Figur 32 nedenfor viser et eksempel på hvordan rapporten fremstiller nedbørsendringene, tilsvarende som for temperatur.



**Figur 32:** Nedbørsendringer for RCP.4.5 (IPCC, 2013b)

Av figuren kan en lese at 25- persentilen gir en reduksjon fra referanseperioden til perioden 2081 – 2100 på omtrent 10 %. Merk at denne figuren gjelder for perioden oktober til mars. Det finnes en egen figur for perioden april til september, der endringene er større.

Tabell 21 og Tabell 22 på neste side viser et sammendrag av klimaprognosene for samtlige perioder, persentiler og måneder. Alle verdiene gjelder for utslippsvariant RCP4.5.



**Tabell 21:** Sammendrag av temperaturendringer (IPCC, 2013b)

| Periode:           | Temperaturrendring (°C) relativt til referanseperioden 1981 – 2005: |       |       |           |       |       |                        |       |       |
|--------------------|---|-------|-------|-----------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                    | Des – Feb   |       |       | Jun - Aug |       |       | Sept - Nov<br>Mars-Mai |       |       |
|                    | 25 %  | 50 %  | 75 %  | 25 %      | 50 %  | 75 %  | 25 %                   | 50 %  | 75 %  |
| <b>2016 – 2035</b> | +0,50   | +0,75 | +1,75 | +0,75     | +1,25 | +2,00 | +0,63                  | +1,00 | +1,88 |
| <b>2046 – 2065</b> | +1,25   | +1,50 | +2,00 | +1,75     | +2,50 | +2,50 | +1,50                  | +2,00 | +2,25 |
| <b>2081 – 2100</b> | +1,50   | +2,00 | +2,50 | +2,50     | +3,00 | +3,50 | +2,00                  | +2,50 | +3,00 |

**Tabell 22:** Sammendrag av nedbørsendringer (IPCC, 2013b)

| Periode:           | Nedbørsendring (%) relativt til referanseperioden 1981 – 2005: |      |      |              |       |      |
|--------------------|--|------|------|--------------|-------|------|
|                    | Okt – Mars   |      |      | April – Sept |       |      |
|                    | 25 %   | 50 % | 75 % | 25 %         | 50 %  | 75 % |
| <b>2016 – 2035</b> | -5,0   | 0,0  | 5,0  | -10,0        | -5,0  | 5,0  |
| <b>2046 – 2065</b> | -7,0   | -2,5 | 2,5  | -12,0        | -5,0  | -2,5 |
| <b>2081 – 2100</b> | -10,0  | -5,0 | 0,0  | -15,0        | -10,0 | -5,0 |

Det velges i dette prosjektet å fokusere på 50- persentilen for de to seneste periodene 2046 til 2065 og 2081 til 2100. Tabell 21 avslører at det kun skiller 0,5 °C mellom disse to periodene i temperaturendring. Nedbørsendringen derimot, er dobbelt så stor i perioden 2081 – 2100 enn i perioden 2046 – 2065 (Se Tabell 22). På bakgrunn av disse opplysningene velges det å etablere følgende fem scenarier for dette prosjektet, som vist i Tabell 23. Scenariene kan blant annet brukes til å analysere årlig tilsig og produksjon ved kraftverkene (hovedsakelig Kargi) og endringer i fordampning fra magasinene.

**Tabell 23:** Scenariene basert på klimaendringer

| Scenario 1A og 1B |                           |                  |  |
|-------------------|---------------------------|------------------|--|
|                   | Klimaendringer for årene: | Basert på årene: | Aktive irrigasjons- og vannkraftsdammer: |
| <b>A</b>          | 2046-2055                 | 1986-1995        | Som i dag (2012)                         |
| <b>B</b>          | 2046-2055                 | 1986-1995        | Alle planlagte                           |
| Scenario 2A og 2B |                           |                  |  |
|                   | Klimaendringer for årene: | Basert på årene: | Aktive irrigasjons- og vannkraftsdammer: |
| <b>A</b>          | 2081-2090                 | 1986-1995        | Som i dag (2012)                         |
| <b>B</b>          | 2081-2090                 | 1986-1995        | Alle planlagte                           |
| Scenario 3B       |                           |                  |  |
|                   | Klimaendringer for årene: | Basert på årene: | Aktive irrigasjons- og vannkraftsdammer: |
| <b>3B</b>         | 2085-2087                 | 1973-1975        | Alle planlagte                           |

Som vist i Tabell 23 er det innenfor referanseperioden valgt å bruke de ti årene fra 1986 til 1995 som basisår. For scenario 3B er det valgt å bruke årene 1973 til 1975 som basisår, da dette er en periode med lite nedbør, spesielt i Kastamonu (se Figur 15). Nedbørsdata for denne perioden må egentlig skaleres til verdier som tilsvarer årene 1981 til 1983, men målinger i Sivas og Kastamonu fram til 1972 har en trend på henholdsvis -0,1 % og +0,5 %. Det vil med andre ord ikke utgjøre en merkbar forskjell ved å skalere åtte år fremover.

BLANK SIDE

### 3 Kalibrering og validering

En svært viktig og tidkrevende del av prosjektet har handlet om å bygge og kalibrere en modell som er så god at den kan brukes til å analysere fremtidsscenarioer. Kalibrering av nedslagsfeltet til Kizilirmak har vist seg å være både utfordrende og tidkrevende, noe som blant annet kan skyldes det store antallet eksisterende dammer med magasinering, flere store sideelver, den store størrelsen på feltet og nedbørsmålinger fra kun to målestasjoner. I dette kapitlet beskrives alle valg, vurderinger og resultater knyttet til kalibreringsprosessen. I tillegg til kalibrering har det også blitt utført validering og en kort sensitivitetsanalyse.

#### 3.1 Valg av kalibreringsperiode

To alternative kalibreringsperioder ble vurdert (Se Tabell 25). Det ene alternativet (Alternativ 1) brukte vannførings- og klimadata for *samme* periode for alle målestasjonene. Det andre alternativet (Alternativ 2) brukte data fra *ulike* perioder for de forskjellige stasjonene. Først ble det satt opp en oversikt over tilgjengelige måleserier for de ulike feltene, som Tabell 24 viser. Når det gjelder klimadata for de to midterste delfeltene ble det brukt et gjennomsnitt av den øverste (Sivas) og laveste (Kastamonu) klimastasjonen. Periode med tilgjengelig data er markert i parenteser.

**Tabell 24:** Tilgjengelig data for de ulike delfeltene

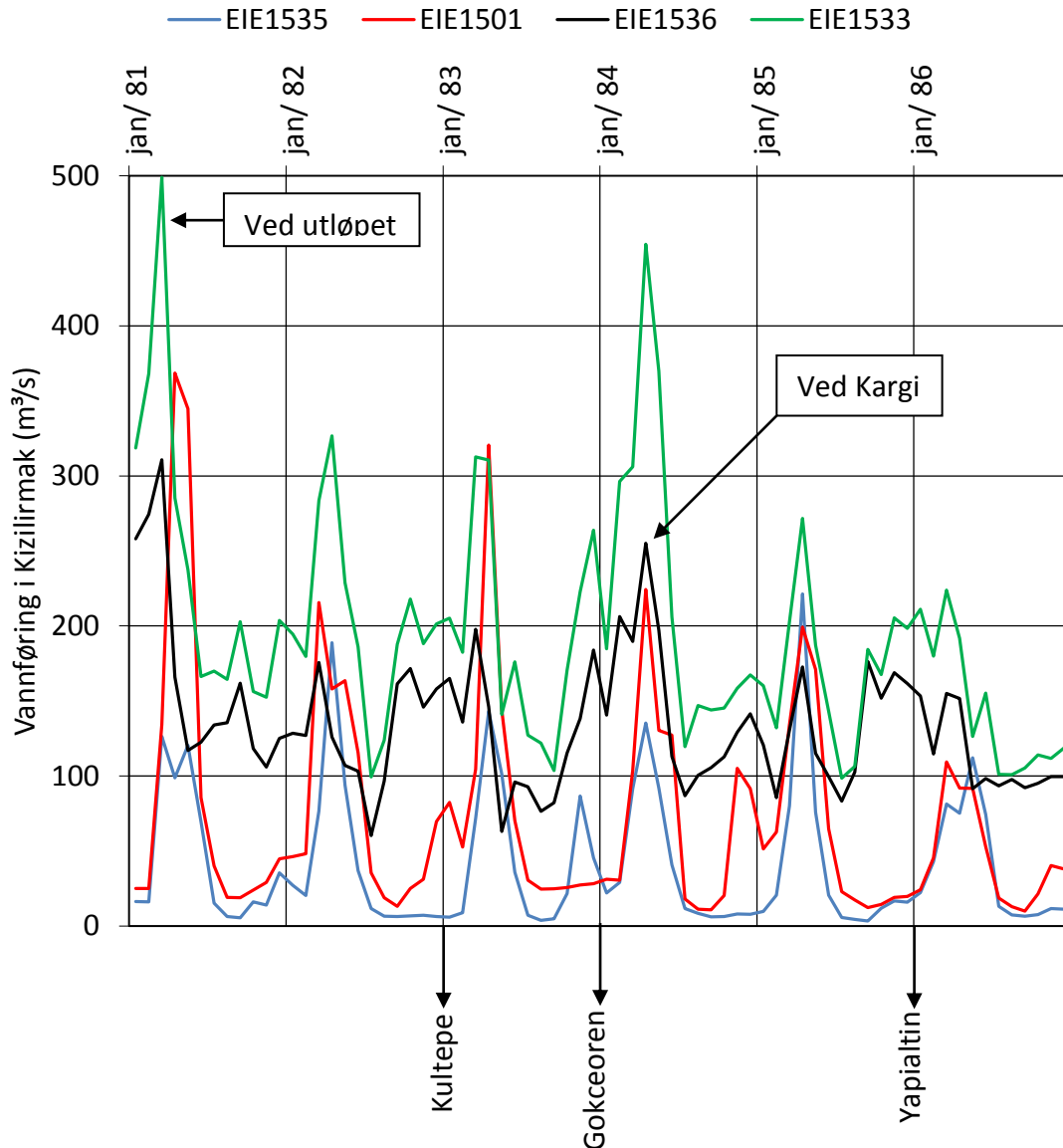
| Delfelt | Vannføring          | Uten data | Klima                 | Sammenhengende |
|---------|---------------------|-----------|-----------------------|----------------|
| Første  | EIE1535 (1963-1980) | 1979-80   | Sivas (1930-2003)     | 1981 - 2003    |
| Andre   | EIE1501 (1970-2000) | Ingen     | Gj.snitt (1940-2003)  | 1970 - 2000    |
| Tredje  | EIE1536 (1964-2007) | Ingen     | Gj.snitt (1940-2003)  | 1964 - 2003    |
| Fjerde  | EIE1533 (1961-1989) | Ingen     | Kastamonu (1940-2012) | 1961 – 1989    |

Av Tabell 24 kan det leses at lengste felles sammenhengende periode for alle feltene er de ni årene fra 1981 til 1989. I tillegg viste det seg at vannføringsmålingene fra 1987 til 1989 for det fjerde delfeltet var svært ustabile på grunn av bygging og oppfylling av nye store dammer (se Figur 34). Kalibreringsperioden for Alternativ 1 ble derfor innskrenket til de seks årene fra 1981 til 1986, da det ble vurdert lite hensiktsmessig å kalibrere modellen opp mot slike ustabile år. Den grunnleggende årsaken til at Alternativ 2 også ble vurdert var muligheten for å kunne bruke måleserier for mer enn kun seks år. Ved bestemmelse av kalibreringsperioder for de ulike feltene var det ønskelig å benytte minimum en tiårsperiode så nylig som mulig. Tabell 25 under viser de to alternativene oppsummert:

**Tabell 25:** To alternativer for kalibreringsperiode

| Delfelt          | Alternativ 1 | Alternativ 2 |
|------------------|--------------|--------------|
| Første (EIE1535) | 1981 – 1986  | 1990 – 2003  |
| Andre (EIE1501)  | 1981 – 1986  | 1990 – 2000  |
| Tredje (EIE1536) | 1981 – 1986  | 1990 – 2003  |
| Fjerde (EIE1533) | 1981 – 1986  | 1980 – 1989  |

Figur 33 og Figur 34 viser observerte vannføringer i Kizilirmak i løpet av kalibreringsperioden som gjelder for de to alternativene. Ferdigstillelse av nye dammer presenteres også i grafene, enten de ble ferdige før, under eller etter kalibreringsperioden. Plassering av målestasjonene og dammene finnes i Figur 5.



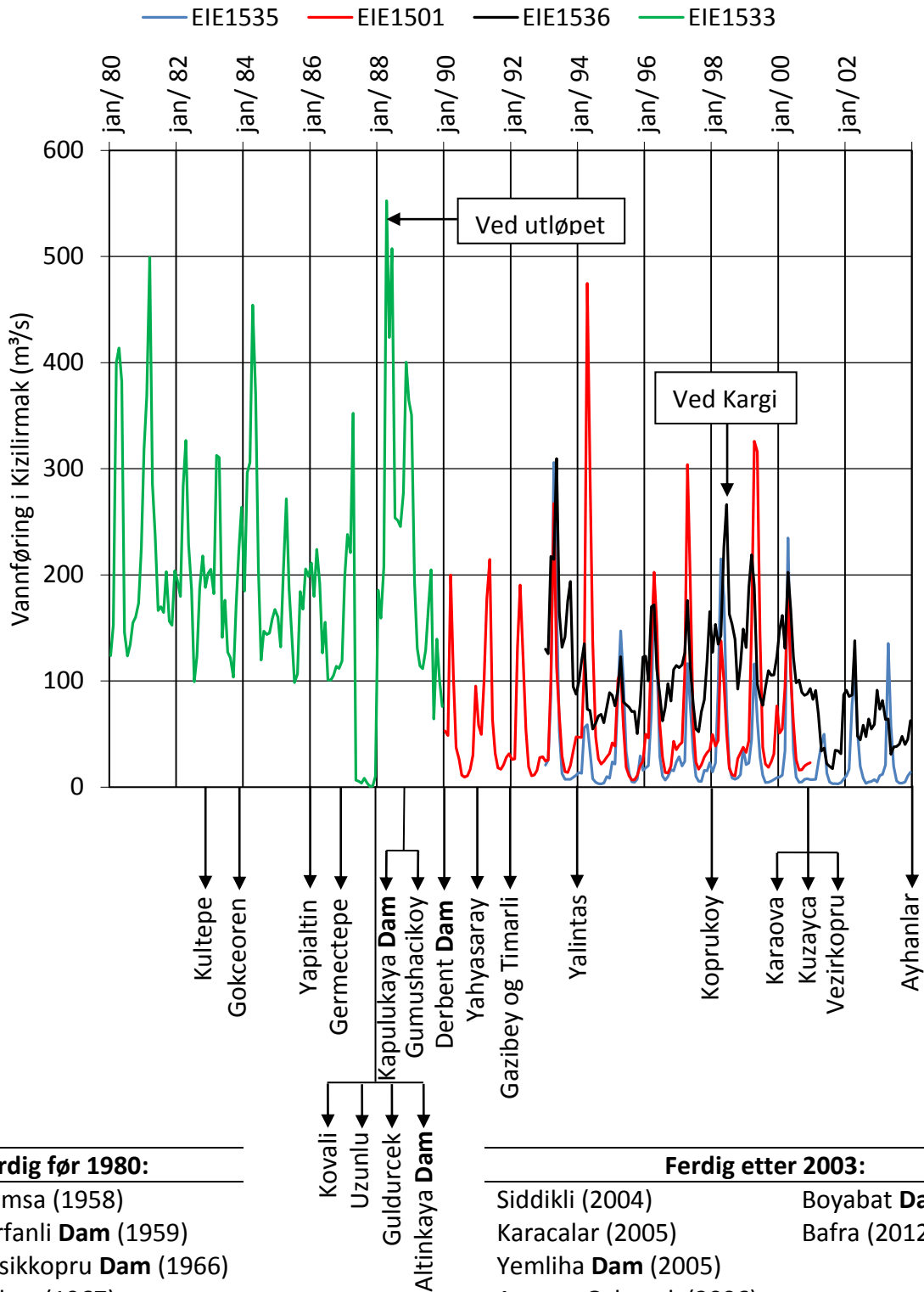
**Ferdig før 1981:**

Damsa (1958)  
 Hirfanli **Dam** (1959)  
 Kesikkopru **Dam** (1966)  
 Akkoy (1967)  
 Sarimsakli (1968)  
 Karacomak (1973)  
 Cogun (1974)  
 Maksutlu (1977)  
 Tatlarin (1977)

**Ferdig etter 1986:**

|                              |                   |                                |
|------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Germeçtepe (1987)            | Timarli (1992)    | Karacalar (2005)               |
| Altinkaya <b>Dam</b> (1988)  | Gazibey (1992)    | Yemliha <b>Dam</b> (2005)      |
| Guldurcek (1988)             | Yalintas (1994)   | Avanos-Ozkonak (2006)          |
| Kovali (1988)                | Koprukoy (1998)   | Ozen-Pusat (2007)              |
| Uzunlu (1988)                | Karaova (2001)    | Sarioglan (2007)               |
| Kapulukaya <b>Dam</b> (1989) | Kuzayca (2001)    | Obruk <b>Dam</b> (2007)        |
| Gumushackoy (1989)           | Vezirkopru (2001) | Karadere (2007)                |
| Derbent <b>Dam</b> (1990)    | Ayhanlar (2003)   | Bayramhacili <b>Dam</b> (2011) |
| Yahyasaray (1991)            | Siddikli (2004)   | Boyabat <b>Dam</b> (2012)      |
|                              |                   | Bafra (2012)                   |

**Figur 33:** Vannføring i de ulike delfeltene (Alternativ 1)



**Figur 34:** Vannføring i de ulike delfeltene (Alternativ 2)

Fordelen ved å kalibrere modellen etter Alternativ 2 er at det kan brukes måleserier fra flere og mer nylige år. Kalibrering etter Alternativ 1 medfører måledata fra kun seks sammenhengende år, men gir likevel en rekke andre sterke fordeler:

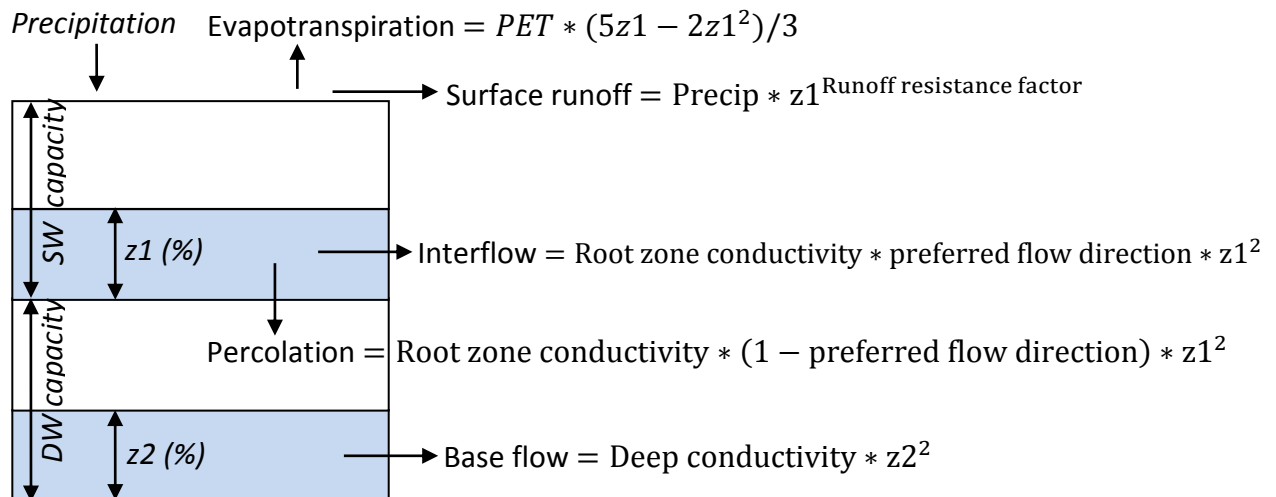
- Vannføring i kalibreringsperioden for Alternativ 1 er stabil og regelmessig, og i løpet av perioden ferdigstilles det kun tre nye dammer (alle brukt til irrigasjon), som vist i Figur 33. I løpet av kalibreringsperioden for Alternativ 2 ferdigstilles det hele 20 nye dammer. Det høye antallet av nye dammer fører til økte usikkerhetsmomenter i modellen knyttet til oppfyllingsvolum og eksakt tidspunkt for oppfylling av magasinene. Observert vannføring i Kizilirmak mellom 1987 og 1989 (Se Figur 34) er et tydelig eksempel på dette, da vannføringen går fra omtrent null til over 550 m<sup>3</sup>/s på kort tid.
- WEAP simulerer mer korrekt avrenning fra oppstrøms nedslagsfelt ved å bruke klimadata fra samme periode for alle feltene. Dersom modellen kalibreres etter Alternativ 2 vil det laveste nedslagsfeltet kalibreres med en avrenning fra oppstrøms felt som tilsvarer avrenningen ti år senere enn den aktuelle nedbørs- og temperaturdata som er angitt for feltet.
- Kalibrering etter Alternativ 1 er, slik undertegnede har oppfattet det, mer gjennomførbart i WEAP. I tillegg er det større grad av manglende klimadata i kalibreringsperioden for Alternativ 2 enn for Alternativ 1, da det henholdsvis mangler data for tolv og fem måneder for de to alternativene.

På grunnlag av flertallet av argumenter for Alternativ 1 ble det valgt å kalibrere samtlige nedslagsfelt etter vannførings- og klimadata mellom 1981 og 1986. I Vedlegg 6 presenteres planen som ble fulgt under kalibreringen, og viser hvilke dammer som befinner seg i de ulike nedslagsfeltene og hvilket år de ble ferdigstilt. De aller fleste dammene (33 av totalt 42) befinner seg i de to laveste nedslagsfeltene. Dette er naturlig både fordi disse utgjør størst areal i modellen og at det er mest vann her. Det faktum at 31 av de totalt 42 dammene er utbygd mellom 1986 og 2012, betyr at det i gjennomsnitt i denne perioden har blitt bygd litt over én dam i året i nedslagsfeltet til Kizilirmak.

Målestasjonen EIE1536 som befinner seg i tredje delfelt har ikke blitt brukt til kalibrering, men til validering. Grunnen til at denne stasjonen ble valgt til å brukes til kontroll er dens nærliggende plassering til Kargi kraftverk som er interessepunkt nummer én i dette prosjektet. Dessuten finnes det måledata fra denne stasjonen helt frem til 2007, noe som muliggjør en kontroll i en tidsperiode etter at mange nye og store dammer har blitt bygd. Gode resultater fra en kontroll ved denne stasjonen vil med andre ord styrke modellen betraktelig. Mer om validering finnes i kapittel 3.5.

### 3.2 Parameteregenskaper og kalibrerte parameterverdier

Nedslagsfeltene i modellen har blitt modellert etter «Soil Moisture»- metoden, og det vil her bli vist hvilke parametre som inngår og hva de betyr. I WEAP kan en velge mellom fire ulike metoder, der «Soil Moisture»- metoden er den mest komplekse. Nedslagsfeltet blir representert som i Figur 35, hentet fra «WEAP User Guide» (Sieber og Purkey, 2011):



**Figur 35:** Soil Moisture- metoden i WEAP (Sieber og Purkey, 2011)

**Tabell 26:** Beskrivelse av parametre i WEAP relatert til nedslagsfeltet

| Parameter                       | Beskrivelse  |
|---------------------------------|--|
| Area (mill ha)                  | Størrelse på nedslagsfeltet  |
| Crop coefficient (Kc)           | Beskriver hva som dyrkes og hvor mye vann avlingene krever. Denne parameteren er satt til å variere over året. Dersom Kc økes vil avrenningen reduseres. Forhåndsinnstilling: 1                            |
| Soil Water (SW) capacity (mm)   | Beskriver hvor mye vann som det øverste laget kan ta vare på, se Figur 35. Forhåndsinnstilling: 1000 mm  |
| Deep Water (DW) capacity (mm)   | Beskriver hvor mye vann som det nederste laget kan ta vare på, se Figur 35. Forhåndsinnstilling: 1000 mm   |
| Runoff resistance factor (RRF)  | Brukes til å bestemme forhold på overflaten som bestemmer avrenning, for eksempel grad av vegetasjon. Denne er satt til å variere over året. Dersom RRF økes reduseres avrenningen. Forhåndsinnstilling: 2 |
| Root zone conductivity (mm/mnd) | Avgjør hvor mye vann som fortsetter til det nederste laget gjennom perkolasjon. Forhåndsinnstilling: 20 mm/måned   |
| Deep conductivity (mm/mnd)      | Avgjør hvor mye vann som lekker fra grunnvannstanden til elva. Forhåndsinnstilling: 20 mm/måned  |
| Preferred flow direction        | 0: Vertikal retning, alt vann perkolerer.<br>1: Horisontal retning, ingenting perkolerer.<br>Forhåndsinnstilling: 0,15   |
| Initial Z1 (%)                  | Angir andelen av det øverste laget som er fullt ved begynnelsen av simuleringen, se Figur 35. Forhåndsinnstilling: 30 %  |
| Initial Z2 (%)                  | Angir andelen av det nederste laget som er fullt ved begynnelsen av simuleringen, se Figur 35. Forhåndsinnstilling: 30 %   |

**Tabell 27:** Beskrivelse av parametre i WEAP relatert til klima i feltet

| Parameter              | Beskrivelse   |
|------------------------|---|
| Precipitation (mm/mnd) | Totalt observert nedbør i måneden. Varierer fra nedslagsfelt til nedslagsfelt. Bruker en funksjon i WEAP som leser av månedsverdier fra en kommaseparert Excel- fil (CSV- fil). Se Vedlegg 1.   |
| Temperature (°C)       | Månedlig observert temperatur. Varierer fra nedslagsfelt til nedslagsfelt. Bruker en funksjon i WEAP som leser av månedsverdier fra en kommaseparert Excel- fil (CSV- fil). Se Vedlegg 2.   |
| Humidity (%)           | Gjennomsnittlig månedlig luftfuktighet. Varierer fra nedslagsfelt til nedslagsfelt. I modellen er det antatt at luftfuktigheten varierer like mye hvert år, da det ikke har blitt innhentet måleserier fra flere år. (kilde: AQUASTAT)                      |
| Wind (m/s)             | Gjennomsnittlig månedlig vindhastighet to meter over bakken. Varierer fra nedslagsfelt til nedslagsfelt. I modellen er det antatt at vindhastigheten varierer like mye hvert år, da det ikke har blitt innhentet måleserier fra flere år. (kilde: AQUASTAT) |
| Cloudiness fraction    | Andel av dagen det ikke er skyer (kilde: AQUASTAT)  |
| Latitude               | Breddegrad i desimalgrader  |
| Initial snow (mm)      | Angir akkumulert snø ved begynnelsen av simuleringen.   |
| Melting point (°C)     | Temperatur som gir snøsmelting. Forhåndsinnstilling: +5°C   |
| Freezing point (°C)    | Temperatur som gir snølagring. Forhåndsinnstilling: -5°C  |

Verken temperaturmålinger i Sivas eller Kastamonu har vist stor grad av negative temperaturer. Derfor har det ikke blitt modellert snøakkumulering i modellen, men det kan likevel tenkes at det om våren kommer smeltevann fra de høyere områdene i nedslagsfeltet. Dette kan delvis forklare tilfeller der modellen simulerer lavere vannføringer enn målingene i Kizilirmak om våren. Tabell 28 viser parameterinnstillingene for de respektive nedslagsfeltene, som et resultat av kalibreringen. Selv om det i WEAP er mulig med automatisk kalibrering ved hjelp av Parameter Estimation tool (PEST), har kalibreringen av modellen foregått manuelt. Parameterverdier i Tabell 29 har månedsvariasjon, der verdier for luftfuktighet, vind og skydekke ikke er kalibrerte, men hentet fra AQUASTAT.

**Tabell 28:** Kalibrerte parameterverdier

| Parameter ↓                     | Delfelt → | Første | Andre  | Tredje | Fjerde |
|---------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| Area (mill ha)                  |           | 1      | 1,4    | 2,2    | 3,2    |
| Soil water capacity (mm)        |           | 800    | 3000   | 400    | 600    |
| Deep water capacity (mm)        |           | 400    | 400    | 1000   | 500    |
| Root zone conductivity (mm/mnd) |           | 50     | 20     | 100    | 17     |
| Deep conductivity (mm/mnd)      |           | 20     | 1.5    | 4      | 7      |
| Preferred flow direction        |           | 1      | 0,15   | 0,15   | 0,5    |
| Initial Z1                      |           | 0      | 15     | 100    | 100    |
| Initial Z2                      |           | 40     | 100    | 100    | 100    |
| Latitude                        |           | 39,750 | 38,782 | 38,793 | 41,617 |
| Melting point (°C)              |           | 2,5    | 2,5    | 2,5    | 2,5    |
| Freezing point (°C)             |           | -0,1   | -0,1   | -0,1   | -0,1   |



Tabell 29: Parametre med månedsvariasjon

|                                 | Delfelt | Jan  | Feb  | Mars | April | Mai  | Juni | Juli | Aug  | Sept | Okt  | Nov  | Des  |
|---------------------------------|---------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Kc</b>                       | Første  | 1,0  | 1,0  | 4,0  | 20,0  | 0,9  | 1,5  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 1,0  | 0,5  | 0,5  |
|                                 | Andre   | 10,0 | 7,0  | 0,5  | 0,7   | 1,7  | 1,6  | 3,0  | 7,0  | 7,0  | 10,0 | 0,0  | 0,5  |
|                                 | Tredje  | 1,5  | 4,0  | 0,5  | 6,5   | 13,5 | 5,5  | 8,5  | 3,0  | 1,0  | 1,0  | 1,5  | 1,5  |
|                                 | Fjerde  | 5,0  | 4,0  | 2,0  | 1,0   | 5,0  | 5,0  | 18,0 | 7,0  | 7,0  | 5,0  | 9,0  | 5,0  |
| <b>Runoff Resistance Factor</b> | Første  | 0,8  | 1,2  | 0,6  | 0,2   | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 1,0  | 0,8  | 0,9  |
|                                 | Andre   | 2,0  | 1,2  | 0,6  | 0,7   | 0,3  | 0,8  | 1,0  | 5,0  | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 1,5  |
|                                 | Tredje  | 0,8  | 2,8  | 13,0 | 15,0  | 16,0 | 6,0  | 10,0 | 2,0  | 0,4  | 0,3  | 0,5  | 0,7  |
|                                 | Fjerde  | 5,0  | 4,0  | 1,0  | 1,2   | 9,0  | 5,0  | 24,0 | 8,0  | 11,0 | 5,0  | 11,0 | 5,0  |
| <b>Humidity (%)</b>             | Første  | 75,6 | 73,9 | 69,4 | 62,2  | 60,2 | 56,7 | 51,9 | 51,2 | 54,2 | 62,5 | 70,9 | 75,9 |
|                                 | Andre   | 72,7 | 70,6 | 65,0 | 60,1  | 58,1 | 52,5 | 47,1 | 46,6 | 50,5 | 59,6 | 67,5 | 73,3 |
|                                 | Tredje  | 72,7 | 70,6 | 65,0 | 60,1  | 58,1 | 52,5 | 47,1 | 46,6 | 50,5 | 59,6 | 67,5 | 73,3 |
|                                 | Fjerde  | 68,8 | 70,5 | 75,4 | 76,4  | 76,9 | 72,0 | 70,0 | 71,7 | 73,7 | 75,4 | 70,2 | 69,0 |
| <b>Wind (m/s)</b>               | Første  | 1,3  | 1,5  | 1,6  | 1,7   | 1,5  | 1,5  | 1,6  | 1,5  | 1,2  | 1,1  | 1,2  | 1,3  |
|                                 | Andre   | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9   | 1,6  | 1,5  | 1,6  | 1,6  | 1,3  | 1,3  | 1,4  | 1,6  |
|                                 | Tredje  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9   | 1,6  | 1,5  | 1,6  | 1,6  | 1,3  | 1,3  | 1,4  | 1,6  |
|                                 | Fjerde  | 2,2  | 2,0  | 1,9  | 1,8   | 1,6  | 1,6  | 1,7  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,7  | 2,2  |
| <b>Cloudiness fraction</b>      | Første  | 0,39 | 0,41 | 0,40 | 0,45  | 0,47 | 0,28 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,25 | 0,31 | 0,39 |
|                                 | Andre   | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,42  | 0,40 | 0,26 | 0,12 | 0,16 | 0,14 | 0,21 | 0,29 | 0,38 |
|                                 | Tredje  | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,42  | 0,40 | 0,26 | 0,12 | 0,16 | 0,14 | 0,21 | 0,29 | 0,38 |
|                                 | Fjerde  | 0,45 | 0,48 | 0,45 | 0,46  | 0,41 | 0,31 | 0,17 | 0,22 | 0,31 | 0,41 | 0,42 | 0,46 |

### 3.3 Vurdering av kalibrering

For å kunne vurdere hvor god kalibreringen av modellen er har det blitt brukt tre ulike kvantitative kriterier; Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), RMSE-observations standard deviation ratio (RSR) og Percent Bias (PBIAS). Disse er beskrevet i «Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations» (Moriasi et al, 2007) slik:

#### NSE

NSE brukes ofte for å sammenligne hydrografer og er definert som én minus summen av den kvadrerte absoluttverdien av observerte og simulerte verdier, delt på variansen av de observerte verdiene:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q^{snitt})^2}, \text{ der}$$

$Q_i^{obs}$  = Observert vannføring i måned  $i$

$Q_i^{sim}$  = Simulert vannføring i måned  $i$

$Q^{snitt}$  = Gjennomsnittet av observert vannføring for alle måneder

NSE kan variere fra  $-\infty$  til 1, der 1 betyr to identiske kurver. Generelt blir verdier større enn null sett på som akseptabelt. Dersom NSE blir mindre enn null er det bedre å bruke gjennomsnittverdier i prognosene, og negative verdier blir derfor ikke sett på som akseptable (Moriasi et al, 2007).

**RSR**

RSR er definert som forholdet mellom RMSE (Root mean square error) og standardavviket (STD) for de observerte verdiene:

$$RSR = \frac{RMSE}{STD_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q^{snitt})^2}}, \text{ der parametrene er de samme som for NSE.}$$

Verdiene for RSR kan variere fra 0 til et stort positivt tall, der den optimale verdien null tilsvarer en perfekt simulering (Moriassi et al, 2007).

**PBIAS**

Denne metoden er ofte brukt til å sammenligne den observerte og simulerte vannbalansen opp mot hverandre. PBIAS sier noe om den gjennomsnittlige tendensen til at de simulerte verdiene er større eller mindre enn de observerte, og beregnes slik:

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs})}, \text{ der parametrene er de samme for NSE og RSR.}$$

Den optimale PBIAS- verdien er 0 %, som tilsier en nøyaktig simulering (Moriassi et al, 2007). «Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations» (Moriassi et al, 2007) foreslår, som vist i Tabell 30 nedenfor, anbefalte verdier for NSE, RSR og PBIAS ved vannføringssimuleringer med månedsoppløsning:

**Tabell 30:** Anbefalte verdier for NSE, RSR og PBIAS (Moriassi et al, 2007)

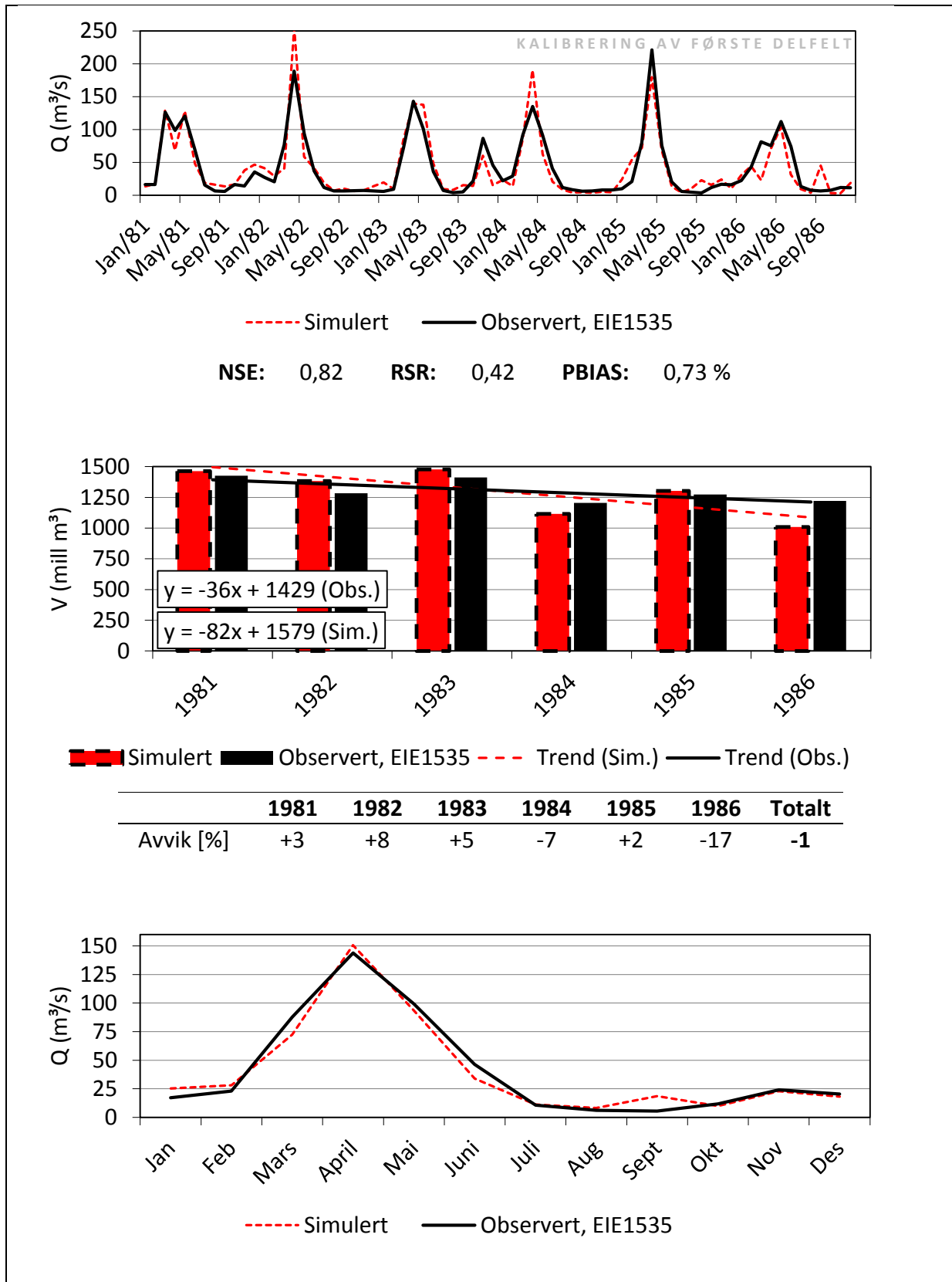
| Prestasjon      | NSE         | RSR         | PBIAS         |
|-----------------|-------------|-------------|---------------|
| Veldig bra      | 0,76 – 1,00 | 0 – 0,50    | < ± 15        |
| Bra             | 0,66 – 0,75 | 0,51 – 0,60 | ±10 ≤ P < ±15 |
| Akseptabel      | 0,51 – 0,65 | 0,61 – 0,70 | ±15 ≤ P < ±25 |
| Ikke akseptabel | ≤ 0,50      | > 0,70      | ≥ ±25         |

**3.4 Kalibreringsresultater**

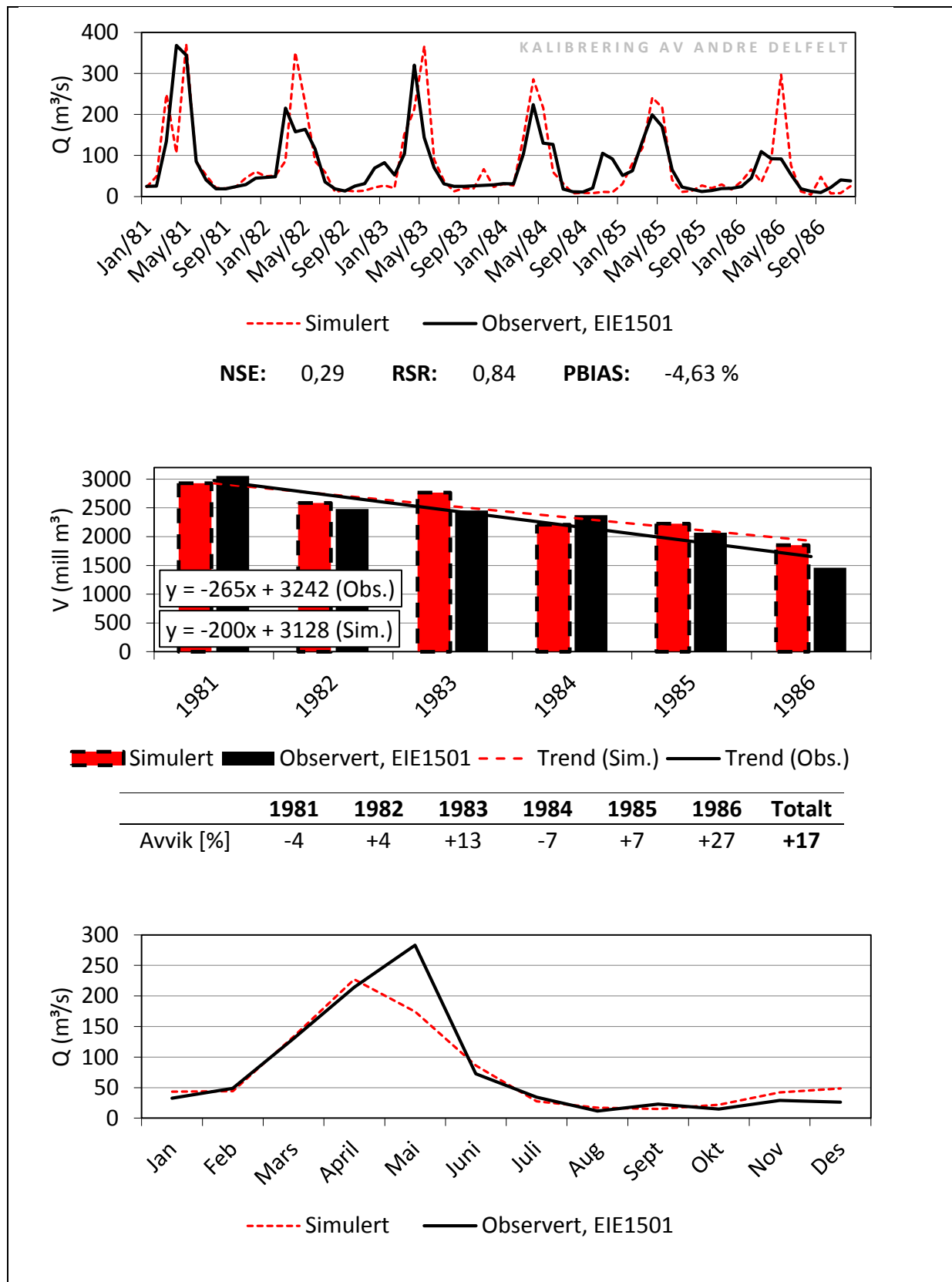
Figurene på de neste tre sidene inneholder grafer som sammenligner observerte vannføringer med simulerte vannføringer for de tre ulike målestasjonene som er brukt til kalibrering. I grafene presenteres verdier for NSE, RSR og PBIAS. I tillegg vises avviket (i %) mellom det årlige simulerte og observerte volumet. Trendlinjene for simulert og observert årsvolum vises også. Til slutt vises gjennomsnittlig vannføring for de ulike månedene i løpet av kalibreringsperioden. I Tabell 31 oppsummeres verdiene for NSE, RSR og PBIAS.

**Tabell 31:** Oppnådde verdier for NSE, RSR og PBIAS ved kalibrering

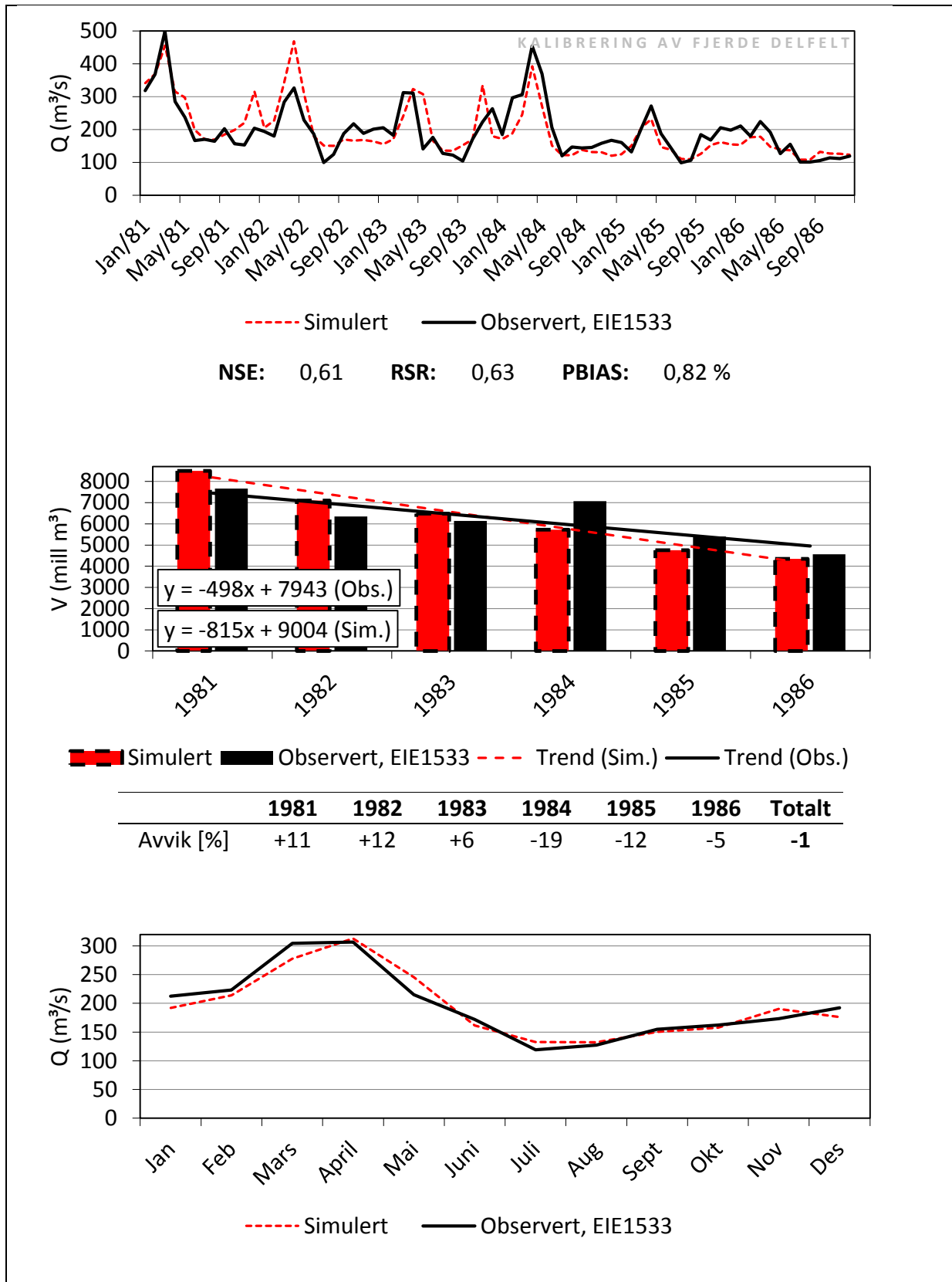
|                         | NSE               | RSR               | PBIAS        |
|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>EIE1535</b>          | 0,82              | 0,42              | 0,73 %       |
| <b>(Første delfelt)</b> | (Veldig bra)      | (Veldig bra)      | (Veldig bra) |
| <b>EIE1501</b>          | 0,29              | 0,84              | -4,63 %      |
| <b>(Andre delfelt)</b>  | (Ikke akseptabel) | (Ikke akseptabel) | (Veldig bra) |
| <b>EIE1533</b>          | 0,61              | 0,63              | 0,82         |
| <b>(Fjerde delfelt)</b> | (Akseptabel)      | (Akseptabel)      | (Veldig bra) |



**Figur 36:** Kalibrering av første delfelt  
 Øverst: Simulert og observert vannføring  
 Midten: Simulert og observert årsvolum  
 Nederst: Månedlig snittvannføring



**Figur 37:** Kalibrering av andre delfelt  
 Øverst: Simulert og observert vannføring  
 Midten: Simulert og observert årsvolum  
 Nederst: Månedlig snittvannføring



**Figur 38:** Kalibrering av fjerde delfelt  
 Øverst: Simulert og observert vannføring  
 Midten: Simulert og observert årsvolum  
 Nederst: Månedlig snittvannføring

Som Tabell 31 viser oppfylles kravene for NSE, RSR og PBIAS for samtlige felt, bortsett fra verdiene for NSE og RSR for EIE1501. Grunnene til at det likevel er valgt å gå videre med disse resultatene er som følger:

- Stor forskjell på observert og simulert vannføring i mai 1986. Dette kan blant annet skyldes oppfylling av Yapialtin- dammen. I WEAP er ikke denne dammen, eller noen av de andre rene irrigasjonsdammene (som ikke har vannkraft) registrert som en dam, men som en "Demand Site". Derfor tar ikke WEAP hensyn til selve oppfyllingen, og modellen antar at dammen allerede er fylt opp og klar til å brukes. Derfor kan simulert vannføring i mai 1986 bli større enn den observerte.
- Ved visuell (subjektiv) analyse av øverste graf i Figur 37 ser kurvene nokså like ut. En viktig forskjell er at måned for maksimal simulert vannføring ofte er senere enn for den observerte (med unntak av i 1984 og 1985). NSE- verdien er svært følsom for de store tallene (Moriassi et al, 2007). Derfor vil en forskyvning av toppene, slik som i dette tilfellet, gi en lav NSE- verdi, selv om kurvene kan se nokså like ut. Dersom den simulerte vannføringen i april 1981 og mai 1986 hadde vært lik den observerte vannføringen ville NSE og RSR blitt henholdsvis 0,54 og 0,68. Den objektive vurderingen (numeriske kriterier) kan være mer pessimistisk enn den subjektive (visuelle).

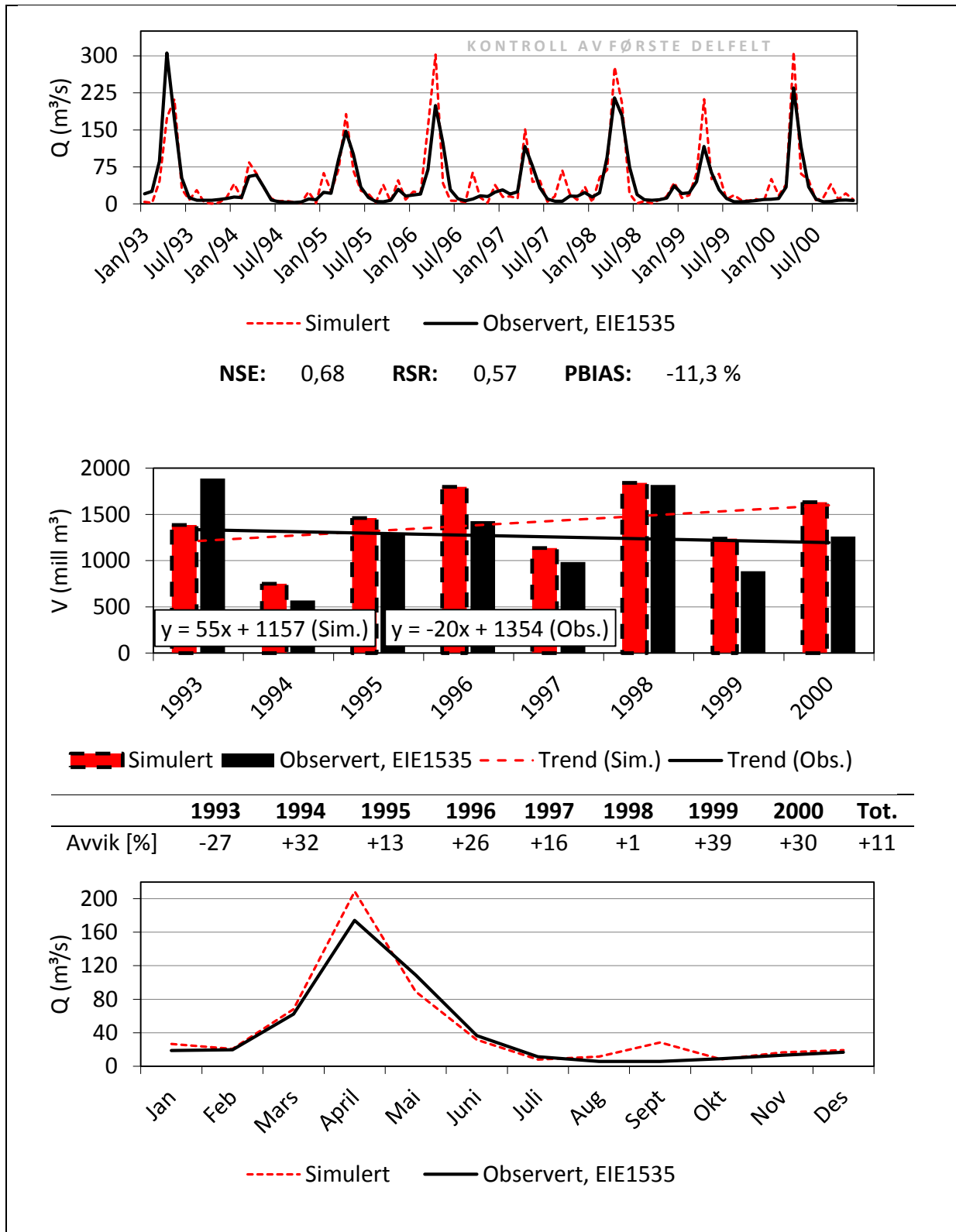
### 3.5 Validering

Det har blitt utført kontroller for alle feltene bortsett fra det fjerde, der det ikke fantes vannføringsdata senere enn 1989. Kargi kraftverk befinner seg rett nedstrøms EIE1536 i det tredje delfeltet, noe som gjør kontrollen av dette feltet til den viktigste kontrollen.

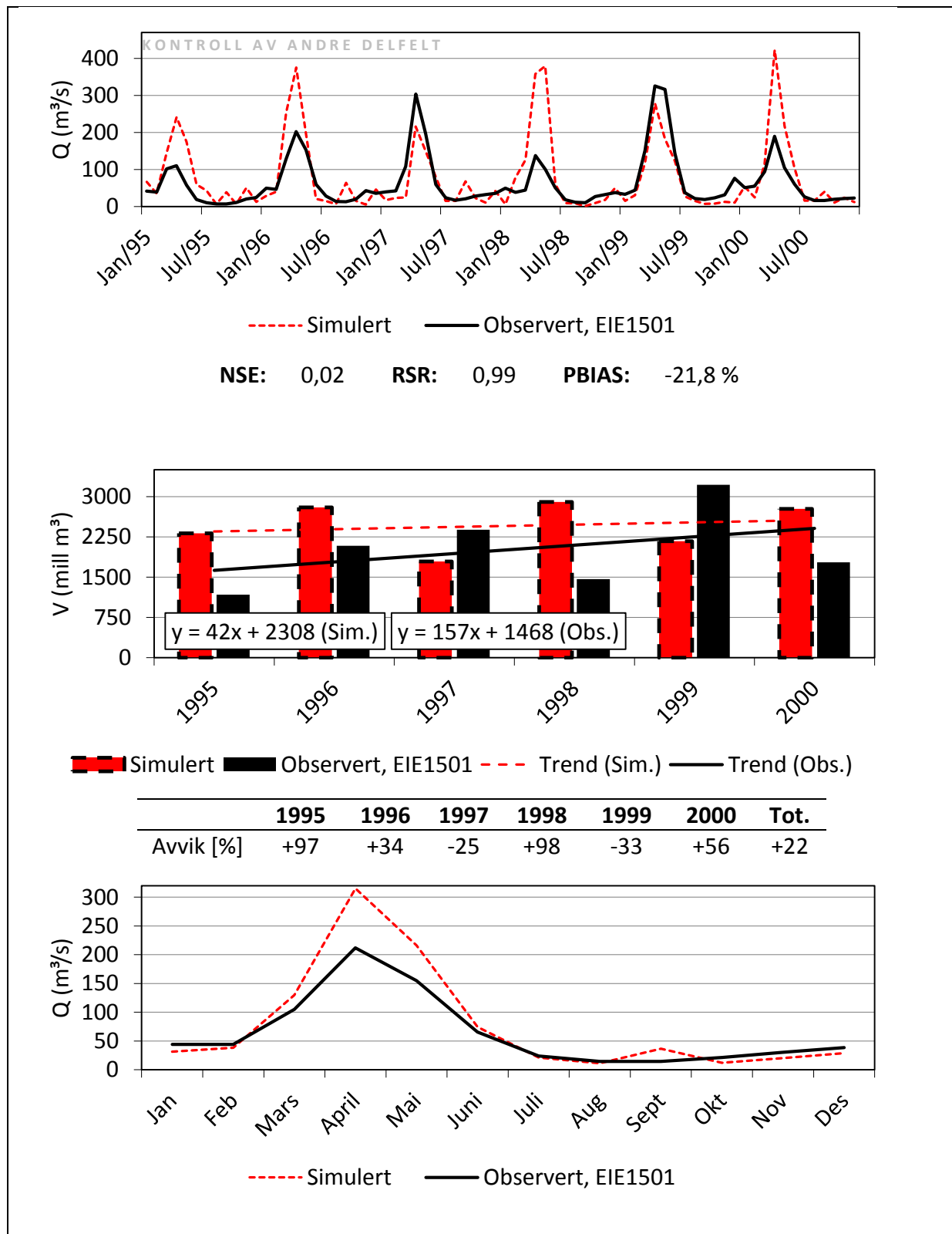
**Tabell 32:** Oppnådde verdier for NSE, RSR og PBIAS ved validering

|                             | Periode     | Antall år | NSE  | RSR  | PBIAS   |
|-----------------------------|-------------|-----------|------|------|---------|
| EIE1535<br>(Første delfelt) | 1993 - 2000 | 8         | 0,68 | 0,57 | -11,3 % |
| EIE1501<br>(Andre delfelt)  | 1995 – 2000 | 6         | 0,02 | 0,99 | -21,8 % |
| EIE1536<br>(Tredje delfelt) | 1993 - 2002 | 10        | 0,04 | 0,98 | -1,2 %  |

På de neste tre sidene følger grafer som sammenligner observerte vannføringer med simulerte vannføringer, på tilsvarende måte som for kalibreringsresultatene.

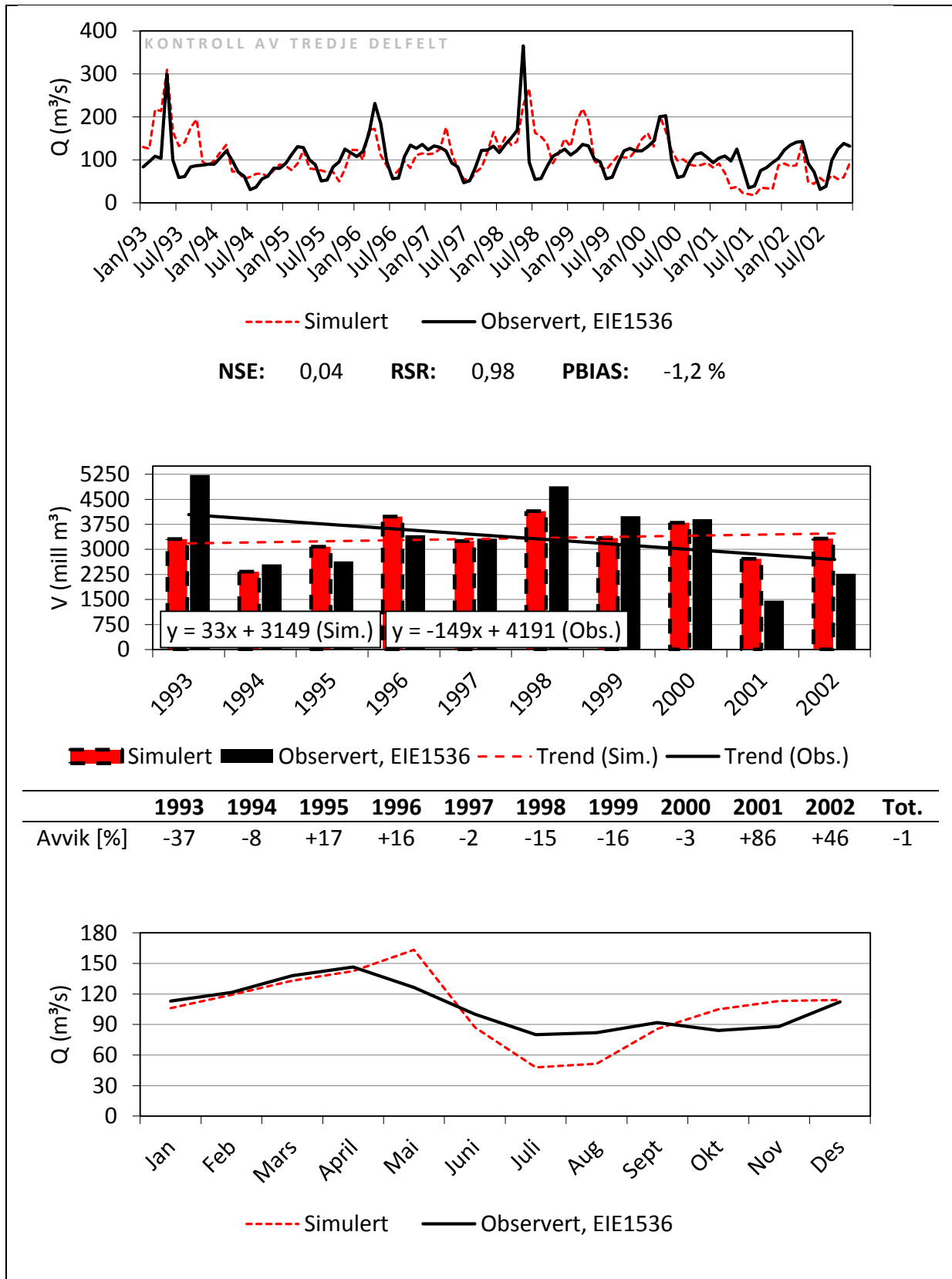


**Figur 39: Validering av første delfelt**  
 Øverst: Simulert og observert vannføring  
 Midten: Simulert og observert årsvolum  
 Nederst: Månedlig snittvannføring



**Figur 40:** Validering av andre delfelt  
 Øverst: Simulert og observert vannføring  
 Midten: Simulert og observert årsvolum  
 Nederst: Månedlig snittvannføring





**Figur 41:** Validering av tredje delfelt  
 Øverst: Simulert og observert vannføring  
 Midten: Simulert og observert årsvolum  
 Nederst: Månedlig snittvannføring

Modellen presterer veldig bra for det første delfeltet (Figur 39), der alle kriteriene innfris. Det finnes ingen dammer i dette feltet før i 2005, noe som kan forklare at både kalibrering og kontroll av dette feltet gir meget gode resultater. Simuleringene har likevel en tendens til å overestimere i dette delfeltet. Modellen presterer dårligst for det andre delfeltet (se Figur 40). Siden kalibreringen av dette feltet heller ikke ga gode resultater, var det ikke forventet at kontrollen skulle gi gode resultater. Det er tydelig at modellen overestimerer vannføringene om våren. I dette feltet finnes det i 1995 fire irrigasjons-dammer som kan bidra til redusert vannføring om våren, da magasinene fylles. Likevel er det mest sannsynlig at det er svak kalibrering som forårsaker den dårlige prestasjonen. Dersom det utføres en kontroll mellom 1994 og 1997 forbedres verdiene for NSE, RSR og PBIAS til henholdsvis 0,19, 0,90 og 8,4 %. Med tanke på at tredje delfelt ikke er kalibrert og at kontrollperioden går over ti år presterer modellen overraskende bra for dette feltet (se Figur 41). I starten av kontrollperioden finnes det 14 aktive dammer, deriblant Hirfanli kraftverk som har det største reservoaret i hele nedslagsfeltet til Kizilirmak. I tillegg blir det i løpet av kontrollperioden ferdigstilt 4 nye irrigasjonsdammer (Yalintas, Koprucuk, Kuzayca og Karaova). Hvis en sammenligner månedlig snittvannføring i Figur 40 og Figur 41 ser en tydelig hvordan dammene i det tredje delfeltet magasinere vann om våren og slipper det ut om sommeren og høsten. Det at magasinene i modellen også får til dette er viktig. Dersom kontrollen i stedet fokuserer på årene 1994 til 1997 forbedres NSE og RSR til henholdsvis 0,34 og 0,81.

### 3.6 Sensitivitetsanalyse

Det har også blitt foretatt en kort sensitivitetsanalyse for å kartlegge hvilke parametre som gir størst utslag på resultatene i modellen. Her har det blitt valgt å bruke øverste delfelt som fokusområde av to grunner; at det i dette feltet ikke er noen "forstyrrende" dammer og at både kalibrerings- og valideringsresultatene for dette resultatet var meget gode. Sensitivitetsanalysen innebar å justere alle parametrene med  $\pm 50\%$  og se hvor stort utslag det gjorde på avrenning i feltet for referanseåret. Året 1986 ble tilfeldig valgt som referanseår. Ingen av parametrene som er relatert til klima inngår i sensitivitetsanalysen. Heller ikke parametrene *Area* (som er forhåndsbestemt), *Preferred flow direction*, *Initial Z1* eller *Initial Z2* (Kan ikke bruke verdier større enn 1) er med i sensitivitetsanalysen. Parametrene *Kc* og *Runoff resistance factor* varierer i løpet av året, og blir derfor ugunstig å sammenligne med de andre konstante parametrene. Det etterlater kun de seks parametrene som vises under:

**Tabell 33:** Resultat av sensitivitetsanalyse

| Parameter              | Parameterverdi |       |       | Volum i 1986 (mill m <sup>3</sup> ) |        |        | Endring (%) |        |
|------------------------|----------------|-------|-------|-------------------------------------|--------|--------|-------------|--------|
|                        | Kalibr.        | +50 % | -50 % | Kalibr.                             | +50 %  | -50 %  | +50 %       | -50 %  |
| Soil water capacity    | 800            | 1200  | 400   | 1008,8                              | 983,8  | 1056,5 | -2,5 %      | 4,7 %  |
| Deep water capacity    | 400            | 600   | 200   | 1008,8                              | 1046,1 | 966,4  | 3,7 %       | -4,2 % |
| Root zone conductivity | 50             | 75    | 25    | 1008,8                              | 1024,9 | 992,1  | 1,6 %       | -1,6 % |
| Deep conductivity      | 20             | 30    | 10    | 1008,8                              | 1002,3 | 1007,0 | -0,6 %      | -0,2 % |

Modellen er mest sensitiv for parametrene *Soil water capacity* og *Deep water capacity*.

## 4 Resultat

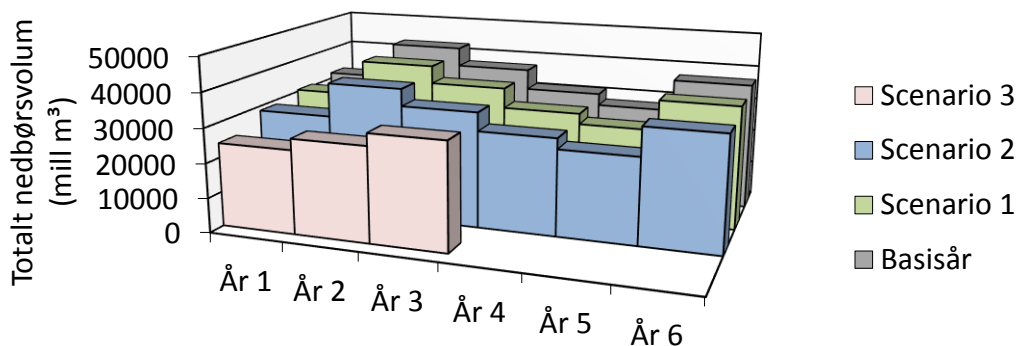
I dette kapittelet presenteres resultatene for de ulike scenarioene som tidligere har blitt introdusert (se kapittel 2.5.2). Resultatene vil bli nærmere diskutert i kapittel 5. Det har blitt valgt å presentere data for seks år, som blir kalt År 1 til År 6. Tabell 34 viser hvilke år disse årene tilsvarer for de ulike scenarioene. Dersom et scenario oppgis uten bokstaven A eller B betyr det at resultatet er likt for begge scenarioene (det vil si uavhengig av vannuttak). For å friske opp minnet repeteres klimaendringene som brukes i denne oppgaven i Tabell 35.

**Tabell 34:** Oversikt over hvilke år scenarioene tilsvarer

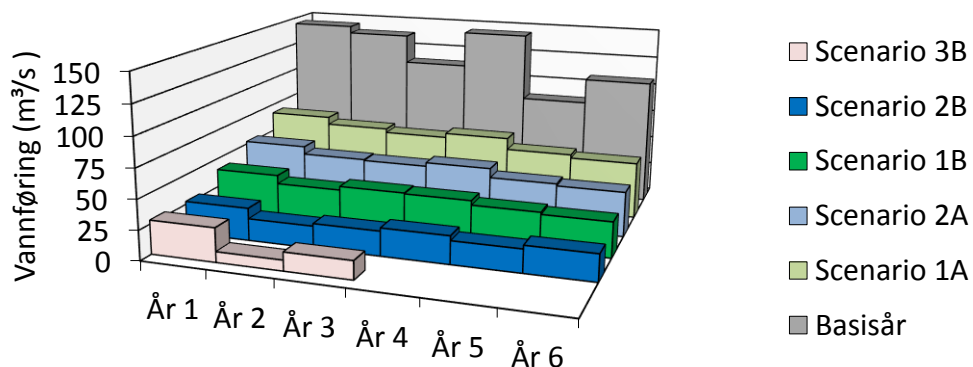
|            | År 1 | År 2 | År 3 | År 4 | År 5 | År 6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Basisår    | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
| Scenario 1 | 2050 | 2051 | 2052 | 2053 | 2054 | 2055 |
| Scenario 2 | 2085 | 2086 | 2087 | 2088 | 2089 | 2090 |
| Scenario 3 | 2085 | 2086 | 2087 | -    | -    | -    |

**Tabell 35:** Oversikt over scenarioene

|            | Nedbør |                | Temperatur |         | "A"             | "B"                          |
|------------|--------|----------------|------------|---------|-----------------|------------------------------|
|            | Sommer | Resten av året | Sommer     | Vinter  |                 |                              |
| Scenario 1 | -5,0 % | -2,5 %         | +2,5 °C    | +1,5 °C | Uttak som i dag | Alle planlagte uttak i drift |
| Scenario 2 | -10 %  | -5,0 %         | +3,0 °C    | +2,0 °C |                 |                              |
| Scenario 3 | -10 %  | -5,0 %         | +3,0 °C    | +2,0 °C |                 |                              |



**Figur 42:** Totalt nedbørsvolum til nedslagsfeltet for de ulike scenarioene



**Figur 43:** Årlig gjennomsnittlig vannføring fra Kizilirmak til Svartehavet

Figur 42 og Tabell 36 viser de generelle konsekvensene av klimaendringene. Figur 43 og Tabell 37 viser hvor mye vann som renner ut i Svartehavet fra Kizilirmak.

**Tabell 36:** Totalt nedbørsvolum til nedslagsfeltet for de ulike scenarioene

| Totalt nedbørsvolum | År 1                   | År 2  | År 3  | År 4  | År 5  | År 6  | Sum<br>(mill m <sup>3</sup> ) | Endring fra basisår |
|---------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|---------------------|
|                     | (mill m <sup>3</sup> ) |       |       |       |       |       |                               |                     |
| Basisår             | 31806                  | 42670 | 37116 | 31150 | 27702 | 36956 | 207400                        | 0 %                 |
| Scenario 1A og 1B   | 30474                  | 40901 | 35707 | 29882 | 26802 | 35545 | 199310                        | -4 %                |
| Scenario 2A og 2B   | 28625                  | 38403 | 33404 | 28035 | 24932 | 33260 | 186660                        | -10 %               |
| Scenario 3B         | 24170                  | 27401 | 30928 |       |       |       | (kun 3 år)                    | -32 %               |

**Tabell 37:** Årlig gjennomsnittlig vannføring fra Kizilirmak til Svartehavet

| Utløp<br>(til Svartehavet) | År 1                                | År 2 | År 3 | År 4 | År 5 | År 6 | Snitt<br>(m <sup>3</sup> /s) | Endring fra basisår |
|----------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------------------------------|---------------------|
|                            | Snittvannføring (m <sup>3</sup> /s) |      |      |      |      |      |                              |                     |
| Basisår                    | 144                                 | 138  | 113  | 144  | 86   | 107  | 122                          | 0 %                 |
| Scenario 1A                | 67                                  | 60   | 57   | 61   | 51   | 48   | 57                           | -53 %               |
| Scenario 2A                | 52                                  | 45   | 45   | 48   | 40   | 38   | 34                           | -72 %               |
| Scenario 1B                | 40                                  | 33   | 36   | 35   | 32   | 30   | 45                           | -63 %               |
| Scenario 2B                | 27                                  | 19   | 21   | 23   | 19   | 22   | 22                           | -82 %               |
| Scenario 3B                | 28                                  | 9    | 15   |      |      |      | 18                           | -87 %               |

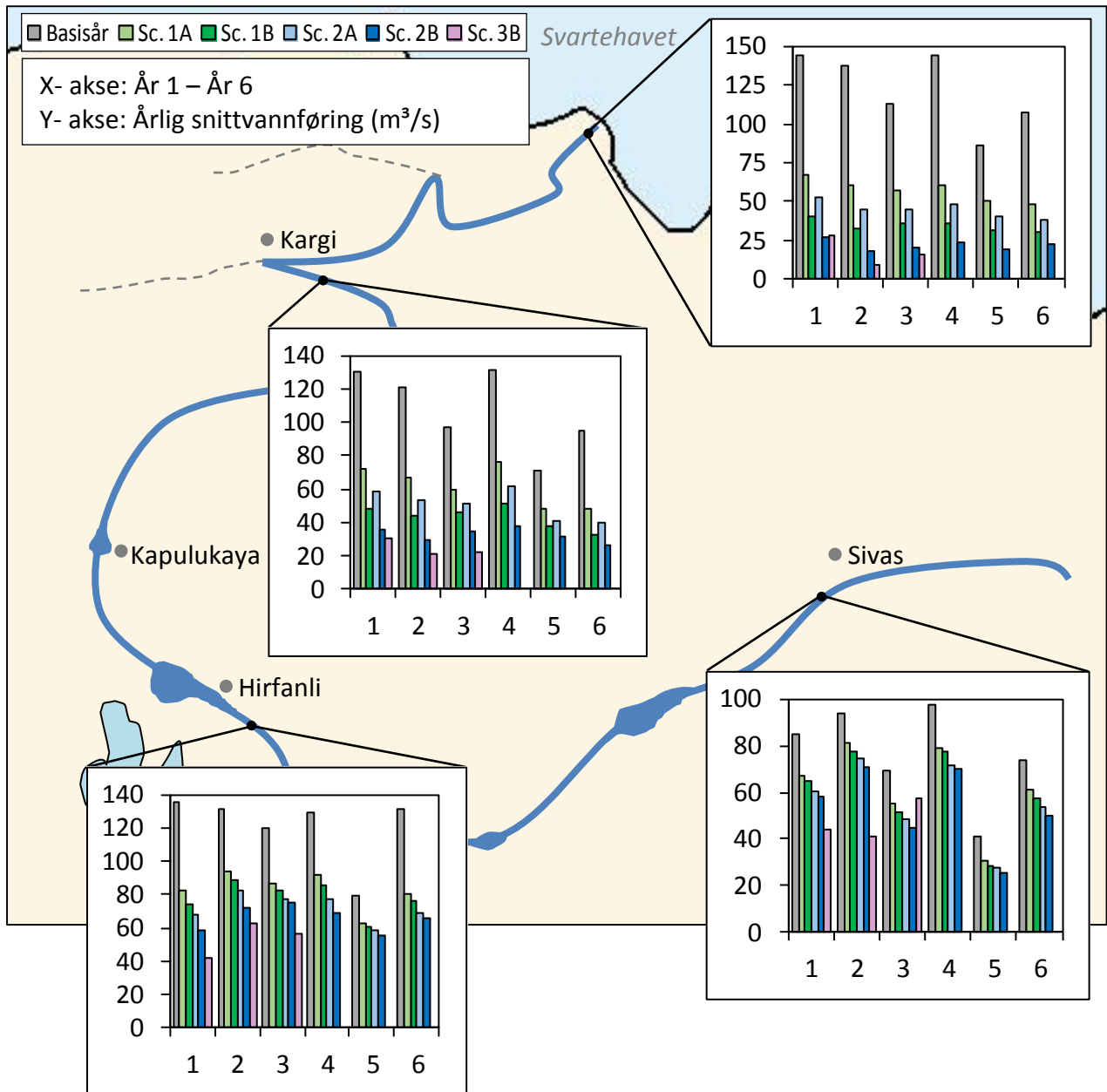
Det er viktig å notere seg at perioden "Basisår" er årene fra 1990 til 1995, altså ikke situasjonen som den er i dag (per 2014). Det er med andre ord blitt bygd en rekke irrigasjonsanlegg mellom 1995 og i dag (2014), som ikke blir medregnet i Figur 43. Av de 33 irrigasjonsanleggene som regnes som eksisterende i dag (se Tabell 7) ble 14 bygd etter 1995. I dag utgjør disse til sammen et årlig uttak på 695 millioner m<sup>3</sup>, eller en årlig snittvannføring på 22 m<sup>3</sup>/s. Derfor er ikke reduksjonen på 53 % og 72 % i utløp til Svartehavet kun på grunn av klimaendringer (se Tabell 37), men også et høyere vannuttak. Tabell 38 viser at klimaendringer alene gir en reduksjon på 43 % fra basisårene til scenario 1A og 66 % til scenario 2A.

**Tabell 38:** Endring i vannføring fra basisår inkludert alle eksisterende irrigasjonsanlegg

|   | Basisår | Sc. 1A | Sc. 2A |
|---|---------|--------|--------|
| Snitt (m <sup>3</sup> /s) inkl. irrigasjon per 2012 | 100     |        |        |
| Endring fra basisår                                 |         | -43 %  | -66 %  |

I WEAP er det mulig å gi prioritet til de ulike irrigasjons- og vannkraftsanleggene. Dersom for eksempel Gumushacikoy (lengst nedstrøms) gis en høyere prioritet enn for eksempel Ozen-Pusat (lengst oppstrøms) vil WEAP forsøke å oppfylle vanningskravet i Gumushacikoy før Ozen-Pusat. I scenarioene er alle irrigasjonsanleggene gitt høyere prioritet enn vannkraftsanleggene. Dette er overens med tyrkisk politikk der jordvanning skal prioriteres fremfor energiproduksjon, dersom en blir nødt til å velge (Şorman, 2013). Utover dette vil prioriteten på anleggene i WEAP tilsvare rekkefølgen på anleggene fra oppstrøms mot nedstrøms.

Figur 44 viser gjennomsnittlig vannføring for de ulike scenarioene ved utvalgte punkter:

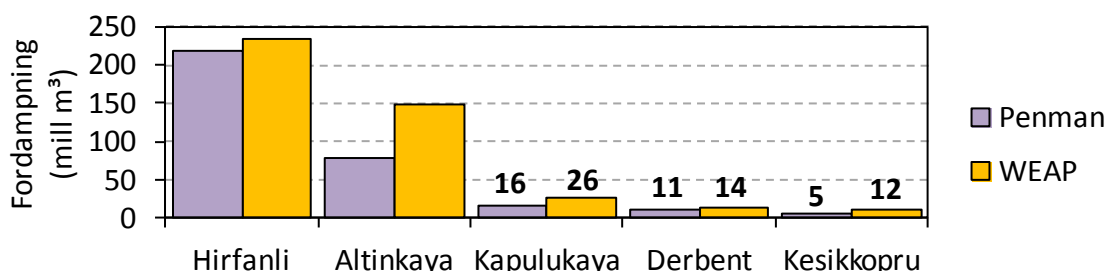


**Figur 44:** Årlig gjennomsnittsvannføring (m<sup>3</sup>/s) ved utvalgte punkter i vassdraget

#### 4.1 Fremtidig fordampning fra magasinene

WEAP er ikke brukt til beregning av fordampning fra magasinene. Alle resultater relatert til fordampning er beregnet med Penmans ligning, som forklart i kapittel 2.4. Figur 45 viser en sammenligning av fordampning estimert i WEAP (for året 1993) og fordampning beregnet med Penmans ligning (for basisårene). Forskjellen kan forklares med at WEAP beregner fordampning ut fra klimaverdier og en gitt volum- høydekurve. I denne oppgaven brukes klimaverdier og et gitt overflateareal. Dessuten er det ikke brukt nøyaktig de samme temperatuere (Ved bruk av Penman ble månedstemperaturer fra AQUASTAT benyttet). For de ulike scenarioene i Tabell 39 økes gjennomsnittstemperaturen for hver måned i henhold

til Tabell 21. Fordampning i basisårene tilsvarer verdiene i Vedlegg 4. Det må bemerkes at kun 5 av de 12 dammene i tabellen eksisterer i basisårene, og disse er markert med \*. De øvrige vises for å illustrere hva fordampningen ville vært om de hadde eksistert.



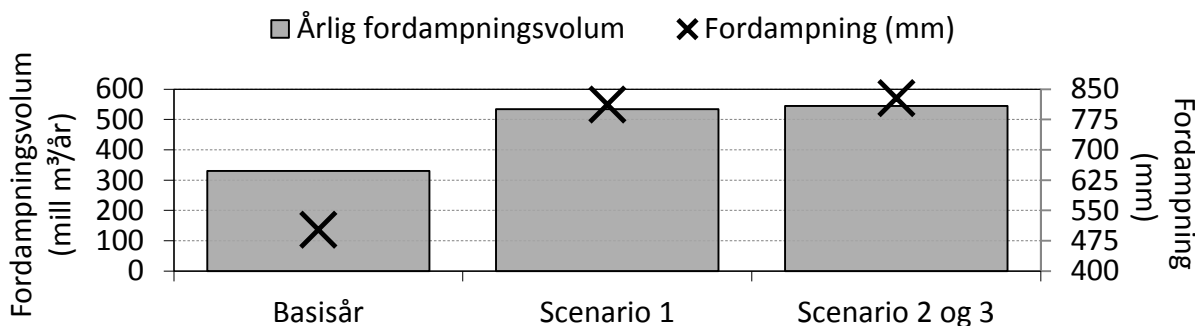
Figur 45: Sammenligning av fordampningsestimater

Tabell 39: Fordampning fra magasinene for de ulike scenarioene

| Magasin                    | Årlig fordampning (mm) |     |        | Areal (mill m²) | Årlig fordampningsvolum (mill m³) |              |              |
|----------------------------|------------------------|-----|--------|-----------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
|                            | Scenario:              |     |        |                 | Scenario:                         |              |              |
|                            | Basisår                | 1   | 2 og 3 |                 | Basisår                           | 1            | 2 og 3       |
| Hirfanli*                  | 806*                   | 877 | 895    | 272             | 219*                              | 239          | 243          |
| Altinkaya*                 | 664*                   | 724 | 739    | 118             | 79*                               | 86           | 87           |
| Yemliha                    | 737                    | 804 | 820    | 85.0            | 62.7                              | 68.4         | 69.7         |
| Boyabat                    | 693                    | 756 | 771    | 65.0            | 45.0                              | 49.1         | 50.1         |
| Obruk                      | 697                    | 761 | 776    | 50.2            | 35.0                              | 38.2         | 39.0         |
| Kapulukaya*                | 784*                   | 853 | 870    | 20.7            | 16.2*                             | 17.7         | 18.0         |
| Derbent*                   | 674*                   | 737 | 752    | 16.5            | 11.1*                             | 12.2         | 12.4         |
| Bayramhacili               | 754                    | 822 | 838    | 8.00            | 6.03                              | 6.57         | 6.71         |
| Imranli                    | 729                    | 794 | 810    | 6.50            | 4.74                              | 5.16         | 5.26         |
| Kesikkopru*                | 811*                   | 883 | 901    | 6.50            | 5.27*                             | 5.74         | 5.86         |
| Cermikler                  | 654                    | 715 | 730    | 5.00            | 3.27                              | 3.58         | 3.65         |
| Kargi                      | 697                    | 761 | 776    | 4.00            | 2.79                              | 3.04         | 3.10         |
| <b>Totalt:</b>             |                        |     |        |                 | <b>490</b>                        |              |              |
| <b>Totalt:</b>             |                        |     |        |                 | <b>330*</b>                       | <b>534</b>   | <b>545</b>   |
| <i>Endring fra basisår</i> |                        |     |        |                 |                                   | <b>+62 %</b> | <b>+65 %</b> |

\*Eksisterer i basisårene

Fordampningstapet fra Hirfanli, det største magasinet i feltet, er nesten 80 ganger så stort som tapet fra Kargi. Figur 46 viser det totale fordampningsvolumet fra samtlige magasiner.



Figur 46: Total fordampning fra samtlige magasiner

## 4.2 Fremtidig produksjon ved kraftverkene

Sammenlignet med planlagt/forventet årlig produksjon (i Tabell 10 og Tabell 19) simulerer WEAP for lave verdier. Årsaken til dette er at trykkehøyden på turbinene i modellen er for lave. I WEAP tilsvarer trykkehøyden til turbinen høyden på vannstanden i magasinet. I virkeligheten er ofte turbinene plassert enda lavere enn bunnen av dammen. I tillegg måtte kapasiteten til turbinene begrenses veldig mye i forbindelse med kalibreringen, da Hirfanli ble brukt som "mal" (som forklart rett over Tabell 11). På grunn av dette har blitt nødvendig å foreta noen antagelser når det gjelder fremtidig produksjon ved kraftverkene. Først antas det at alle kraftverkene i basisårene produserer som forventet. Deretter brukes WEAP (Tabell 40) til å bestemme reduksjonen i produksjon for hvert scenario ved de enkelte kraftverkene (Tabell 41). Til slutt antas det at tilsvarende reduksjon skjer i virkeligheten. Kargi kraftverk er markert i parentes fordi det egentlig ikke eksisterer i basisårene.

**Tabell 40:** Simulert produksjon sammenlignet med planlagt (i løpet av 6 år)

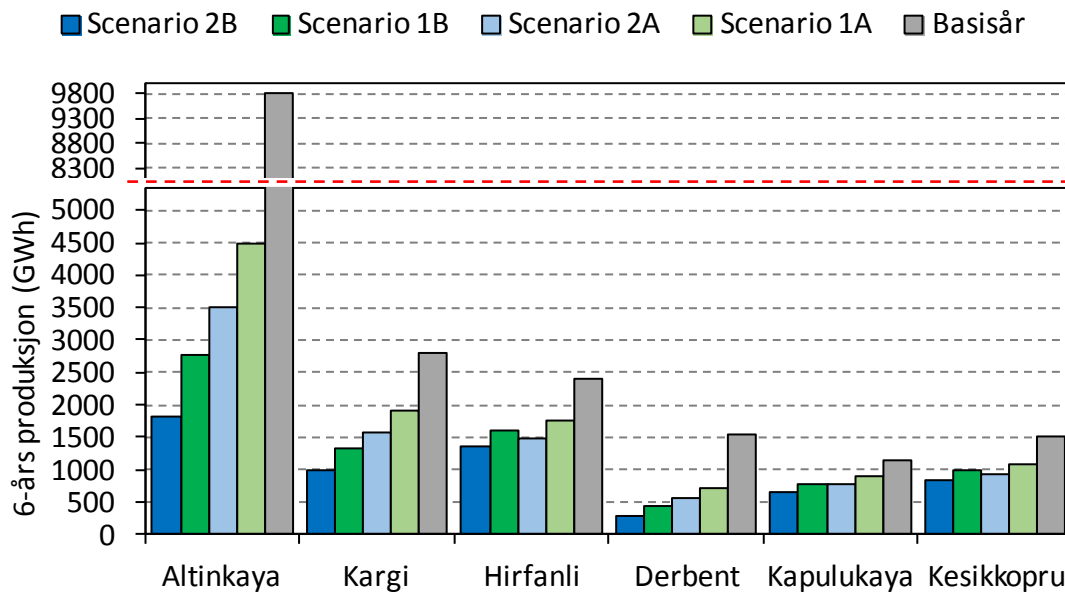
| Dam som eksisterer i basisårene | Planlagt (ila. 6 år) | Total produksjon i løpet av 6 år (GWh) |             |             |             |             |
|---------------------------------|----------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                 |                      | Basisår                                | Scenario 1A | Scenario 1B | Scenario 2A | Scenario 2B |
|                                 |                      | <b>Simulert i WEAP</b>                 |             |             |             |             |
| Altinkaya                       | 9792                 | 2902                                   | 1334        | 824         | 1036        | 537         |
| <i>(Kargi)</i>                  | 2802                 | <i>(2516)</i>                          | <i>1712</i> | <i>1194</i> | <i>1410</i> | <i>886</i>  |
| Hirfanli                        | 2400                 | 1726                                   | 1261        | 1162        | 1072        | 969         |
| Derbent                         | 1542                 | 1097                                   | 513         | 304         | 396         | 193         |
| Kapulukaya                      | 1140                 | 1088                                   | 867         | 752         | 740         | 614         |
| Kesikkopru                      | 1500                 | 1025                                   | 744         | 685         | 633         | 573         |

**Tabell 41:** Simulert reduksjon i produksjon i forhold til basisår

|                | Reduksjon (%) i forhold til basisår |              |              |              |
|----------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                | Scenario 1A                         | Scenario 1B  | Scenario 2A  | Scenario 2B  |
| Altinkaya      | -54 %                               | -72 %        | -64 %        | -82 %        |
| <i>(Kargi)</i> | <i>-32 %</i>                        | <i>-53 %</i> | <i>-44 %</i> | <i>-65 %</i> |
| Hirfanli       | -27 %                               | -33 %        | -38 %        | -44 %        |
| Derbent        | -53 %                               | -72 %        | -64 %        | -82 %        |
| Kapulukaya     | -20 %                               | -31 %        | -32 %        | -44 %        |
| Kesikkopru     | -27 %                               | -33 %        | -38 %        | -44 %        |

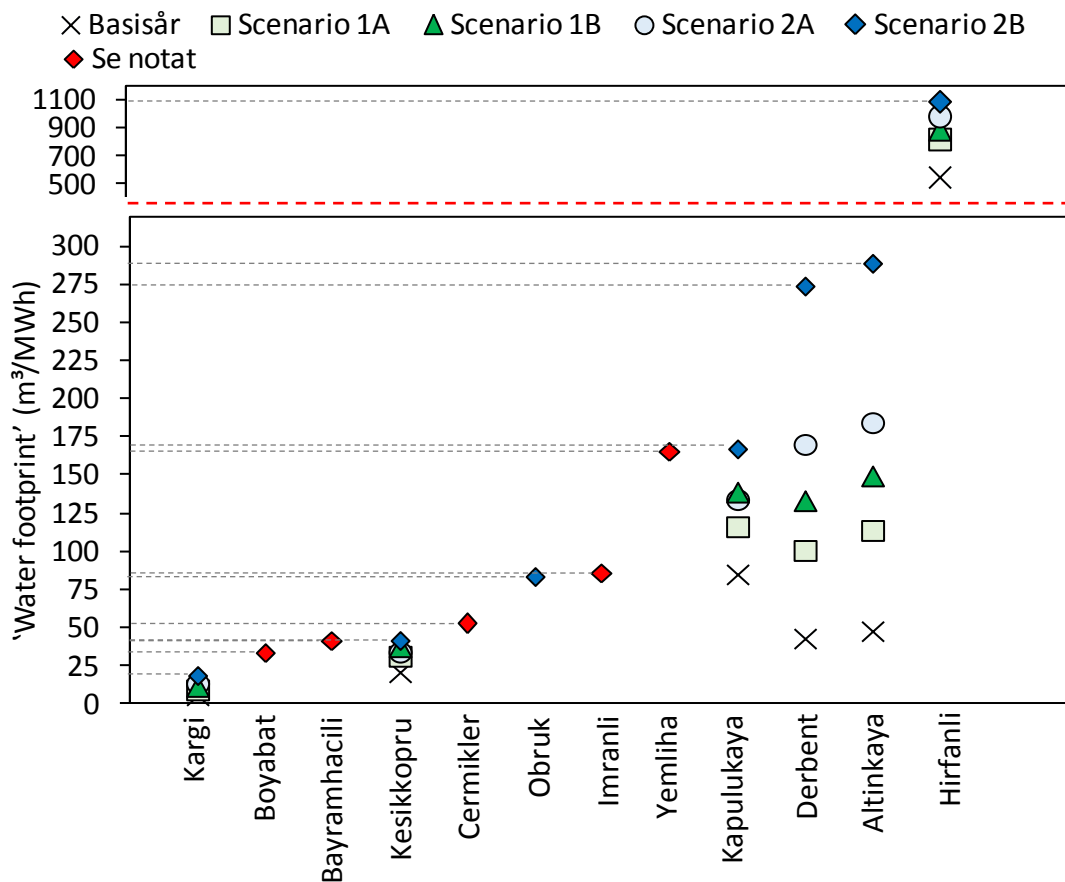
**Tabell 42:** Produksjon i scenarioene (Produksjon i basisår minus reduksjon)

|                               | Total produksjon i løpet av 6 år (GWh) |             |             |             |             |
|-------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                               | Basisår                                | Scenario 1A | Scenario 1B | Scenario 2A | Scenario 2B |
| Altinkaya                     | 9792                                   | 4500        | 2779        | 3496        | 1811        |
| <i>(Kargi)</i>                | 2802                                   | <i>1906</i> | <i>1329</i> | <i>1570</i> | <i>987</i>  |
| Hirfanli                      | 2400                                   | 1753        | 1616        | 1491        | 1347        |
| Derbent                       | 1542                                   | 721         | 427         | 557         | 271         |
| Kapulukaya                    | 1140                                   | 908         | 788         | 775         | 644         |
| Kesikkopru                    | 1500                                   | 1088        | 1002        | 926         | 838         |
| <b>Sum (uten Kargi) (TWh)</b> | <b>16</b>                              | <b>9</b>    | <b>7</b>    | <b>7</b>    | <b>5</b>    |



Figur 47: Total produksjon i løpet av scenarioene for utvalgte kraftverk

IPCC har utarbeidet et indikatorsystem, «Water Footprint of Energy Production», som beskriver hvor mye vann som er involvert i produksjonen av 1 MWh. Hvis det antas at det er kun fordampning som inngår i beregning av denne indikatoren for vannkraft, fås verdiene som vist i Figur 48:



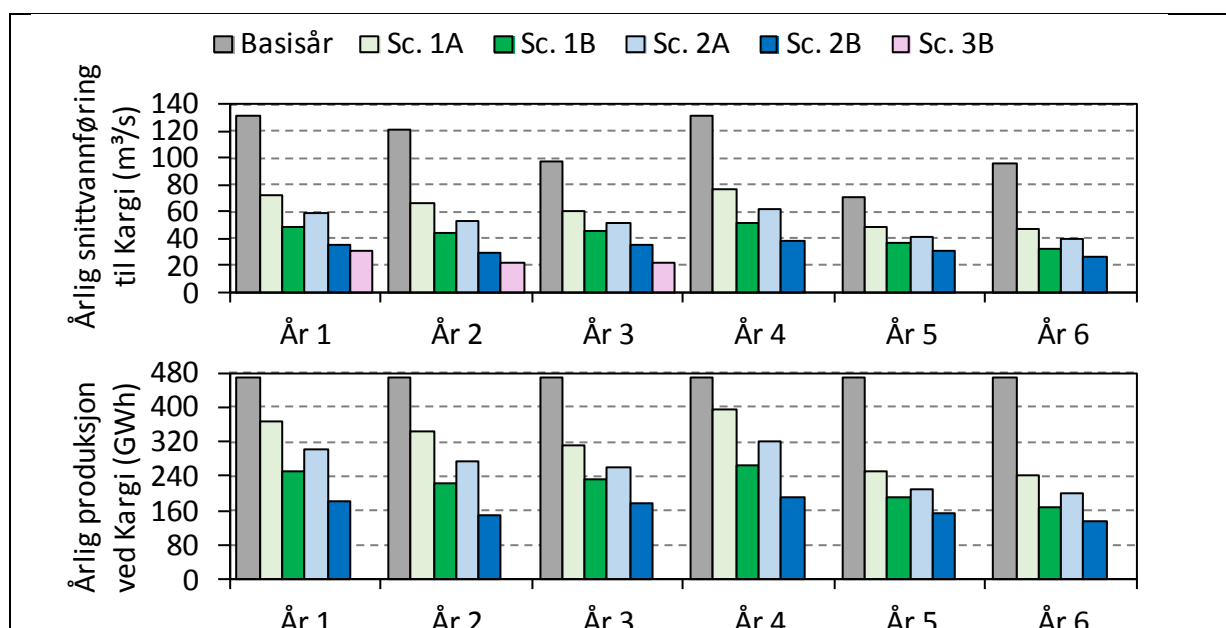
◆ : Fordampning i scenario 2 (545 mill m³) dividert på planlagt årsproduksjon  
 Figur 48: 'Water footprint' -verdier for samtlige kraftverk



Det må påpekes at fordampningsverdiene som er brukt i Figur 48 er *brutto* fordampning, noe som betyr at fordampning fra elven *før* damutbyggingen ikke er fratrukket. Det er stor faglig uenighet om brutto eller netto fordampning skal benyttes (Bakken et al, 2013). Bruk av netto fordampning gir lavere verdier. Dessuten er det ikke alltid slik at vannet i et magasin kun brukes til vannkraft, men også til jordvanning, drikkevann og diverse industriformål.

### 4.3 Kargi kraftverk i fremtiden

Figur 49 viser hvordan tilsig og produksjon ved Kargi utvikler seg som konsekvens av forventede klimaendringer og endret vannuttak i feltet.



Figur 49: Årlig snittvannføring og produksjon ved Kargi kraftverk

Tabell 43: Årlig snittvannføring og produksjon ved Kargi kraftverk

|                                      | År 1 | År 2 | År 3 | År 4 | År 5 | År 6 | Snitt<br>(m <sup>3</sup> /s) | Endring fra<br>basisår (%) |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|----------------------------|
| Tilsig til Kargi (m <sup>3</sup> /s) |      |      |      |      |      |      |                              |                            |
| Basisår                              | 131  | 121  | 97   | 132  | 71   | 95   | 108                          | 0 %                        |
| Sc. 1A                               | 72   | 66   | 60   | 76   | 48   | 48   | 62                           | -43 %                      |
| Sc. 1B                               | 48   | 44   | 46   | 51   | 37   | 33   | 43                           | -60 %                      |
| Sc. 2A                               | 58   | 53   | 51   | 62   | 41   | 40   | 51                           | -53 %                      |
| Sc. 2B                               | 35   | 30   | 35   | 38   | 31   | 27   | 33                           | -70 %                      |
| Sc. 3B                               | 31   | 21   | 22   |      |      |      | 25                           | -77 %                      |
|                                      | År 1 | År 2 | År 3 | År 4 | År 5 | År 6 | Sum<br>(TWh)                 | Endring fra<br>basisår (%) |
| Produksjon ved Kargi (GWh)           |      |      |      |      |      |      |                              |                            |
| Basisår*                             | 467  | 467  | 467  | 467  | 467  | 467  | 2802                         | 0 %                        |
| Sc. 1A                               | 366  | 343  | 310  | 395  | 249  | 243  | 1906                         | -32 %                      |
| Sc. 1B                               | 250  | 223  | 235  | 264  | 191  | 166  | 1329                         | -53 %                      |
| Sc. 2A                               | 303  | 272  | 262  | 321  | 210  | 202  | 1570                         | -44 %                      |
| Sc. 2B                               | 181  | 149  | 175  | 192  | 156  | 134  | 987                          | -65 %                      |

\* Selv om tilsiget varierer i basisårene er det antatt at energiproduksjonen hvert år i basisårene er som forventet.

BLANK SIDE

## 5 Diskusjon

Modellen er naturligvis ikke perfekt og ikke må ikke sees på som en tro kopi av det virkelige vassdraget. Den er bygd på en rekke antagelser og har et potensiale til forbedring på flere områder. Dette kapitlet begynner med å fremheve de svake og sterke sidene ved modellen og oppsummere de viktigste antagelsene som modellen er bygd på. Deretter diskuteres resultatene fra kapittel 4, der leseren anbefales å ha kapittel 5.1 og 5.2 i bakhodet. Dermed fremstår ikke resultatene i denne rapporten som en fasit på fremtidens Kizilirmak, men heller som en god kvalifisert gjetning. Kapittel 5.1 og 5.2 kan dessuten være nyttig dersom noen, for eksempel Statkraft, ønsker å forbedre modellen.

### 5.1 Svakheter og styrker ved modellen

#### *Svakheter:*

Med tanke på at Kizilirmak er over dobbelt så lang som Glomma og nedslagsfeltet utgjør 10 % av Tyrkias areal, er det lov å si at feltet med fordel kunne blitt delt opp i flere enn kun fire delfelt. Ved fire enkeltpunkter i modellen blir elven plutselig forsynt med store vannmengder der hvor delfeltene er påkoblet. I virkeligheten vil forsyningen øke gradvis, med unntak av der hvor store sideelver møter Kizilirmak. Jo grovere oppløsningen på nedslagsfeltet er, jo større blir delfeltene og jo mer problematisk blir det å bruke modellen på interessepunkter lengst oppstrøms i et delfelt. Som Figur 4 viser er Kargi kraftverk gunstig plassert, lengst nedstrøms i tredje delfelt og før to store sideelver. Et annet punkt som også gir mer sikre resultater enn andre punkter er ved deltaet hvor Kizilirmak renner ut i Svartehavet. Det er selvfølgelig positivt at modellen kan brukes ved de to viktige punktene Kargi og deltaet, men en svakhet at modellen ikke er like brukbar langs hele elven.

En annen viktig svakhet ved modellen er at den ikke er klar over at det kommer smeltevann om våren fra de høyere fjellområdene. Måleseriene med temperaturdata brukt i modellen består av svært få temperaturer under null. Derfor registrerer ikke modellen fryse- og tineprosesser, selv om det i fjellet er minusgrader og snøakkumulering om vinteren. Dette er en svakhet som delvis kan forklare tilfeller der modellen om våren simulerer lavere vannføringer enn observerte vannføringsmålinger. På samme måte kan det også være at modellen simulerer høyere vannføringer om vinteren, da nedbøren i virkeligheten kan falle som snø i de høyestliggende områdene.

Selv om WEAP tilbyr muligheten til grunnvannsmodellering har ikke dette blitt gjort her. Derfor kan det i perioder med ekstremt lite nedbør (og ingen snøsmelting) hende at elva i modellen blir tørr. I virkeligheten skal det "mer til" for at det skal bli nullvannføring i elva, da grunnvannsstanden vil forsyne elva med vann. Modellen kan derfor modellere lavere vannføringer enn i virkeligheten, og det er en svakhet ved modellen. Fordi modellen mangler både snø- og grunnvannsmodellering vil det si at avrenning i modellen kun er avhengig av nedbør. Derfor er modellen mye mer sensitiv for redusert nedbør enn den virkelige elven.

For at det i WEAP skal modelleres grunnvann må det etableres en kobling fra overflaten til grunnvannssystemet. Dette har ikke blitt gjort i denne modellen fordi viktigheten av grunnvannsmodellering ikke ble innsett før mot slutten av prosjektet (etter analyser).

Fordampningen fra magasinene som presenteres i rapporten og fordampningen som WEAP bruker er beregnet separat. Dette er fordi undertegnede ikke var klar over at WEAP var i stand til å gjøre dette på egenhånd. Ved utfylling av parameterverdier for de ulike magasinene (se Tabell 11) spør WEAP om «Net evaporation», som *egentlig* uttrykker forskjellen mellom fordampning fra magasinet og nedbøren som treffer magasinet (negativt tall indikerer overskudd av nedbør). Den uttrykker altså *ikke* total fordampning (i mm) som først antatt. På grunn av denne misforståelsen ble derfor denne parameteren registrert feil, og er en svakhet i modellen. Selv om det i denne rapporten og i WEAP har blitt brukt to ulike måter å beregne fordampning fra magasinene på (som forklart i kapittel 4.1) viser Figur 45 at forskjellen faktisk ikke er stor. Fordampningen beregnet av WEAP er likevel som regel større.

Den siste svakheten ved modellen som nevnes her er at modellen kun er kalibrert opp mot de seks årene fra 1981 til 1986. Det hadde vært bedre å bruke nyere vannføringsdata over en lengre periode (minst 10 år), men som forklart i kapittel 3.1 ble heller disse seks årene valgt som kalibreringsperiode. Videre ble det utført en svak kalibrering og validering av «Andre delfelt». Akkurat i dette delfeltet er det heldigvis ingen punkter av spesiell interesse for denne oppgaven. På grunn av at valideringene ikke gir like gode resultater som kalibreringene er det grunn til å tro at modellen er «Overfit». Dette er et resultat av overparameterisering, altså at flere parametere påvirker samme funksjon.

#### *Styrker:*

Den viktigste styrken ved modellen er de gode resultatene fra valideringen ved Kargi kraftverk (se Figur 41), tatt i betraktning av at kontrollperioden gjelder for 10 år og at kraftverket befinner seg nedstrøms store magasiner som forstyrrer de naturlige avrenningsforholdene. Generelt ga modellen gode kalibreringsresultater (se Tabell 31), med unntak av «Andre delfelt». Det er et spesielt godt tegn at kalibreringen opp mot målestasjonen EIE1533 ga gode resultater, da den befinner seg helt ved elvemunningen.

En annen styrke ved modellen er at den kan benyttes som et meget brukervennlig informasjonssystem for Kizilirmak. Mye tid har blitt brukt til innsamling, sortering og tolkning av data knyttet til irrigasjons- og vannkraftsanlegg i nedslagsfeltet. I tillegg til kartplassering inneholder modellen svært mye informasjon om både eksisterende og planlagte anlegg (totalt 69 anlegg) til både irrigasjon og vannkraft. Denne informasjonen er også lett å redigere, dersom et planlagt prosjekt ikke blir bygd eller et nytt prosjekt kommer på bordet.

Den siste styrken ved modellen som nevnes er at det er enkelt å tildele et anlegg/en vannbruker høyere prioritet enn andre. Slik modellen er oppsatt i dag prioriteres jordvanning

fremfor vannkraft. Denne modellen er i stand til å analysere hvor mye mer vann Kargi kraftverk kan få dersom det blir tildelt en høyere prioritet.

## 5.2 Sentrale antagelser ved modellen

Den viktigste antagelsen i denne rapporten, og den største kilden til usikkerheter, er nedjusteringen av irrigasjonsdata. Irrigasjonsdata for 10 eksisterende og 10 planlagte anlegg har blitt nedjustert. Før nedjusteringen utgjorde disse 20 anleggene til sammen 112 400 millioner m<sup>3</sup> vanning per år. Etter nedjustering utgjorde dem 1214 millioner m<sup>3</sup>/år, som utgjør 1 % av den originale dataen. Justeringene som har blitt foretatt blir nøye begrunnet i kapittel 2.2.4 og kapittel 2.5.1. Er det noe som er sikkert, så er det at Kizilirmak ikke har kapasitet til en jordvanning i henhold til det originale datasettet. Akkurat hvor mye som nedjusteres derimot, er av større usikkerhet.

Også scenarioene består av noen viktige antagelser som leseren må være klar over. Scenarioene forutsetter at enten *ingen* eller *alle* planlagte irrigasjonsanlegg utbygges. Det er fullt mulig at for eksempel halvparten av anleggene bygges ut, men det ignoreres i denne oppgaven. For klimascenarioene er den nest mest moderate utslippsvarianten, RCP4.4, benyttet (se kapittel 2.5.2). Klimaendringene kan dermed være betydelig større (det vil si mindre nedbør og høyere temperaturer) enn de som er brukt her. Videre forutsettes det i scenarioene at jordvanning prioriteres fremfor energiproduksjon, og de tar derfor ikke hensyn til endringer i politikk og prioriteringer eller spesielle avtaler.

I forhold til klima ligger det også noen antagelser i bunn. For det første er det kun brukt nedbørs- og temperaturdata fra to målestasjoner; én langt nedstrøms (Kastamonu) og én langt oppstrøms (Sivas). For de to midtre delfeltene har gjennomsnittet av disse to stasjonene blitt benyttet. Klimavariasjoner langs en elv på størrelse med Kizilirmak er mer komplisert enn som så. Videre har AQUASTAT blitt brukt til å finne *gjennomsnittlige* månedstemperaturer og andre klimaparametre som krevdes for å beregne fordampning fra magasinene (se kapittel 2.4). Refleksjonskoeffisienten (albedo) antas her til å være lik null. Dersom den er lik 1 vil det si at innkommende kortbølgestråling ( $R_{ns}$ ) er lik null (Se Formel 1). En rask analyse viser at ved Kargi kraftverk reduseres fordampning med 500 mm dersom *albedo* endres fra 0 til 1. Å sette refleksjonskoeffisienten til null er altså en antagelse som har stor betydning for fordampningsforholdene.

Det tas ikke hensyn oppsamling av sedimenter på vannsiden av dammene. I praksis vil slik sedimentering forårsake lavere magasinkapasitet i fremtiden, men det ignoreres i denne oppgaven. Parallelt med denne oppgaven skrives det en masteroppgave av Lena Selen (Leveres desember 2014 ved Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU) som tar for seg sedimenter i Kizilirmak. Der blir det spesielt fokusert på sedimenttransport til Kargi kraftverk i fremtidige klimascenarioer.

Andre antagelser som er viktige antagelser som må nevnes er:

- 20 % av irrigasjonsvolumet renner tilbake til Kizilirmak

- Hirfanli er brukt som mal, hva angår månedlig produksjon ved de øvrige kraftverkene (som forklart i kapittel 2.2.5)
- I volum- høydekurvene for magasinene (Se Vedlegg 5) er det antatt at vannstanden synker med 10 % av damhøyden mellom HRV og LRV.
- Det antas at det kun er fordampning som inngår i «Water Footprint of Energy Production» (se Figur 48).
- Det antas at fordampningen fra magasiner etc. ikke faller som nedbør i nedslagsfeltet til Kizilirmak igjen, og kan dermed karakteriseres som vanntap fra systemet.

### 5.3 Diskusjon av resultater

Mellom 1961 og 1989 var gjennomsnittlig målt vannføring fra Kizilirmak til Svartehavet på hele 186 m<sup>3</sup>/s (se Tabell 4). I 1989 fantes det 12 irrigasjonsanlegg og 4 vannkraftverk i nedslagsfeltet til Kizilirmak (se Figur 33). I 2012 fantes det 33 irrigasjonsanlegg og 9 vannkraftverk, noe som tilsier et meget økende vannbruk i nedslagsfeltet. Per i dag (2014) er det ytterligere 24 irrigasjonsanlegg som planlegges. Det verst tenkelige scenarioet (3B) i denne rapporten viser at snittvannføringen ved deltaet til Kizilirmak kan være redusert til 18 m<sup>3</sup>/s mot slutten av dette århundret. Mye av dette kan forklares med økt vannuttak, men klimaendringer har en minst like stor innvirkning på elven. Faktisk er konsekvensene av klimaendringene alene større enn konsekvensene av økt vannuttak alene. De mest alvorlige endringene i vannføring sees spesielt ved de nedre delene av vassdraget, noe som illustreres i Figur 44. Her er det tydelig at forskjellen mellom vannføring i basisårene og for de øvrige scenarioene blir større jo lenger ned i vassdraget en beveger seg. Dette kan forklares med at hovedtyngden av de planlagte irrigasjonsanleggene befinner seg nedstrøms Kapulukaya (Se Figur 30).

#### 5.3.1 Vannføring, fordampning og produksjon for samtlige scenarioer

##### *Scenario 1 (2050 – 2055)*

---

Tabell 36 viser at i denne perioden er totalt nedbørsvolum 4 % mindre enn i basisårene (1990 – 1995). Det viser seg at denne relativt lille endringen har stor påvirkning på elven. Tabell 38 viser at årlig snittvannføring reduseres med 43 % fra basisårene til perioden 2050-2055, kun på grunn av klimaendringer. Dersom alle planlagte anlegg er i drift vil snittvannføringen for denne perioden bli redusert med 63 % (Tabell 37). Dermed står klimaendringene for omtrent 2/3 av reduksjonen i vannføringen i scenario 1B.

Det årlige fordampningsvolumet fra magasinene for denne perioden er beregnet til å være 534 millioner m<sup>3</sup>, noe som tilsvarer en økning på 204 millioner m<sup>3</sup> (62 %) fra basisårene (Tabell 39). En slik økning tilsvarer en elv med 6,5 m<sup>3</sup>/s i årlig snittvannføring. Økningen skyldes høyere temperaturer (+2,5 °C om sommeren, +1,5 °C om vinteren) men også at 7 nye vannkraftsanlegg bygges etter basisårene (1995). Her er det viktig å påpeke at beregningene ikke inkluderer irrigasjonsanleggene med egne magasiner. Dersom det kun fokuseres på de fem vannkraftsmagasinene som eksisterer i basisårene ses en økning i fordampningsvolum på 9 % til 2050.

Når det gjelder energiproduksjon har det blitt valgt å se på de kraftstasjonene som eksisterer i basisårene (Altinkaya, Hirfanli, Derbent, Kapulukaya og Kesikkopru) for å se hvordan produksjonen varierer mellom scenarioene. I løpet av basisårene produserte disse anleggene totalt 16 TWh. Fordi vannføringene i Kizilirmak reduseres betraktelig er det naturlig å tenke seg til at også energiproduksjonen blir lavere. Tabell 42 viser at disse fem anleggene til sammen produserer 7 TWh mindre i perioden 2050 - 2055 enn de gjorde i basisårene, dersom ingen av de planlagte anleggene bygges. Dersom alle de planlagte anleggene bygges vil den samlede produksjonen for disse fem anleggene synke ytterligere 2 TWh. Som vist i Tabell 41 rammes Altinkaya og Derbent mer enn andre, noe som kan forklares med at de befinner seg så langt nedstrøms at vannet brukes opp på veien. Med økende fordampning og synkende produksjon vil «Water Footprint of Energy Production» ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ ) bli høyere (Figur 48). Spredningen mellom de ulike scenarioene blir større for de store magasinene. Typisk gir Scenario 1A og 1B høyere verdi enn basisårene, men lavere enn for Scenario 2A og 2B. For Scenario 1 varierer verdien fra 10  $\text{m}^3/\text{MWh}$  (Kargi) til 886  $\text{m}^3/\text{MWh}$  (Hirfanli).

### *Scenario 2 (2085 – 2090)*

Tabell 36 viser at i denne perioden er totalt nedbørsvolum 10 % mindre enn i basisårene (1990 – 1995). Tabell 38 viser at årlig snittvannføring reduseres med 66 % fra basisårene til perioden 2050-2055, kun på grunn av klimaendringer. Dersom alle planlagte anlegg er i drift vil snittvannføringen for denne perioden bli redusert med 82 % (Tabell 37). Dermed står klimaendringene for omtrent 4/5 av reduksjonen i vannføringen i scenario 2B. Det årlige fordampningsvolumet fra magasinene (ekskludert irrigasjonsanlegg med magasin) for denne perioden (gjelder også Scenario 3) er beregnet til å være 545 millioner  $\text{m}^3$ . Dette tilsvarer en økning på 215 millioner  $\text{m}^3$  (65 %) fra basisårene (Tabell 39). En slik økning tilsvarer en elv med nesten 7  $\text{m}^3/\text{s}$  i årlig snittvannføring. Som for Scenario 1 skyldes økningen både høyere temperaturer (+3 °C om sommeren, +2 °C om vinteren) og de 7 vannkraftsanleggene som bygges etter 1995. Dersom det kun fokuseres på de fem vannkraftsmagasinene som eksisterer i basisårene ses en økning i fordampningsvolum på 11 % til 2085. Det er altså ikke stor forskjell i fordampning mellom de to scenarioene. Sommer-temperaturene i Scenario 2 og 3 er 0,5 °C høyere enn i Scenario 1, og gir 3 % mer fordampning.

Energiproduksjonen i Scenario 2 er bare litt lavere enn i Scenario 1, noe som illustreres i Figur 47. Dersom ingen av de planlagte anleggene bygges vil de fem anleggene presentert i Tabell 42 til sammen produsere 9 TWh mindre i perioden 2085 – 2090 enn de gjorde i basisårene. Dersom alle de planlagte anleggene bygges vil den samlede produksjonen for disse fem anleggene synke ytterligere 2 TWh. Når det gjelder «Water Footprint»- verdien (Figur 48) for Scenario 2 varierer den mellom 12  $\text{m}^3/\text{MWh}$  (Kargi) og 1084  $\text{m}^3/\text{MWh}$  (Hirfanli).

### *Scenario 3 (2085 – 2087)*

I dette scenarioet forutsettes de samme klimaendringene som i Scenario 2, men her er den forventede nedbøren basert på en treårsperiode med lite nedbør. Tabell 36 viser at dette har store konsekvenser, da totalt nedbørsvolum reduseres med 32 % fra basisårene. Dersom

alle planlagte anlegg er i drift vil gjennomsnittligvannføring i denne perioden bli redusert fra 122 m<sup>3</sup>/s i basisårene til 18 m<sup>3</sup>/s, som betyr en nedgang på 104 m<sup>3</sup>/s (87 %). Med andre ord har ikke elven råd til å miste særlig mye mer vann. Fordampning i dette scenarioet er som i Scenario 2. Produksjonsberegninger presenteres ikke for Scenario 3 fordi det kun går over 3 år og blir lite sammenlignbar med de andre scenarioene som går over 6 år.

### 5.3.2 Kargi kraftverk

Kargi kraftverk blir i stor grad påvirket av klimaendringene og det økende vannbruket i Kizilirmak, som vist i Tabell 43 og Figur 49. Det verst tenkelige scenarioet (3B), som baseres på år med lite nedbør, gir et årlig gjennomsnittlig tilsig på 25 m<sup>3</sup>/s i perioden 2085 – 2087 dersom alle planlagte prosjekter bygges ut. Dette tilsvarer en reduksjon fra basisårene 1990 – 1995 på 77 %. Dersom ingen av anleggene bygges ut, og det tas utgangspunkt i normal nedbørsdata fås det et tilsig på 51 m<sup>3</sup>/s i denne perioden, som er en reduksjon på 53 % fra basisårene (2A). Dersom vannuttaket forblir som i dag vil Kargi kraftverk i perioden 2050 – 2055 oppleve et årlig snitttilsig på 62 m<sup>3</sup>/s.

Mindre tilsig betyr lavere produksjon. Spesielt avhengig av tilsiget er Kargi, ettersom kraftverkets magasin kun har døgnvariasjon. Hirfanli derimot, er i stand til å magasinere vann fra perioder med mer tilsig og bruke det senere når tilsiget er lavere. Tabell 43 viser at dersom vannuttaket forblir som i dag vil produksjonen ved Kargi i perioden 2050 – 2055 være omtrent 2/3 av den forventede produksjonen i basisårene. Dersom alle planlagte prosjekter bygges vil produksjonen i denne perioden være omtrent halvert fra basisårene. Energiproduksjonen ved Kargi i perioden 2085 – 2090 kan være 65 % lavere enn i basisårene, dersom alle planlagte prosjekter settes i drift. Kargi er kraftverket med den laveste 'Water Footprint'- verdien (m<sup>3</sup>/MWh) av alle kraftverkene for alle scenarioer. Dette skyldes det lave fordampningsvolumet og høye energiproduksjon. Verdien varierer mellom 6 (basisårene) og 19 m<sup>3</sup>/MWh (2085 – 2090). Ved Hirfanli varierer verdien mellom 548 og 1084 m<sup>3</sup>/MWh.

Det åpenbare problemet med Kargi kraftverk er at det befinner seg nedstrøms svært mange irrigasjonsanlegg; 26 eksisterende og 20 planlagte som bruker opp store deler av vannet før det når Kargi. I tillegg finnes det 8 store magasiner til vannkraft oppstrøms Kargi. Dessuten blir alle nedstrøms irrigasjonsanlegg også prioritert fremfor Kargi, noe som gjør at Kargi ender opp som nummer 66 i køen. Som nevnt er altså modellen som er brukt her i stand til å analysere hvor mye ekstra vann og energiproduksjon Kargi kraftverk kan få dersom det blir allokert en høyere prioritet på vannet. Én måte en slik allokering kan foregå på er at Kargi kraftverk inngår spesielle avtaler med oppstrøms vannbrukere, for eksempel ved å investere i mer effektivt irrigasjonssystem. Jo mindre vann som "sløses" i forbindelse med jordvanningen, jo mer vann kommer til Kargi kraftverk. Spørsmålet blir hvor mye dette ekstra vannet er verdt i kraftproduksjonen og om det er verdt investeringen. Et slikt spørsmål går utover denne oppgaven, men som for eksempel Statkraft kan bringe videre.



## 6 Konklusjon

Om 40 år kan Kizilirmak føre 43 % mindre vann til Svartehavet enn mellom 1990 og 1995. Mot slutten av 2080- tallet kan elven føre hele 66 % mindre vann til Svartehavet (se Tabell 38). For ingen av disse eksemplene er det dessuten tatt hensyn til økt vannuttak, noe som betyr at elven er meget sensitiv for klimaendringer. Antageligvis er modellen som er brukt her mer følsom for mindre nedbør enn den virkelige Kizilirmak, fordi verken snøsmelting eller grunnvann inngår i modellen. Likevel er det vist i denne rapporten at klimaendringene kan ha store og alvorlige konsekvenser for vannføringen i Kizilirmak, spesielt i de nedre delene slik som ved Kargi kraftverk og ved deltaet. Dersom planlagt irrigasjon ignoreres simulerer modellen et gjennomsnittlig tilsig til Kargi kraftverk på 62 m<sup>3</sup>/s mellom årene 2050 og 2055, som er en nedgang på 43 % fra perioden 1990 til 1995. Konsekvensen av dette er at produksjonen i Kargi blir to tredjedeler av dagens forventede produksjon (Se Tabell 43). Mellom 2085 og 2090 kan tilsiget være ytterligere redusert til 51 m<sup>3</sup>/s, kun på grunn av klimaendringene. Da vil produksjonen omtrent være halvert fra den forventede.

Utbygging av de planlagte irrigasjonsanleggene har også en tydelig effekt på vannføringen i Kizilirmak. For begge scenarioperiodene (2050 – 2055 og 2085 – 2090) blir det 10 % mindre vann i elven dersom alle planlagte anlegg bygges, sammenlignet med dersom vannuttaket forblir som i dag (Se Tabell 37). Om 40 år kan samlet produksjon fra kraftverkene som eksisterte i 1995 være 7 TWh lavere, og ytterligere 2 TWh lavere dersom all planlagt irrigasjon bygges ut. Det verst tenkelige scenarioet som forutsetter en periode med lite nedbør historisk sett, samt 100 % utbygging av planlagte irrigasjonsanlegg, gir en gjennomsnittlig vannføring ved deltaet til Kizilirmak på 18 m<sup>3</sup>/s. Dette tilsvarer en reduksjon på 87 % fra 1990- tallet. En slik reduksjon er ganske ekstrem og lite troverdig, men burde tolkes som en advarsel på at Kizilirmak befinner seg i faresonen hva angår økt vannuttak. Alle disse tallene forutsetter at jordvanning prioriteres fremfor vannkraft, noe som setter Kargi kraftverk langt bak i køen. Modellen som er etablert er i stand til å analysere hvor mye mer vann kraftverket kan få dersom Statkraft hjelper oppstrøms irrigasjonsanlegg med å bruke vannet mer effektivt. Deretter må det vurderes om det er økonomisk lønnsomt for Statkraft å investere i mer effektivt jordvanningsutstyr.

Fordi folketallet i Tyrkia øker vil også vanningsbehovet i Kizilirmak øke. Samtidig vil det bli mindre nedbør i Tyrkia, noe dette arbeidet har vist at elven er meget sensitiv for. Det burde implementeres nøyere oppfølging av vanningsrutiner, for eksempel slik at mest mulig vann finner veien tilbake til Kizilirmak, og investeres i mer effektivt vanningsutstyr.

I første halvdel av 1990- tallet eksisterte det fem vannkraftsmagasiner langs Kizilirmak som i følge denne rapporten hadde et samlet fordampningsvolum på 330 millioner m<sup>3</sup> (Se Tabell 39). Av disse fem magasinenes totale overflateareal utgjør Hirfanli og Altinkaya til sammen 90 % av arealet. Fordampningen fra Hirfanli og Altinkaya utgjorde også 90 % av den samlede fordampningen fra disse fem magasinene. Vanntapet fra et magasin er med andre ord sterkt relatert til dets overflateareal. I denne rapporten beregnes det at disse fem magasinene

totalt vil ha et årlig fordampningstap på 360 millioner m<sup>3</sup> i 2050, noe som tilsvarer en økning på 30 millioner m<sup>3</sup> (+9 %) fra 1990- tallet. Denne økningen kommer av 2,5 °C høyere sommertemperaturer og 1,5 °C høyere vintertemperaturer (Se Tabell 35). Dersom de syv vannkraftsmagasinene som ikke eksisterte i første halvdel av 1990- tallet tas med i beregningen, er den totale økningen i årlig fordampningsvolum hele 204 millioner m<sup>3</sup>. Dette tilsvarer en økning på 62 % (Se Tabell 39). Det årlige fordampningstapet fra de tolv vannkraftmagasinene på 2050- tallet er altså 534 millioner m<sup>3</sup> og tilsvarer vanningen fra nesten tolv gjennomsnittlige irrigasjonsanlegg (Se kapittel 2.5).

Fordampningstapet fra Kargi kraftverk, som har det minste magasinet arealmessig, er kun 1 % av fordampningen fra Hirfanli. Likevel er forventet produksjon ved Kargi 400 GWh større enn ved Hirfanli (Se Tabell 40). Det faktum at energiproduksjonen ikke alltid øker proporsjonalt med økende overflateareal (og fordampning) til et kraftverks magasin betyr at «Water Footprint»- verdiene (m<sup>3</sup>/MWh) varierer veldig i størrelse. I IPCC- rapporten fremkommer det at verdiene for vannkraft varierer mellom 0 og 209 m<sup>3</sup>/MWh (IPCC, 2011). I denne rapporten (Se Figur 48) havner 11 av 12 kraftverk langs Kizilirmak mellom 0 og 290 m<sup>3</sup>/MWh (for alle scenarioer), og stemmer dermed godt med IPCC sine verdier. Hirfanli skiller seg veldig ut med 1084 m<sup>3</sup>/MWh. Likevel sees ikke brukbarheten av en slik indikator, hovedsakelig på grunn av at et magasin sjelden har kraftproduksjon som eneste formål. Vanntapet til fordampning ofres også for andre fordeler slik som jordvanning, flomdemping, drikkevann og en jevnere tilgjengelighet året rundt. Dersom denne indikatoren skal være anvendelig må disse faktorene også tas hensyn til.

## 7 Referanser

Abrishamchi, A., Alizadeh, A., Tajrishy, M., 2007, Water Resources Management scenario analysis in the Karkheh river Basin, Iran, using the WEAP model, Sharif University of Technology

Bakken, T. H., Killingtveit, Å., Engeland, K., Alfredsen, K., and Harby, A., 2013, Water consumption from hydropower plants – review of published estimates and an assessment of the concept, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss  
[www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/3983/2013/hess-17-3983-2013.pdf](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/3983/2013/hess-17-3983-2013.pdf)

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008, Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

Çakmak, B., Kendirli, B., Ucar, Y., 2007, Evaluation of agricultural water use: A case Study for Kizilirmak, Journal of Tekirdag Agricultural Faculty  
[http://journaldatabase.org/articles/evaluation\\_agricultural\\_water\\_use\\_case.html](http://journaldatabase.org/articles/evaluation_agricultural_water_use_case.html)  
 (Çakmak et al, 2007)

Droogers, P., 2009, Climate Change and Hydropower, Impact and Adaptation Costs: Case Study Kenya, Report FutureWater: 85  
[www.futurewater.nl/uk/projects/climate-change-kenya/](http://www.futurewater.nl/uk/projects/climate-change-kenya/)

Erdogdu, E., 2011, An analysis of Turkish hydropower policy, Munich Personal RePEc Archive (MPRA)  
[http://mpra.ub.uni-muenchen.de/26791/1/MPRA\\_paper\\_26791.pdf](http://mpra.ub.uni-muenchen.de/26791/1/MPRA_paper_26791.pdf)

Escobar, M., Purkey, D., 2013, Water Allocation and Modelling, Stockholm Environment Institute (SEI), Gjesteforedrag ved NTNU den 6.september 2013

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2009, FAO Water Reports 34, Irrigation in the Middle East region in figures  
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i0936e/i0936e00.pdf>

George, B., Malano, H., Davidson, B., Hellegers, P., Bharati, L., Massuel, S., 2010, An integrated hydro-economic modelling framework to evaluate water allocation strategies II: Scenario assesment  
[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377410003847](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377410003847)

Gökbulak, F., Özhan, S., 2006, Water loss through evaporation from water surfaces of lakes and reservoirs in Turkey, Istanbul University

Gurer, I., Yildiz, E, F., 2012, Comparison of the Different Evaporation Computation Methods (Artificial Neutral network, Penman and Thornthwaite) at Sultansazligi Wetland Kayseri – Turkey, Gazi University

Hamlat, A., Errih, M., Guidoum, A., 2012, Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model, University of Laghouat <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-012-0539-0>

Höllermann, B., Giertz, S., Dieckrüger, B., 2010, Benin 2025 - Balancing Future Water Availability and Demand Using the WEAP 'Water Evaluation and Planning' System, University of Bonn <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-010-9622-z>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2011, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp. <http://srren.ipcc-wg3.de/report>

IPCC, 2013a, Climate Change 2013, Summary for Policymakers <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uo6AYjbKzIU>

IPCC, 2013b, Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kahya, E., Kalayci, S., 2003, Trend Analysis of streamflow in Turkey, Journal of Hydrology <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169403004529>

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations <http://naldc.nal.usda.gov/catalog/9298>

Nalbantoğlu, U., 2006, Country Report of Turkey, Department of Technology, General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) [http://www.minenv.gr/medeuwi/meetings/conference.of.the.water.directors.athens.6&7-11-06\\_en/00/dsi-turkey.pdf](http://www.minenv.gr/medeuwi/meetings/conference.of.the.water.directors.athens.6&7-11-06_en/00/dsi-turkey.pdf)

Pearce, F., 2006, *When the rivers run dry*, Eden Project Books

SEI (Stockholm Environment Institute), 2012, WEAP Tutorial [http://www.weap21.org/downloads/WEAP\\_Tutorial.pdf](http://www.weap21.org/downloads/WEAP_Tutorial.pdf)

Sensoy, S., Demircan, M., Ulupinar, Y., Balta, I., 2008, Climate of Turkey, Turkish State Meteorological Service

<http://www.mgm.gov.tr/files/en-US/climateofturkey.pdf>

Sieber, J., Purkey, D., 2011, WEAP User Guide, Stockholm Environment Institute (SEI)

[http://www.weap21.org/downloads/WEAP\\_User\\_Guide.pdf](http://www.weap21.org/downloads/WEAP_User_Guide.pdf)

Şorman, A., Ü, 2013, Presentasjon ved “*Workshop on allocation and water transaction*”, Ankara, 15-17 April 2013 organisert av State Hydraulic Works (DSI), Turkey

Strzeppek, K. M., Yohe, G. W., Tol, R. S. J., Rosegrant, M. W., 2007, The value of the high Aswan Dam to the Egyptian economy

[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907004454](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907004454)

Tan, A., 1996, Turkey: Country Report to the FAO International Technical Conference on Plant Genetic Resource

[www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/PGR/SoW1/east/TURKEY.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/PGR/SoW1/east/TURKEY.pdf)

Waughray, D., Workman, J. G., 2011, Water Security: the water-food-energy-climate nexus., World Economic Forum, Island Press

<http://islandpress.org/ip/books/book/islandpress/W/bo8065703.html>

White, Chris., 2012, Understanding water scarcity: Definitions and measurements, Australian National University, Global Water Forum

[www.iwmi.cgiar.org/News\\_Room/pdf/Understanding\\_water\\_scarcity.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/News_Room/pdf/Understanding_water_scarcity.pdf)

Wikipedia, 2013, Penman equation, Tilgjengelig fra:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Penman\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Penman_equation) (Sist hentet: 08.06.2014]

Yuksel, I., 2012, Renewable energy status of electricity generation and future prospect hydropower in Turkey, Sakarya University

[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112005332](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112005332)

Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C.C., Migliaccio, K. W., Morgan, K. T., 2009, Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method), University of Florida

<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE45900.pdf>

BLANK SIDE

## 8 Vedlegg

| Vedleggsnummer | Innhold                   | Antall sider | Også digitalt |
|----------------|---------------------------|--------------|---------------|
| 1              | Nedbørsdata               | 4            | Ja            |
| 2              | Temperaturdata            | 4            | Ja            |
| 3              | Vannføringsdata           | 4            | Ja            |
| 4              | Fordampning fra magasiner | 1            | Ja            |
| 5              | Volum- høydekurver        | 3            | Nei           |
| 6              | Kalibreringsplan          | 1            | Nei           |
|                | <b>Totalt</b>             | <b>17</b>    |               |

Det digitale vedlegget (.zip) inneholder følgende:

- Nedbørs- og temperaturdata
- Vannføringsdata
- Fordampningsberegninger
- Eksempel på kalibreringsresultat med beregning av NSE, RSR og PBIAS
- WEAP- modellen (kalibrert og validert)





# VEDLEGG



## VEDLEGG 1: NEDBØRSDATA

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.81                 | 28     | 25    | 25     | 21     |
| feb.81                 | 32     | 39    | 39     | 45     |
| mar.81                 | 110    | 70    | 70     | 30     |
| apr.81                 | 25     | 22    | 22     | 18     |
| mai.81                 | 94     | 81    | 81     | 68     |
| jun.81                 | 34     | 27    | 27     | 20     |
| jul.81                 | 10     | 42    | 42     | 73     |
| aug.81                 | 8      | 33    | 33     | 58     |
| sep.81                 | 4      | 6     | 6      | 7      |
| okt.81                 | 50     | 50    | 50     | 50     |
| nov.81                 | 48     | 47    | 47     | 46     |
| des.81                 | 54     | 61    | 61     | 68     |
| jan.82                 | 52     | 49    | 49     | 45     |
| feb.82                 | 14     | 14    | 14     | 14     |
| mar.82                 | 24     | 32    | 32     | 39     |
| apr.82                 | 90     | 83    | 83     | 76     |
| mai.82                 | 36     | 61    | 61     | 86     |
| jun.82                 | 41     | 42    | 42     | 42     |
| jul.82                 | 17     | 64    | 64     | 111    |
| aug.82                 | 1      | 40    | 40     | 79     |
| sep.82                 | 4      | 16    | 16     | 28     |
| okt.82                 | 10     | 18    | 18     | 25     |
| nov.82                 | 8      | 24    | 24     | 40     |
| des.82                 | 39     | 29    | 29     | 19     |
| jan.83                 | 29     | 25    | 25     | 21     |
| feb.83                 | 40     | 34    | 34     | 27     |
| mar.83                 | 51     | 35    | 35     | 18     |
| apr.83                 | 50     | 72    | 72     | 94     |
| mai.83                 | 90     | 88    | 88     | 86     |
| jun.83                 | 45     | 44    | 44     | 43     |
| jul.83                 | 6      | 50    | 50     | 93     |
| aug.83                 | 5      | 31    | 31     | 56     |
| sep.83                 | 10     | 13    | 13     | 16     |
| okt.83                 | 59     | 54    | 54     | 48     |
| nov.83                 | 87     | 82    | 82     | 76     |
| des.83                 | 20     | 22    | 22     | 24     |

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.84                 | 26     | 28    | 28     | 29     |
| feb.84                 | 20     | 18    | 18     | 16     |
| mar.84                 | 59     | 44    | 44     | 29     |
| apr.84                 | 68     | 87    | 87     | 105    |
| mai.84                 | 41     | 56    | 56     | 71     |
| jun.84                 | 21     | 40    | 40     | 58     |
| jul.84                 | 8      | 40    | 40     | 72     |
| aug.84                 | 1      | 32    | 32     | 62     |
| sep.84                 | 1      | 14    | 14     | 27     |
| okt.84                 | 5      | 11    | 11     | 17     |
| nov.84                 | 13     | 15    | 15     | 16     |
| des.84                 | 26     | 15    | 15     | 4      |
| jan.85                 | 68     | 64    | 64     | 60     |
| feb.85                 | 94     | 70    | 70     | 46     |
| mar.85                 | 47     | 36    | 36     | 24     |
| apr.85                 | 63     | 56    | 56     | 49     |
| mai.85                 | 45     | 56    | 56     | 67     |
| jun.85                 | 13     | 29    | 29     | 45     |
| jul.85                 | 2      | 10    | 10     | 18     |
| aug.85                 | 12     | 7     | 7      | 1      |
| sep.85                 | 18     | 14    | 14     | 10     |
| okt.85                 | 66     | 68    | 68     | 69     |
| nov.85                 | 37     | 34    | 34     | 31     |
| des.85                 | 44     | 42    | 42     | 40     |
| jan.86                 | 42     | 40    | 40     | 37     |
| feb.86                 | 60     | 48    | 48     | 36     |
| mar.86                 | 9      | 6     | 6      | 3      |
| apr.86                 | 25     | 15    | 15     | 4      |
| mai.86                 | 70     | 74    | 74     | 77     |
| jun.86                 | 32     | 54    | 54     | 76     |
| jul.86                 | 10     | 6     | 6      | 1      |
| aug.86                 | 2      | 3     | 3      | 3      |
| sep.86                 | 36     | 30    | 30     | 24     |
| okt.86                 | 10     | 14    | 14     | 18     |
| nov.86                 | 41     | 27    | 27     | 12     |
| des.86                 | 45     | 47    | 47     | 49     |

Nedbørsdata fra og med 1987 til og med 1989 brukes ikke

## VEDLEGG 1: NEDBØRSDATA

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.90                 | 29     | 18    | 18     | 7      |
| feb.90                 | 22     | 14    | 14     | 6      |
| mar.90                 | 3      | 9     | 9      | 15     |
| apr.90                 | 99     | 88    | 88     | 77     |
| mai.90                 | 61     | 76    | 76     | 91     |
| jun.90                 | 53     | 35    | 35     | 16     |
| jul.90                 | 7      | 10    | 10     | 12     |
| aug.90                 | 8      | 31    | 31     | 53     |
| sep.90                 | 18     | 31    | 31     | 43     |
| okt.90                 | 16     | 29    | 29     | 42     |
| nov.90                 | 46     | 33    | 33     | 19     |
| des.90                 | 40     | 35    | 35     | 30     |
| jan.91                 | 19     | 21    | 21     | 22     |
| feb.91                 | 51     | 35    | 35     | 18     |
| mar.91                 | 37     | 25    | 25     | 12     |
| apr.91                 | 75     | 78    | 78     | 81     |
| mai.91                 | 129    | 101   | 101    | 73     |
| jun.91                 | 46     | 107   | 107    | 167    |
| jul.91                 | 4      | 21    | 21     | 38     |
| aug.91                 | 8      | 20    | 20     | 31     |
| sep.91                 | 6      | 14    | 14     | 22     |
| okt.91                 | 35     | 35    | 35     | 34     |
| nov.91                 | 79     | 48    | 48     | 16     |
| des.91                 | 51     | 44    | 44     | 37     |
| jan.92                 | 16     | 19    | 19     | 21     |
| feb.92                 | 58     | 37    | 37     | 15     |
| mar.92                 | 44     | 31    | 31     | 17     |
| apr.92                 | 35     | 30    | 30     | 25     |
| mai.92                 | 37     | 24    | 24     | 10     |
| jun.92                 | 98     | 133   | 133    | 167    |
| jul.92                 | 13     | 35    | 35     | 56     |
| aug.92                 | 7      | 5     | 5      | 2      |
| sep.92                 | 17     | 13    | 13     | 9      |
| okt.92                 | 29     | 37    | 37     | 44     |
| nov.92                 | 108    | 73    | 73     | 37     |
| des.92                 | 60     | 54    | 54     | 47     |

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.93                 | 40     | 37    | 37     | 33     |
| feb.93                 | 23     | 17    | 17     | 10     |
| mar.93                 | 33     | 22    | 22     | 10     |
| apr.93                 | 68     | 51    | 51     | 34     |
| mai.93                 | 138    | 129   | 129    | 120    |
| jun.93                 | 28     | 28    | 28     | 28     |
| jul.93                 | 10     | 9     | 9      | 7      |
| aug.93                 | 30     | 30    | 30     | 29     |
| sep.93                 | 2      | 11    | 11     | 19     |
| okt.93                 | 1      | 8     | 8      | 15     |
| nov.93                 | 36     | 36    | 36     | 36     |
| des.93                 | 41     | 36    | 36     | 30     |
| jan.94                 | 49     | 39    | 39     | 28     |
| feb.94                 | 56     | 46    | 46     | 36     |
| mar.94                 | 36     | 29    | 29     | 21     |
| apr.94                 | 22     | 20    | 20     | 17     |
| mai.94                 | 24     | 38    | 38     | 51     |
| jun.94                 | 15     | 13    | 13     | 11     |
| jul.94                 | 10     | 6     | 6      | 1      |
| aug.94                 | 8      | 21    | 21     | 33     |
| sep.94                 | 3      | 5     | 5      | 7      |
| okt.94                 | 24     | 23    | 23     | 22     |
| nov.94                 | 60     | 66    | 66     | 71     |
| des.94                 | 77     | 59    | 59     | 41     |
| jan.95                 | 33     | 32    | 32     | 31     |
| feb.95                 | 29     | 16    | 16     | 3      |
| mar.95                 | 51     | 65    | 65     | 79     |
| apr.95                 | 65     | 58    | 58     | 51     |
| mai.95                 | 45     | 42    | 42     | 39     |
| jun.95                 | 31     | 41    | 41     | 50     |
| jul.95                 | 28     | 52    | 52     | 76     |
| aug.95                 | 3      | 25    | 25     | 46     |
| sep.95                 | 31     | 23    | 23     | 14     |
| okt.95                 | 29     | 30    | 30     | 31     |
| nov.95                 | 85     | 67    | 67     | 49     |
| des.95                 | 22     | 20    | 20     | 17     |

## VEDLEGG 1: NEDBØRSDATA

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.96                 | 28     | 30    | 30     | 31     |
| feb.96                 | 46     | 40    | 40     | 33     |
| mar.96                 | 114    | 79    | 79     | 43     |
| apr.96                 | 104    | 66    | 66     | 28     |
| mai.96                 | 26     | 57    | 57     | 88     |
| jun.96                 | 8      | 16    | 16     | 24     |
| jul.96                 | 10     | 13    | 13     | 15     |
| aug.96                 | 5      | 16    | 16     | 27     |
| sep.96                 | 50     | 63    | 63     | 76     |
| okt.96                 | 56     | 51    | 51     | 46     |
| nov.96                 | 2      | 3     | 3      | 3      |
| des.96                 | 79     | 61    | 61     | 42     |
| jan.97                 | 19     | 22    | 22     | 24     |
| feb.97                 | 31     | 20    | 20     | 8      |
| mar.97                 | 30     | 23    | 23     | 16     |
| apr.97                 | 35     | 58    | 58     | 80     |
| mai.97                 | 33     | 42    | 42     | 50     |
| jun.97                 | 55     | 45    | 45     | 35     |
| jul.97                 | 6      | 27    | 27     | 47     |
| aug.97                 | 18     | 31    | 31     | 44     |
| sep.97                 | 49     | 27    | 27     | 4      |
| okt.97                 | 74     | 65    | 65     | 55     |
| nov.97                 | 11     | 18    | 18     | 25     |
| des.97                 | 63     | 64    | 64     | 65     |
| jan.98                 | 45     | 42    | 42     | 38     |
| feb.98                 | 65     | 42    | 42     | 19     |
| mar.98                 | 52     | 46    | 46     | 39     |
| apr.98                 | 89     | 73    | 73     | 56     |
| mai.98                 | 122    | 128   | 128    | 133    |
| jun.98                 | 20     | 44    | 44     | 67     |
| jul.98                 | 1      | 10    | 10     | 18     |
| aug.98                 | 8      | 4     | 4      | 0      |
| sep.98                 | 1      | 24    | 24     | 46     |
| okt.98                 | 56     | 52    | 52     | 47     |
| nov.98                 | 32     | 30    | 30     | 28     |
| des.98                 | 86     | 54    | 54     | 22     |

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.99                 | 15     | 12    | 12     | 9      |
| feb.99                 | 44     | 52    | 52     | 59     |
| mar.99                 | 33     | 33    | 33     | 33     |
| apr.99                 | 77     | 65    | 65     | 53     |
| mai.99                 | 35     | 52    | 52     | 68     |
| jun.99                 | 66     | 73    | 73     | 79     |
| jul.99                 | 11     | 40    | 40     | 68     |
| aug.99                 | 20     | 78    | 78     | 135    |
| sep.99                 | 6      | 28    | 28     | 50     |
| okt.99                 | 45     | 50    | 50     | 55     |
| nov.99                 | 22     | 29    | 29     | 36     |
| des.99                 | 21     | 28    | 28     | 35     |
| jan.00                 | 76     | 54    | 54     | 32     |
| feb.00                 | 45     | 32    | 32     | 18     |
| mar.00                 | 27     | 33    | 33     | 38     |
| apr.00                 | 103    | 106   | 106    | 109    |
| mai.00                 | 41     | 58    | 58     | 75     |
| jun.00                 | 53     | 60    | 60     | 67     |
| jul.00                 | 10     | 15    | 15     | 19     |
| aug.00                 | 16     | 27    | 27     | 38     |
| sep.00                 | 31     | 22    | 22     | 12     |
| okt.00                 | 47     | 41    | 41     | 34     |
| nov.00                 | 40     | 22    | 22     | 3      |
| des.00                 | 23     | 20    | 20     | 16     |
| jan.01                 | 5      | 6     | 6      | 7      |
| feb.01                 | 31     | 26    | 26     | 21     |
| mar.01                 | 35     | 36    | 36     | 36     |
| apr.01                 | 68     | 56    | 56     | 44     |
| mai.01                 | 87     | 116   | 116    | 144    |
| jun.01                 | 2      | 6     | 6      | 10     |
| jul.01                 | 7      | 18    | 18     | 28     |
| aug.01                 | 8      | 26    | 26     | 43     |
| sep.01                 | 22     | 27    | 27     | 31     |
| okt.01                 | 8      | 6     | 6      | 4      |
| nov.01                 | 26     | 39    | 39     | 52     |
| des.01                 | 55     | 76    | 76     | 96     |

## VEDLEGG 1: NEDBØRSDATA

| Nedbør (mm) i delfelt: |        |       |        |        |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|
|                        | Første | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.02                 | 105    | 73    | 73     | 40     |
| feb.02                 | 19     | 12    | 12     | 5      |
| mar.02                 | 33     | 27    | 27     | 20     |
| apr.02                 | 95     | 82    | 82     | 68     |
| mai.02                 | 22     | 18    | 18     | 14     |
| jun.02                 | 10     | 37    | 37     | 64     |
| jul.02                 | 63     | 69    | 69     | 75     |
| aug.02                 | 8      | 28    | 28     | 47     |
| sep.02                 | 25     | 81    | 81     | 136    |
| okt.02                 | 26     | 40    | 40     | 53     |
| nov.02                 | 40     | 34    | 34     | 27     |
| des.02                 | 35     | 27    | 27     | 18     |
| jan.03                 | 54     | 42    | 42     | 29     |
| feb.03                 | 53     | 48    | 48     | 42     |
| mar.03                 | 43     | 26    | 26     | 8      |
| apr.03                 | 115    | 82    | 82     | 48     |
| mai.03                 | 48     | 58    | 58     | 67     |
| jun.03                 | 3      | 2     | 2      | 0      |
| jul.03                 | 10     | 8     | 8      | 6      |
| aug.03                 | 8      | 17    | 17     | 26     |
| sep.03                 | 22     | 38    | 38     | 54     |
| okt.03                 | 68     | 49    | 49     | 30     |
| nov.03                 | 34     | 20    | 20     | 6      |
| des.03                 | 50     | 54    | 54     | 58     |

Nedbørsdata fra og med 2004 til og med 2012 brukes ikke

## VEDLEGG 2: TEMPERATURDATA

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.81 | 1.4                        | 1.9   | 1.9    | 2.4    |
| feb.81 | 2.4                        | 2.6   | 2.6    | 2.7    |
| mar.81 | 5.6                        | 6.2   | 6.2    | 6.8    |
| apr.81 | 7.8                        | 8.3   | 8.3    | 8.7    |
| mai.81 | 11.0                       | 11.5  | 11.5   | 12.0   |
| jun.81 | 16.7                       | 17.8  | 17.8   | 18.9   |
| jul.81 | 20.9                       | 20.7  | 20.7   | 20.5   |
| aug.81 | 19.5                       | 19.5  | 19.5   | 19.4   |
| sep.81 | 18.1                       | 17.6  | 17.6   | 17.1   |
| okt.81 | 13.4                       | 13.9  | 13.9   | 14.3   |
| nov.81 | 3.5                        | 4.0   | 4.0    | 4.4    |
| des.81 | 4.8                        | 5.1   | 5.1    | 5.3    |
| jan.82 | 1.5                        | 0.8   | 0.8    | 0.0    |
| feb.82 | 3.8                        | 2.7   | 2.7    | 1.5    |
| mar.82 | 2.7                        | 3.3   | 3.3    | 3.9    |
| apr.82 | 11.0                       | 10.6  | 10.6   | 10.2   |
| mai.82 | 14.1                       | 14.2  | 14.2   | 14.3   |
| jun.82 | 16.2                       | 16.8  | 16.8   | 17.4   |
| jul.82 | 17.8                       | 17.5  | 17.5   | 17.2   |
| aug.82 | 18.8                       | 18.8  | 18.8   | 18.8   |
| sep.82 | 16.7                       | 16.8  | 16.8   | 16.9   |
| okt.82 | 10.6                       | 10.9  | 10.9   | 11.2   |
| nov.82 | 3.3                        | 3.5   | 3.5    | 3.7    |
| des.82 | 2.4                        | 2.2   | 2.2    | 1.9    |
| jan.83 | 4.3                        | 1.5   | 1.5    | -1.4   |
| feb.83 | 0.8                        | 1.0   | 1.0    | 1.2    |
| mar.83 | 4.5                        | 5.0   | 5.0    | 5.4    |
| apr.83 | 9.6                        | 10.3  | 10.3   | 10.9   |
| mai.83 | 13.9                       | 14.2  | 14.2   | 14.4   |
| jun.83 | 16.1                       | 16.1  | 16.1   | 16.0   |
| jul.83 | 20.0                       | 19.8  | 19.8   | 19.5   |
| aug.83 | 18.6                       | 18.3  | 18.3   | 17.9   |
| sep.83 | 15.9                       | 16.1  | 16.1   | 16.2   |
| okt.83 | 10.3                       | 10.2  | 10.2   | 10.1   |
| nov.83 | 6.7                        | 5.8   | 5.8    | 4.8    |
| des.83 | 1.7                        | 1.7   | 1.7    | 1.6    |

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.84 | 1.8                        | 1.9   | 1.9    | 1.9    |
| feb.84 | 1.7                        | 2.4   | 2.4    | 3.0    |
| mar.84 | 5.9                        | 5.4   | 5.4    | 4.9    |
| apr.84 | 8.6                        | 8.3   | 8.3    | 8.0    |
| mai.84 | 12.9                       | 13.8  | 13.8   | 14.6   |
| jun.84 | 16.0                       | 16.4  | 16.4   | 16.8   |
| jul.84 | 19.5                       | 19.0  | 19.0   | 18.4   |
| aug.84 | 16.6                       | 16.7  | 16.7   | 16.7   |
| sep.84 | 17.7                       | 17.7  | 17.7   | 17.7   |
| okt.84 | 10.9                       | 11.4  | 11.4   | 11.9   |
| nov.84 | 5.6                        | 6.0   | 6.0    | 6.4    |
| des.84 | 0.8                        | -0.2  | -0.2   | -1.1   |
| jan.85 | 1.6                        | 1.9   | 1.9    | 2.1    |
| feb.85 | 4.4                        | 3.6   | 3.6    | 2.8    |
| mar.85 | 6.9                        | 6.3   | 6.3    | 5.6    |
| apr.85 | 11.0                       | 11.0  | 11.0   | 10.9   |
| mai.85 | 15.5                       | 15.9  | 15.9   | 16.2   |
| jun.85 | 17.6                       | 17.4  | 17.4   | 17.2   |
| jul.85 | 17.1                       | 17.2  | 17.2   | 17.3   |
| aug.85 | 22.4                       | 22.1  | 22.1   | 21.7   |
| sep.85 | 15.7                       | 15.6  | 15.6   | 15.5   |
| okt.85 | 8.9                        | 9.0   | 9.0    | 9.0    |
| nov.85 | 7.5                        | 7.4   | 7.4    | 7.2    |
| des.85 | 0.7                        | 1.3   | 1.3    | 1.8    |
| jan.86 | 1.4                        | 1.7   | 1.7    | 2.0    |
| feb.86 | 2.4                        | 3.1   | 3.1    | 3.8    |
| mar.86 | 5.0                        | 5.4   | 5.4    | 5.7    |
| apr.86 | 10.5                       | 11.1  | 11.1   | 11.6   |
| mai.86 | 10.4                       | 10.7  | 10.7   | 11.0   |
| jun.86 | 16.5                       | 17.0  | 17.0   | 17.4   |
| jul.86 | 20.4                       | 20.6  | 20.6   | 20.7   |
| aug.86 | 22.0                       | 22.1  | 22.1   | 22.1   |
| sep.86 | 18.3                       | 18.2  | 18.2   | 18.1   |
| okt.86 | 11.0                       | 10.3  | 10.3   | 9.6    |
| nov.86 | 0.1                        | 1.8   | 1.8    | 3.5    |
| des.86 | 1.7                        | 1.2   | 1.2    | 0.7    |

Temperaturdata fra og med 1987 til og med 1989 brukes ikke

## VEDLEGG 2: TEMPERATURDATA

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.90 | 1.8                        | 1.5   | 1.5    | 1.1    |
| feb.90 | -0.6                       | 0.7   | 0.7    | 1.9    |
| mar.90 | 4.4                        | 5.4   | 5.4    | 6.3    |
| apr.90 | 8.4                        | 9.0   | 9.0    | 9.6    |
| mai.90 | 12.3                       | 12.6  | 12.6   | 12.9   |
| jun.90 | 16.7                       | 16.9  | 16.9   | 17.0   |
| jul.90 | 20.6                       | 20.6  | 20.6   | 20.5   |
| aug.90 | 18.4                       | 18.4  | 18.4   | 18.3   |
| sep.90 | 16.1                       | 15.7  | 15.7   | 15.3   |
| okt.90 | 11.5                       | 11.4  | 11.4   | 11.3   |
| nov.90 | 6.6                        | 6.8   | 6.8    | 7.0    |
| des.90 | 3.7                        | 3.0   | 3.0    | 2.3    |
| jan.91 | -0.1                       | 0.0   | 0.0    | 0.1    |
| feb.91 | 5.6                        | 3.4   | 3.4    | 1.2    |
| mar.91 | 4.8                        | 5.2   | 5.2    | 5.6    |
| apr.91 | 10.3                       | 10.0  | 10.0   | 9.6    |
| mai.91 | 11.9                       | 12.3  | 12.3   | 12.7   |
| jun.91 | 17.1                       | 17.4  | 17.4   | 17.6   |
| jul.91 | 20.8                       | 20.6  | 20.6   | 20.4   |
| aug.91 | 20.4                       | 20.2  | 20.2   | 19.9   |
| sep.91 | 16.2                       | 15.9  | 15.9   | 15.6   |
| okt.91 | 12.7                       | 12.5  | 12.5   | 12.3   |
| nov.91 | 4.2                        | 4.9   | 4.9    | 5.6    |
| des.91 | 0.5                        | -0.1  | -0.1   | -0.6   |
| jan.92 | 2.4                        | 1.0   | 1.0    | -0.4   |
| feb.92 | 4.2                        | 2.0   | 2.0    | -0.2   |
| mar.92 | 3.3                        | 3.6   | 3.6    | 3.9    |
| apr.92 | 8.5                        | 9.0   | 9.0    | 9.5    |
| mai.92 | 12.3                       | 12.7  | 12.7   | 13.0   |
| jun.92 | 16.5                       | 16.8  | 16.8   | 17.0   |
| jul.92 | 18.2                       | 18.2  | 18.2   | 18.2   |
| aug.92 | 20.6                       | 20.5  | 20.5   | 20.3   |
| sep.92 | 15.2                       | 14.9  | 14.9   | 14.5   |
| okt.92 | 12.8                       | 12.9  | 12.9   | 13.0   |
| nov.92 | 3.2                        | 3.7   | 3.7    | 4.2    |
| des.92 | 1.5                        | 0.9   | 0.9    | 0.2    |

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.93 | 1.5                        | 1.0   | 1.0    | 0.4    |
| feb.93 | 0.8                        | 0.9   | 0.9    | 0.9    |
| mar.93 | 2.6                        | 3.6   | 3.6    | 4.5    |
| apr.93 | 8.4                        | 8.3   | 8.3    | 8.2    |
| mai.93 | 12.8                       | 13.3  | 13.3   | 13.7   |
| jun.93 | 16.4                       | 16.8  | 16.8   | 17.1   |
| jul.93 | 19.4                       | 19.3  | 19.3   | 19.2   |
| aug.93 | 19.9                       | 19.9  | 19.9   | 19.9   |
| sep.93 | 16.6                       | 16.6  | 16.6   | 16.6   |
| okt.93 | 12.0                       | 12.6  | 12.6   | 13.1   |
| nov.93 | 0.8                        | 1.6   | 1.6    | 2.4    |
| des.93 | 1.8                        | 2.3   | 2.3    | 2.7    |
| jan.94 | 2.6                        | 2.2   | 2.2    | 1.8    |
| feb.94 | 1.0                        | 1.6   | 1.6    | 2.2    |
| mar.94 | 4.0                        | 4.7   | 4.7    | 5.4    |
| apr.94 | 12.7                       | 12.9  | 12.9   | 13.1   |
| mai.94 | 14.2                       | 14.4  | 14.4   | 14.6   |
| jun.94 | 17.0                       | 17.3  | 17.3   | 17.5   |
| jul.94 | 20.3                       | 20.4  | 20.4   | 20.5   |
| aug.94 | 19.4                       | 20.0  | 20.0   | 20.6   |
| sep.94 | 20.3                       | 20.3  | 20.3   | 20.2   |
| okt.94 | 14.2                       | 14.3  | 14.3   | 14.3   |
| nov.94 | 4.7                        | 4.5   | 4.5    | 4.3    |
| des.94 | -0.4                       | -0.4  | -0.4   | -0.3   |
| jan.95 | 2.1                        | 2.1   | 2.1    | 2.1    |
| feb.95 | 2.6                        | 3.2   | 3.2    | 3.8    |
| mar.95 | 5.5                        | 5.8   | 5.8    | 6.0    |
| apr.95 | 8.4                        | 8.6   | 8.6    | 8.7    |
| mai.95 | 14.8                       | 14.9  | 14.9   | 14.9   |
| jun.95 | 17.9                       | 18.6  | 18.6   | 19.2   |
| jul.95 | 18.3                       | 18.5  | 18.5   | 18.7   |
| aug.95 | 20.3                       | 20.5  | 20.5   | 20.6   |
| sep.95 | 16.8                       | 16.8  | 16.8   | 16.8   |
| okt.95 | 9.9                        | 10.0  | 10.0   | 10.1   |
| nov.95 | 3.5                        | 3.6   | 3.6    | 3.7    |
| des.95 | 1.2                        | 1.5   | 1.5    | 1.8    |



## VEDLEGG 2: TEMPERATURDATA

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.96 | 2.1                        | 1.3   | 1.3    | 0.4    |
| feb.96 | 4.0                        | 4.1   | 4.1    | 4.1    |
| mar.96 | 3.5                        | 3.3   | 3.3    | 3.0    |
| apr.96 | 7.0                        | 7.4   | 7.4    | 7.8    |
| mai.96 | 15.8                       | 15.7  | 15.7   | 15.5   |
| jun.96 | 16.2                       | 16.3  | 16.3   | 16.3   |
| jul.96 | 21.9                       | 21.8  | 21.8   | 21.7   |
| aug.96 | 20.6                       | 20.6  | 20.6   | 20.5   |
| sep.96 | 16.5                       | 15.9  | 15.9   | 15.3   |
| okt.96 | 10.8                       | 10.9  | 10.9   | 10.9   |
| nov.96 | 6.6                        | 6.4   | 6.4    | 6.1    |
| des.96 | 5.0                        | 4.8   | 4.8    | 4.5    |
| jan.97 | 2.0                        | 2.1   | 2.1    | 2.1    |
| feb.97 | 4.0                        | 2.8   | 2.8    | 1.6    |
| mar.97 | 0.6                        | 1.1   | 1.1    | 1.5    |
| apr.97 | 7.0                        | 6.9   | 6.9    | 6.8    |
| mai.97 | 15.1                       | 15.7  | 15.7   | 16.2   |
| jun.97 | 17.1                       | 17.8  | 17.8   | 18.4   |
| jul.97 | 19.5                       | 19.9  | 19.9   | 20.2   |
| aug.97 | 19.7                       | 19.4  | 19.4   | 19.0   |
| sep.97 | 13.7                       | 13.5  | 13.5   | 13.3   |
| okt.97 | 12.0                       | 11.7  | 11.7   | 11.3   |
| nov.97 | 6.6                        | 6.1   | 6.1    | 5.5    |
| des.97 | 2.7                        | 2.2   | 2.2    | 1.7    |
| jan.98 | -0.2                       | 0.5   | 0.5    | 1.2    |
| feb.98 | 3.7                        | 2.8   | 2.8    | 1.9    |
| mar.98 | 2.1                        | 2.9   | 2.9    | 3.6    |
| apr.98 | 11.1                       | 11.9  | 11.9   | 12.6   |
| mai.98 | 14.4                       | 14.7  | 14.7   | 14.9   |
| jun.98 | 19.2                       | 18.6  | 18.6   | 18.0   |
| jul.98 | 22.5                       | 22.0  | 22.0   | 21.4   |
| aug.98 | 22.2                       | 22.0  | 22.0   | 21.8   |
| sep.98 | 17.6                       | 17.4  | 17.4   | 17.2   |
| okt.98 | 12.8                       | 12.8  | 12.8   | 12.8   |
| nov.98 | 8.9                        | 7.8   | 7.8    | 6.7    |
| des.98 | 2.3                        | 2.4   | 2.4    | 2.4    |

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.99 | 1.3                        | 1.3   | 1.3    | 1.2    |
| feb.99 | 1.7                        | 1.9   | 1.9    | 2.1    |
| mar.99 | 4.7                        | 5.2   | 5.2    | 5.7    |
| apr.99 | 10.0                       | 10.2  | 10.2   | 10.3   |
| mai.99 | 13.7                       | 13.7  | 13.7   | 13.6   |
| jun.99 | 17.7                       | 18.1  | 18.1   | 18.5   |
| jul.99 | 21.2                       | 21.3  | 21.3   | 21.4   |
| aug.99 | 22.0                       | 21.7  | 21.7   | 21.4   |
| sep.99 | 16.7                       | 16.8  | 16.8   | 16.9   |
| okt.99 | 12.3                       | 12.1  | 12.1   | 11.9   |
| nov.99 | 4.9                        | 5.0   | 5.0    | 5.1    |
| des.99 | 1.6                        | 2.4   | 2.4    | 3.1    |
| jan.00 | 2.4                        | 1.7   | 1.7    | 0.9    |
| feb.00 | 1.8                        | 0.9   | 0.9    | -0.1   |
| mar.00 | 1.9                        | 2.7   | 2.7    | 3.4    |
| apr.00 | 11.0                       | 11.4  | 11.4   | 11.8   |
| mai.00 | 13.0                       | 13.1  | 13.1   | 13.1   |
| jun.00 | 16.4                       | 16.6  | 16.6   | 16.7   |
| jul.00 | 23.1                       | 22.8  | 22.8   | 22.4   |
| aug.00 | 21.0                       | 20.3  | 20.3   | 19.5   |
| sep.00 | 17.5                       | 17.1  | 17.1   | 16.6   |
| okt.00 | 10.4                       | 10.4  | 10.4   | 10.3   |
| nov.00 | 6.0                        | 6.4   | 6.4    | 6.8    |
| des.00 | 1.7                        | 1.2   | 1.2    | 0.7    |
| jan.01 | 1.8                        | 1.8   | 1.8    | 1.8    |
| feb.01 | 2.9                        | 3.1   | 3.1    | 3.2    |
| mar.01 | 9.4                        | 9.4   | 9.4    | 9.3    |
| apr.01 | 10.9                       | 11.2  | 11.2   | 11.4   |
| mai.01 | 12.3                       | 12.8  | 12.8   | 13.3   |
| jun.01 | 18.5                       | 18.7  | 18.7   | 18.8   |
| jul.01 | 22.7                       | 23.1  | 23.1   | 23.4   |
| aug.01 | 22.6                       | 22.2  | 22.2   | 21.8   |
| sep.01 | 18.5                       | 18.5  | 18.5   | 18.5   |
| okt.01 | 11.3                       | 11.2  | 11.2   | 11.1   |
| nov.01 | 5.7                        | 5.7   | 5.7    | 5.6    |
| des.01 | 2.8                        | 2.1   | 2.1    | 1.3    |

## VEDLEGG 2: TEMPERATURDATA

|        | Temperatur (°C) i delfelt: |       |        |        |
|--------|----------------------------|-------|--------|--------|
|        | Første                     | Andre | Tredje | Fjerde |
| jan.02 | 3.2                        | 1.7   | 1.7    | 0.2    |
| feb.02 | 2.3                        | 3.3   | 3.3    | 4.3    |
| mar.02 | 5.8                        | 6.7   | 6.7    | 7.5    |
| apr.02 | 8.4                        | 8.9   | 8.9    | 9.4    |
| mai.02 | 13.4                       | 13.9  | 13.9   | 14.3   |
| jun.02 | 17.2                       | 17.8  | 17.8   | 18.4   |
| jul.02 | 21.9                       | 22.3  | 22.3   | 22.7   |
| aug.02 | 20.1                       | 20.0  | 20.0   | 19.9   |
| sep.02 | 18.3                       | 17.6  | 17.6   | 16.8   |
| okt.02 | 13.0                       | 12.8  | 12.8   | 12.5   |
| nov.02 | 7.4                        | 7.0   | 7.0    | 6.6    |
| des.02 | 3.6                        | 2.7   | 2.7    | 1.8    |
| jan.03 | 2.1                        | 2.8   | 2.8    | 3.5    |
| feb.03 | 0.5                        | 0.2   | 0.2    | -0.2   |
| mar.03 | 1.1                        | 2.0   | 2.0    | 2.9    |
| apr.03 | 8.8                        | 8.9   | 8.9    | 9.0    |
| mai.03 | 15.5                       | 15.9  | 15.9   | 16.3   |
| jun.03 | 17.2                       | 17.5  | 17.5   | 17.8   |
| jul.03 | 20.1                       | 20.0  | 20.0   | 19.8   |
| aug.03 | 20.4                       | 20.5  | 20.5   | 20.6   |
| sep.03 | 16.3                       | 15.9  | 15.9   | 15.5   |
| okt.03 | 12.6                       | 12.8  | 12.8   | 13.0   |
| nov.03 | 5.8                        | 6.1   | 6.1    | 6.4    |
| des.03 | 1.4                        | 0.7   | 0.7    | 0.0    |

Temperaturdata fra og med 2003 til og med 2012 brukes ikke

### VEDLEGG 3: VANNFØRINGSDATA

|        | Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |
|--------|---|---------|---------|---------|
|        | EIE1535                                       | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.81 | 16  | 25      | 258     | 319     |
| feb.81 | 16  | 25      | 274     | 368     |
| mar.81 | 126   | 134     | 311     | 499     |
| apr.81 | 99  | 369     | 166     | 285     |
| mai.81 | 120   | 345     | 117     | 237     |
| jun.81 | 69  | 86      | 123     | 166     |
| jul.81 | 15  | 40      | 134     | 170     |
| aug.81 | 6   | 19      | 136     | 164     |
| sep.81 | 6   | 19      | 162     | 203     |
| okt.81 | 16  | 24      | 118     | 156     |
| nov.81 | 14  | 29      | 106     | 153     |
| des.81 | 35  | 45      | 125     | 204     |
| jan.82 | 27  | 46      | 128     | 195     |
| feb.82 | 20  | 48      | 127     | 180     |
| mar.82 | 77  | 216     | 176     | 283     |
| apr.82 | 189   | 158     | 126     | 327     |
| mai.82 | 94  | 164     | 107     | 229     |
| jun.82 | 37  | 115     | 103     | 186     |
| jul.82 | 12  | 35      | 60      | 99      |
| aug.82 | 7   | 19      | 97      | 124     |
| sep.82 | 6   | 13      | 161     | 188     |
| okt.82 | 7   | 25      | 172     | 218     |
| nov.82 | 7   | 31      | 146     | 188     |
| des.82 | 6   | 70      | 158     | 201     |
| jan.83 | 6   | 82      | 165     | 205     |
| feb.83 | 9   | 53      | 136     | 182     |
| mar.83 | 72  | 104     | 198     | 313     |
| apr.83 | 143   | 321     | 146     | 311     |
| mai.83 | 101   | 144     | 63      | 141     |
| jun.83 | 36  | 70      | 96      | 176     |
| jul.83 | 7   | 31      | 93      | 127     |
| aug.83 | 4   | 25      | 76      | 122     |
| sep.83 | 5   | 25      | 82      | 104     |
| okt.83 | 22  | 26      | 115     | 171     |
| nov.83 | 87  | 27      | 138     | 223     |
| des.83 | 45  | 28      | 184     | 264     |

|        | Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |
|--------|---|---------|---------|---------|
|        | EIE1535                                       | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.84 | 22  | 31      | 141     | 185     |
| feb.84 | 29  | 31      | 206     | 296     |
| mar.84 | 92  | 104     | 190     | 306     |
| apr.84 | 135   | 224     | 255     | 454     |
| mai.84 | 92  | 130     | 197     | 370     |
| jun.84 | 41  | 127     | 113     | 206     |
| jul.84 | 12  | 18      | 87      | 120     |
| aug.84 | 8   | 11      | 101     | 147     |
| sep.84 | 6   | 11      | 106     | 144     |
| okt.84 | 6   | 20      | 113     | 145     |
| nov.84 | 8   | 105     | 129     | 158     |
| des.84 | 8   | 92      | 142     | 167     |
| jan.85 | 10  | 51      | 121     | 160     |
| feb.85 | 21  | 63      | 85      | 132     |
| mar.85 | 80  | 134     | 130     | 203     |
| apr.85 | 221   | 199     | 173     | 272     |
| mai.85 | 76  | 171     | 115     | 187     |
| jun.85 | 20  | 65      | 100     | 143     |
| jul.85 | 6   | 23      | 83      | 99      |
| aug.85 | 4   | 17      | 103     | 106     |
| sep.85 | 3   | 12      | 176     | 184     |
| okt.85 | 12  | 14      | 152     | 168     |
| nov.85 | 17  | 19      | 169     | 205     |
| des.85 | 16  | 20      | 162     | 198     |
| jan.86 | 22  | 24      | 153     | 211     |
| feb.86 | 43  | 45      | 115     | 180     |
| mar.86 | 81  | 109     | 155     | 224     |
| apr.86 | 75  | 92      | 152     | 192     |
| mai.86 | 112   | 92      | 91      | 126     |
| jun.86 | 74  | 53      | 98      | 155     |
| jul.86 | 13  | 19      | 93      | 101     |
| aug.86 | 7   | 13      | 98      | 101     |
| sep.86 | 6   | 10      | 92      | 105     |
| okt.86 | 8   | 21      | 95      | 114     |
| nov.86 | 12  | 40      | 100     | 112     |
| des.86 | 11  | 38      | 100     | 119     |

Vannføringsdata fra og med 1987 til og med 1989 brukes ikke

### VEDLEGG 3: VANNFØRINGSDATA

| Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|
|   | EIE1535 | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.90  |         | 53      |         |         |
| feb.90  |         | 49      |         |         |
| mar.90  |         | 200     |         |         |
| apr.90  |         | 105     |         |         |
| mai.90  |         | 37      |         |         |
| jun.90  |         | 26      |         |         |
| jul.90  |         | 11      |         |         |
| aug.90  |         | 9       |         |         |
| sep.90  |         | 11      |         |         |
| okt.90  |         | 17      |         |         |
| nov.90  |         | 30      |         |         |
| des.90  |         | 95      |         |         |
| jan.91  |         | 58      |         |         |
| feb.91  |         | 50      |         |         |
| mar.91  |         | 100     |         |         |
| apr.91  |         | 177     |         |         |
| mai.91  |         | 214     |         |         |
| jun.91  |         | 64      |         |         |
| jul.91  |         | 32      |         |         |
| aug.91  |         | 18      |         |         |
| sep.91  |         | 17      |         |         |
| okt.91  |         | 21      |         |         |
| nov.91  |         | 28      |         |         |
| des.91  |         | 31      |         |         |
| jan.92  |         | 26      |         |         |
| feb.92  |         | 27      |         |         |
| mar.92  |         | 131     |         |         |
| apr.92  |         | 190     |         |         |
| mai.92  |         | 119     |         |         |
| jun.92  |         | 54      |         |         |
| jul.92  |         | 19      |         |         |
| aug.92  |         | 11      |         |         |
| sep.92  |         | 11      |         |         |
| okt.92  |         | 16      |         |         |
| nov.92  |         | 28      |         |         |
| des.92  |         | 28      |         |         |

| Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|
|   | EIE1535 | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.93  | 21      | 24      | 130     |         |
| feb.93  | 25      | 25      | 126     |         |
| mar.93  | 87      | 101     | 217     |         |
| apr.93  | 306     | 267     | 214     |         |
| mai.93  | 174     | 113     | 310     |         |
| jun.93  | 53      | 68      | 165     |         |
| jul.93  | 13      | 29      | 132     |         |
| aug.93  | 7       | 15      | 141     |         |
| sep.93  | 7       | 14      | 175     |         |
| okt.93  | 7       | 20      | 194     |         |
| nov.93  | 9       | 34      | 95      |         |
| des.93  | 11      | 47      | 87      |         |
| jan.94  | 14      | 47      | 99      |         |
| feb.94  | 13      | 47      | 118     |         |
| mar.94  | 56      | 115     | 135     |         |
| apr.94  | 59      | 475     | 73      |         |
| mai.94  | 34      | 299     | 72      |         |
| jun.94  | 8       | 137     | 55      |         |
| jul.94  | 5       | 47      | 60      |         |
| aug.94  | 3       | 27      | 67      |         |
| sep.94  | 3       | 22      | 68      |         |
| okt.94  | 4       | 24      | 61      |         |
| nov.94  | 10      | 28      | 76      |         |
| des.94  | 8       | 32      | 89      |         |
| jan.95  | 24      | 42      | 86      |         |
| feb.95  | 22      | 39      | 76      |         |
| mar.95  | 89      | 101     | 92      |         |
| apr.95  | 147     | 110     | 123     |         |
| mai.95  | 101     | 58      | 80      |         |
| jun.95  | 34      | 19      | 78      |         |
| jul.95  | 13      | 10      | 75      |         |
| aug.95  | 5       | 7       | 71      |         |
| sep.95  | 5       | 7       | 71      |         |
| okt.95  | 8       | 11      | 50      |         |
| nov.95  | 29      | 20      | 79      |         |
| des.95  | 16      | 25      | 123     |         |

### VEDLEGG 3: VANNFØRINGSDATA

| Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|
|   | EIE1535 | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.96  | 18      | 50      | 123     |         |
| feb.96  | 20      | 46      | 100     |         |
| mar.96  | 70      | 130     | 170     |         |
| apr.96  | 199     | 203     | 172     |         |
| mai.96  | 124     | 153     | 111     |         |
| jun.96  | 29      | 59      | 87      |         |
| jul.96  | 10      | 28      | 62      |         |
| aug.96  | 7       | 14      | 75      |         |
| sep.96  | 10      | 13      | 97      |         |
| okt.96  | 16      | 20      | 81      |         |
| nov.96  | 15      | 43      | 111     |         |
| des.96  | 24      | 35      | 115     |         |
| jan.97  | 29      | 39      | 113     |         |
| feb.97  | 20      | 42      | 115     |         |
| mar.97  | 24      | 109     | 126     |         |
| apr.97  | 116     | 304     | 176     |         |
| mai.97  | 77      | 196     | 114     |         |
| jun.97  | 33      | 60      | 78      |         |
| jul.97  | 10      | 23      | 55      |         |
| aug.97  | 5       | 17      | 52      |         |
| sep.97  | 5       | 21      | 71      |         |
| okt.97  | 16      | 28      | 82      |         |
| nov.97  | 15      | 32      | 119     |         |
| des.97  | 23      | 35      | 165     |         |
| jan.98  | 14      | 49      | 127     |         |
| feb.98  | 23      | 38      | 153     |         |
| mar.98  | 94      | 44      | 134     |         |
| apr.98  | 215     | 138     | 143     |         |
| mai.98  | 179     | 100     | 226     |         |
| jun.98  | 74      | 51      | 266     |         |
| jul.98  | 19      | 18      | 163     |         |
| aug.98  | 9       | 12      | 154     |         |
| sep.98  | 7       | 10      | 139     |         |
| okt.98  | 9       | 27      | 92      |         |
| nov.98  | 12      | 32      | 115     |         |
| des.98  | 37      | 38      | 149     |         |

| Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|
|   | EIE1535 | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.99  | 21      | 33      | 131     |         |
| feb.99  | 23      | 44      | 189     |         |
| mar.99  | 45      | 152     | 219     |         |
| apr.99  | 116     | 326     | 189     |         |
| mai.99  | 64      | 316     | 97      |         |
| jun.99  | 28      | 144     | 85      |         |
| jul.99  | 11      | 37      | 77      |         |
| aug.99  | 4       | 22      | 94      |         |
| sep.99  | 4       | 19      | 110     |         |
| okt.99  | 6       | 24      | 105     |         |
| nov.99  | 7       | 31      | 106     |         |
| des.99  | 9       | 77      | 123     |         |
| jan.00  | 9       | 51      | 148     |         |
| feb.00  | 11      | 55      | 162     |         |
| mar.00  | 34      | 94      | 131     |         |
| apr.00  | 235     | 190     | 203     |         |
| mai.00  | 116     | 105     | 168     |         |
| jun.00  | 34      | 61      | 122     |         |
| jul.00  | 9       | 26      | 98      |         |
| aug.00  | 5       | 16      | 101     |         |
| sep.00  | 5       | 16      | 89      |         |
| okt.00  | 7       | 20      | 86      |         |
| nov.00  | 8       | 22      | 88      |         |
| des.00  | 7       | 23      | 93      |         |
| jan.01  | 7       |         | 82      |         |
| feb.01  | 7       |         | 91      |         |
| mar.01  | 24      |         | 68      |         |
| apr.01  | 40      |         | 34      |         |
| mai.01  | 50      |         | 37      |         |
| jun.01  | 13      |         | 22      |         |
| jul.01  | 5       |         | 20      |         |
| aug.01  | 3       |         | 17      |         |
| sep.01  | 3       |         | 35      |         |
| okt.01  | 3       |         | 34      |         |
| nov.01  | 4       |         | 32      |         |
| des.01  | 8       |         | 87      |         |

### VEDLEGG 3: VANNFØRINGSDATA

| Vannføring (m <sup>3</sup> /s) i målestasjon: |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|
|   | EIE1535 | EIE1501 | EIE1536 | EIE1533 |
| jan.02  | 11      |         | 91      |         |
| feb.02  | 17      |         | 85      |         |
| mar.02  | 78      |         | 87      |         |
| apr.02  | 107     |         | 138     |         |
| mai.02  | 52      |         | 48      |         |
| jun.02  | 20      |         | 44      |         |
| jul.02  | 8       |         | 58      |         |
| aug.02  | 3       |         | 47      |         |
| sep.02  | 5       |         | 64      |         |
| okt.02  | 5       |         | 55      |         |
| nov.02  | 7       |         | 59      |         |
| des.02  | 5       |         | 91      |         |
| jan.03  | 11      |         | 73      |         |
| feb.03  | 12      |         | 82      |         |
| mar.03  | 21      |         | 64      |         |
| apr.03  | 135     |         | 64      |         |
| mai.03  | 58      |         | 31      |         |
| jun.03  | 20      |         | 38      |         |
| jul.03  | 6       |         | 38      |         |
| aug.03  | 4       |         | 40      |         |
| sep.03  | 4       |         | 48      |         |
| okt.03  | 5       |         | 40      |         |
| nov.03  | 10      |         | 45      |         |
| des.03  | 14      |         | 63      |         |

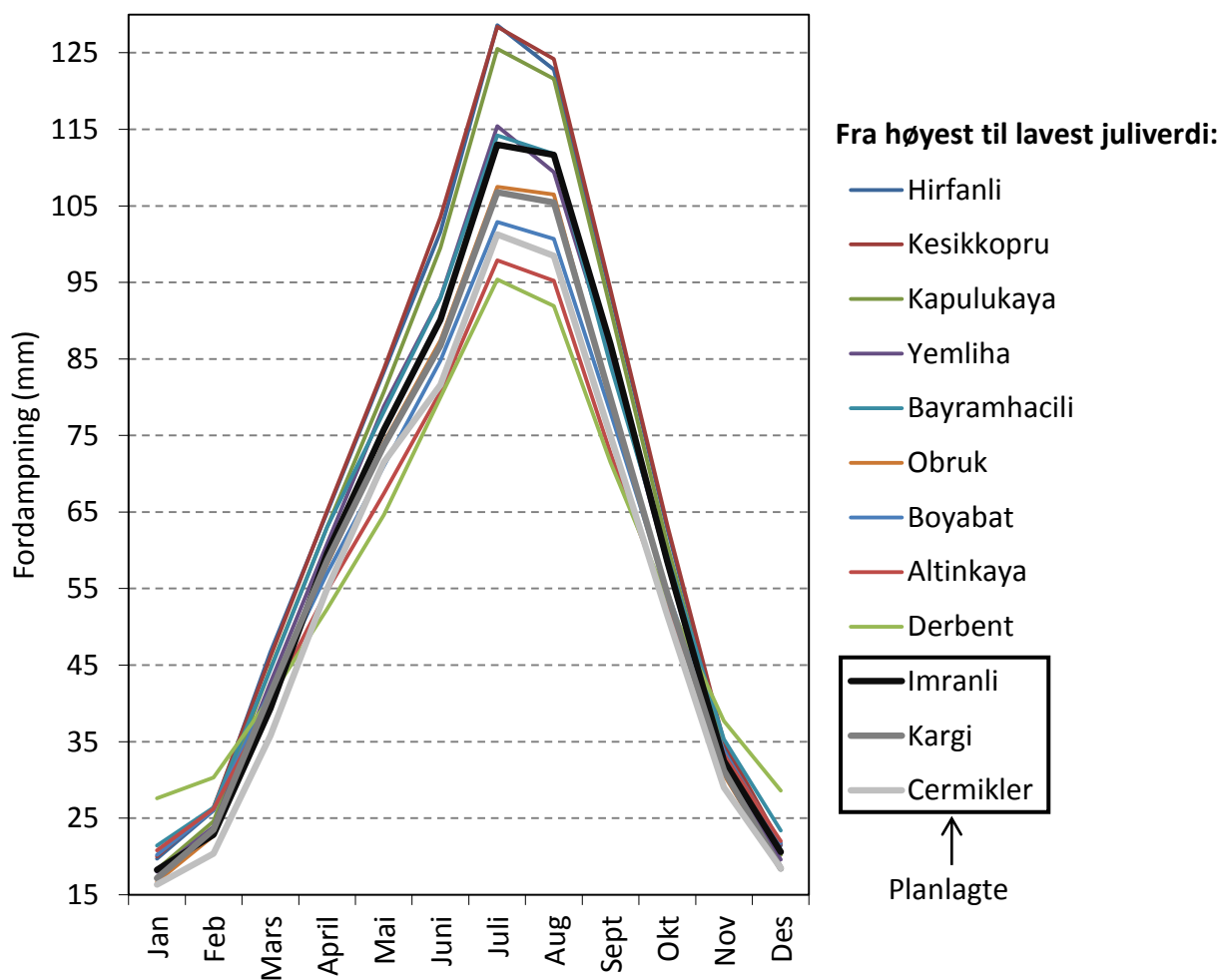
Vannføringsdata fra og med 2003 til og med 2012 brukes ikke

## VEDLEGG 4: FORDAMPNING FRA MAGASINER

| Magasin:     | Beregnet månedlig fordampning ( $E_{mnd}$ ) fra magasin (mm): |     |      |       |     |      |      |     |      |     |     |     | Sum        | $ET_0$<br>(FAO) |
|--------------|---|-----|------|-------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|------------|-----------------|
|              | Jan   | Feb | Mars | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sept | Okt | Nov | Des |            |                 |
| Hirfanli     | 20  | 26  | 47   | 65    | 83  | 102  | 129  | 123 | 94   | 63  | 35  | 21  | <b>806</b> | 1084            |
| Kesikkopru   | 20  | 26  | 46   | 65    | 84  | 104  | 128  | 124 | 94   | 63  | 35  | 22  | <b>811</b> | 1101            |
| Kapulukaya   | 18  | 25  | 45   | 63    | 81  | 100  | 126  | 122 | 92   | 61  | 33  | 20  | <b>784</b> | 1055            |
| Yemliha      | 18  | 24  | 43   | 61    | 79  | 93   | 115  | 109 | 86   | 58  | 32  | 20  | <b>737</b> | 1011            |
| Bayramhacili | 21  | 26  | 44   | 63    | 78  | 93   | 114  | 112 | 84   | 59  | 35  | 23  | <b>754</b> | 1031            |
| Obruk        | 17  | 23  | 41   | 58    | 74  | 87   | 108  | 107 | 79   | 54  | 31  | 18  | <b>697</b> | 996             |
| Boyabat      | 20  | 26  | 42   | 57    | 71  | 85   | 103  | 101 | 78   | 55  | 34  | 22  | <b>692</b> | 981             |
| Altinkaya    | 21  | 26  | 40   | 55    | 67  | 81   | 98   | 95  | 73   | 53  | 33  | 22  | <b>664</b> | 954             |
| Derbent      | 28  | 30  | 41   | 52    | 65  | 80   | 95   | 92  | 72   | 54  | 38  | 29  | <b>674</b> | 951             |

*Planlagte:*

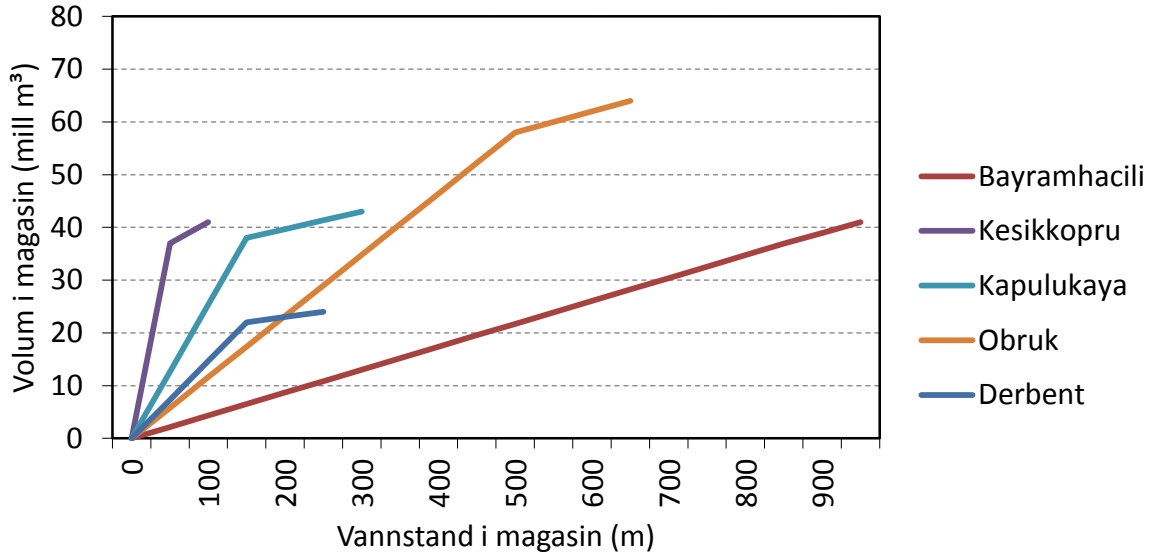
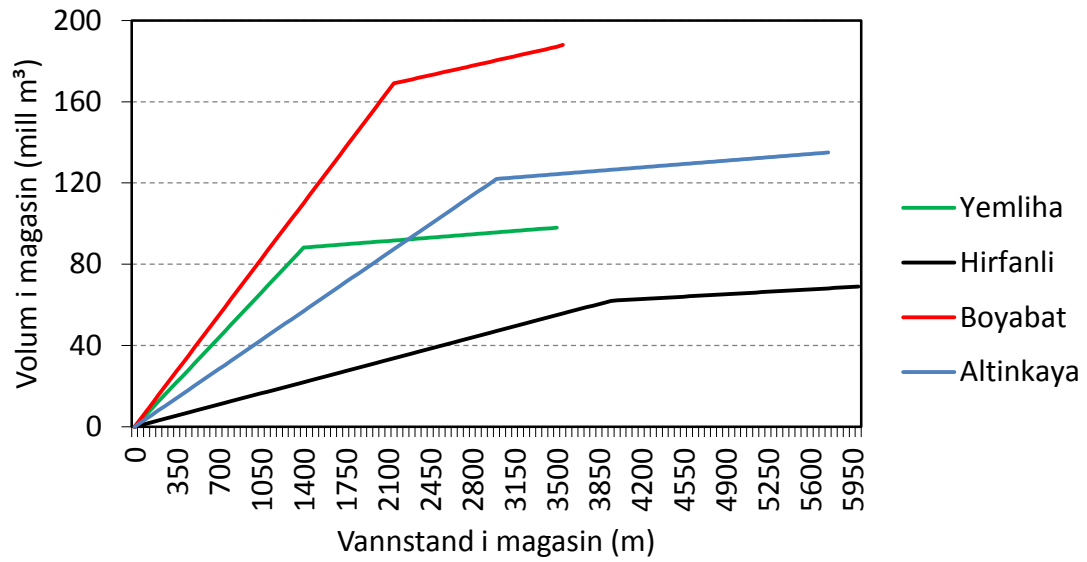
|           |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |    |    |            |
|-----------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|------------|
| Imranli   | 18 | 23 | 39 | 60 | 76 | 90 | 113 | 112 | 87 | 59 | 32 | 21 | <b>729</b> |
| Kargi     | 17 | 24 | 41 | 59 | 74 | 87 | 107 | 105 | 80 | 54 | 31 | 18 | <b>697</b> |
| Cermikler | 16 | 20 | 36 | 55 | 72 | 82 | 101 | 98  | 75 | 52 | 29 | 18 | <b>654</b> |







## VEDLEGG 5: VOLUM- HØYDEKURVER



## VEDLEGG 5: VOLUM- HØYDEKURVER

| Volum | Yemiha | Bayramhacili | Hirfanli | Kesikkopru | Kapulukaya | Obruk | Boyabat | Altinkaya | Derbent | Volum | Yemiha | Bayramhacili | Hirfanli | Kesikkopru | Kapulukaya | Obruk | Boyabat | Altinkaya | Derbent |
|-------|--------|--------------|----------|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|-------|--------|--------------|----------|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|
| 0     | 0      | 0            | 0        | 0          | 0          | 0     | 0       | 0         | 0       | 1850  | 90     |              | 29       |            |            |       | 145     | 75        |         |
| 50    | 3      | 2            | 1        | 37         | 13         | 6     | 4       | 2         | 7       | 1900  | 91     |              | 30       |            |            |       | 149     | 77        |         |
| 100   | 6      | 4            | 2        | 41         | 25         | 12    | 8       | 4         | 15      | 1950  | 91     |              | 31       |            |            |       | 153     | 79        |         |
| 150   | 9      | 7            | 2        |            | 38         | 17    | 12      | 6         | 22      | 2000  | 91     |              | 31       |            |            |       | 157     | 81        |         |
| 200   | 13     | 9            | 3        |            | 40         | 23    | 16      | 8         | 23      | 2050  | 91     |              | 32       |            |            |       | 161     | 83        |         |
| 250   | 16     | 11           | 4        |            | 41         | 29    | 20      | 10        | 24      | 2100  | 91     |              | 33       |            |            |       | 165     | 85        |         |
| 300   | 19     | 13           | 5        |            | 42         | 35    | 24      | 12        |         | 2150  | 92     |              | 34       |            |            |       | 169     | 87        |         |
| 350   | 22     | 15           | 5        |            |            | 41    | 28      | 14        |         | 2200  | 92     |              | 35       |            |            |       | 170     | 89        |         |
| 400   | 25     | 17           | 6        |            |            | 46    | 31      | 16        |         | 2250  | 92     |              | 35       |            |            |       | 170     | 91        |         |
| 450   | 28     | 20           | 7        |            |            | 52    | 35      | 18        |         | 2300  | 92     |              | 36       |            |            |       | 171     | 94        |         |
| 500   | 31     | 22           | 8        |            |            | 58    | 39      | 20        |         | 2350  | 93     |              | 37       |            |            |       | 172     | 96        |         |
| 550   | 35     | 24           | 9        |            |            | 60    | 43      | 22        |         | 2400  | 93     |              | 38       |            |            |       | 172     | 98        |         |
| 600   | 38     | 26           | 9        |            |            | 62    | 47      | 24        |         | 2450  | 93     |              | 38       |            |            |       | 173     | 100       |         |
| 650   | 41     | 28           | 10       |            |            | 64    | 51      | 26        |         | 2500  | 93     |              | 39       |            |            |       | 174     | 102       |         |
| 700   | 44     | 30           | 11       |            |            |       | 55      | 28        |         | 2550  | 94     |              | 40       |            |            |       | 174     | 104       |         |
| 750   | 47     | 33           | 12       |            |            |       | 59      | 31        |         | 2600  | 94     |              | 41       |            |            |       | 175     | 106       |         |
| 800   | 50     | 35           | 13       |            |            |       | 63      | 33        |         | 2650  | 94     |              | 42       |            |            |       | 176     | 108       |         |
| 850   | 53     | 37           | 13       |            |            |       | 67      | 35        |         | 2700  | 94     |              | 42       |            |            |       | 176     | 110       |         |
| 900   | 57     | 39           | 14       |            |            |       | 71      | 37        |         | 2750  | 95     |              | 43       |            |            |       | 177     | 112       |         |
| 950   | 60     | 41           | 15       |            |            |       | 75      | 39        |         | 2800  | 95     |              | 44       |            |            |       | 178     | 114       |         |
| 1000  | 63     |              | 16       |            |            |       | 79      | 41        |         | 2850  | 95     |              | 45       |            |            |       | 178     | 116       |         |
| 1050  | 66     |              | 16       |            |            |       | 83      | 43        |         | 2900  | 95     |              | 46       |            |            |       | 179     | 118       |         |
| 1100  | 69     |              | 17       |            |            |       | 86      | 45        |         | 2950  | 95     |              | 46       |            |            |       | 180     | 120       |         |
| 1150  | 72     |              | 18       |            |            |       | 90      | 47        |         | 3000  | 96     |              | 47       |            |            |       | 180     | 122       |         |
| 1200  | 75     |              | 19       |            |            |       | 94      | 49        |         | 3050  | 96     |              | 48       |            |            |       | 181     | 122       |         |
| 1250  | 79     |              | 20       |            |            |       | 98      | 51        |         | 3100  | 96     |              | 49       |            |            |       | 182     | 122       |         |
| 1300  | 82     |              | 20       |            |            |       | 102     | 53        |         | 3150  | 96     |              | 49       |            |            |       | 182     | 123       |         |
| 1350  | 85     |              | 21       |            |            |       | 106     | 55        |         | 3200  | 97     |              | 50       |            |            |       | 183     | 123       |         |
| 1400  | 88     |              | 22       |            |            |       | 110     | 57        |         | 3250  | 97     |              | 51       |            |            |       | 184     | 123       |         |
| 1450  | 88     |              | 23       |            |            |       | 114     | 59        |         | 3300  | 97     |              | 52       |            |            |       | 184     | 123       |         |
| 1500  | 89     |              | 24       |            |            |       | 118     | 61        |         | 3350  | 97     |              | 53       |            |            |       | 185     | 124       |         |
| 1550  | 89     |              | 24       |            |            |       | 122     | 63        |         | 3400  | 98     |              | 53       |            |            |       | 186     | 124       |         |
| 1600  | 89     |              | 25       |            |            |       | 126     | 65        |         | 3450  | 98     |              | 54       |            |            |       | 186     | 124       |         |
| 1650  | 89     |              | 26       |            |            |       | 130     | 67        |         | 3500  | 98     | 98           | 55       |            |            |       | 187     | 124       |         |
| 1700  | 90     |              | 27       |            |            |       | 134     | 69        |         | 3550  |        |              | 56       |            |            |       | 188     | 125       |         |
| 1750  | 90     |              | 27       |            |            |       | 138     | 71        |         | 3600  |        |              | 57       |            |            |       |         | 125       |         |
| 1800  | 90     |              | 28       |            |            |       | 141     | 73        |         | 3650  |        |              | 57       |            |            |       |         | 125       |         |

Mellom de kjente punktene (rød skrift) er det antatt lineær sammenheng

## VEDLEGG 5: VOLUM- HØYDEKURVER

| Volum | Yemliha | Bayramhacili | Hirfanli | Kesikkopru | Kapulukaya | Obruk | Boyabat | Altinkaya | Derbent |
|-------|---------|--------------|----------|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|
| 3700  |         |              | 58       |            |            |       |         | 125       |         |
| 3750  |         |              | 59       |            |            |       |         | 126       |         |
| 3800  |         |              | 60       |            |            |       |         | 126       |         |
| 3850  |         |              | 60       |            |            |       |         | 126       |         |
| 3900  |         |              | 61       |            |            |       |         | 126       |         |
| 3950  |         |              | 62       |            |            |       |         | 126       |         |
| 4000  |         |              | 62       |            |            |       |         | 127       |         |
| 4050  |         |              | 62       |            |            |       |         | 127       |         |
| 4100  |         |              | 63       |            |            |       |         | 127       |         |
| 4150  |         |              | 63       |            |            |       |         | 127       |         |
| 4200  |         |              | 63       |            |            |       |         | 128       |         |
| 4250  |         |              | 63       |            |            |       |         | 128       |         |
| 4300  |         |              | 63       |            |            |       |         | 128       |         |
| 4350  |         |              | 63       |            |            |       |         | 128       |         |
| 4400  |         |              | 64       |            |            |       |         | 129       |         |
| 4450  |         |              | 64       |            |            |       |         | 129       |         |
| 4500  |         |              | 64       |            |            |       |         | 129       |         |
| 4550  |         |              | 64       |            |            |       |         | 129       |         |
| 4600  |         |              | 64       |            |            |       |         | 130       |         |
| 4650  |         |              | 64       |            |            |       |         | 130       |         |
| 4700  |         |              | 65       |            |            |       |         | 130       |         |
| 4750  |         |              | 65       |            |            |       |         | 130       |         |
| 4800  |         |              | 65       |            |            |       |         | 131       |         |
| 4850  |         |              | 65       |            |            |       |         | 131       |         |
| 4900  |         |              | 65       |            |            |       |         | 131       |         |
| 4950  |         |              | 65       |            |            |       |         | 131       |         |
| 5000  |         |              | 66       |            |            |       |         | 131       |         |
| 5050  |         |              | 66       |            |            |       |         | 132       |         |
| 5100  |         |              | 66       |            |            |       |         | 132       |         |
| 5150  |         |              | 66       |            |            |       |         | 132       |         |
| 5200  |         |              | 66       |            |            |       |         | 132       |         |
| 5250  |         |              | 66       |            |            |       |         | 133       |         |
| 5300  |         |              | 67       |            |            |       |         | 133       |         |
| 5350  |         |              | 67       |            |            |       |         | 133       |         |
| 5400  |         |              | 67       |            |            |       |         | 133       |         |
| 5450  |         |              | 67       |            |            |       |         | 134       |         |
| 5500  |         |              | 67       |            |            |       |         | 134       |         |

| Volum | Yemliha | Bayramhacili | Hirfanli | Kesikkopru | Kapulukaya | Obruk | Boyabat | Altinkaya | Derbent |
|-------|---------|--------------|----------|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|
| 5550  |         |              | 67       |            |            |       |         | 134       |         |
| 5600  |         |              | 68       |            |            |       |         | 134       |         |
| 5650  |         |              | 68       |            |            |       |         | 135       |         |
| 5700  |         |              | 68       |            |            |       |         | 135       |         |
| 5750  |         |              | 68       |            |            |       |         | 135       |         |
| 5800  |         |              | 68       |            |            |       |         | 135       |         |
| 5850  |         |              | 68       |            |            |       |         | 135       |         |
| 5900  |         |              | 69       |            |            |       |         | 135       |         |
| 5950  |         |              | 69       |            |            |       |         | 135       |         |
| 6000  |         |              | 69       |            |            |       |         | 135       |         |



## VEDLEGG 6: KALIBRERINGSPLAN

| Dammer som allerede er i bruk i 1981                                  | Dammer som ferdigstilles i løpet av 1981 - 1986 | Dammer som aktiveres etter 1986   |
|---|---|---|
| FØRSTE DELFELT (EIE1535): 2 dammer                                    |   |   |
| Ingen!  | Ingen!  | Karacalar, 2005<br>Ozen-Pusat, 2007   |
| ANDRE DELFELT (EIE1501): 7 dammer                                     |   |   |
| Sarimsakli<br>Maksutlu  | Yapialtin, 1986                                 | Gazibey, 1992<br>Yemliha irrig. , 2005<br>Yemliha Res<br>Sarioglan, 2007  |
| TREDJE DELFELT (EIE1536): 24 dammer                                   |   |   |
| Damsa<br>Hirfanli Res<br>Kesikkopru Res<br>Akkoy<br>Cogun<br>Tatlarin | Kultepe, 1983<br>Gokceoren, 1984                | Kovali, 1988<br>Uzunlu, 1988<br>Kapulukaya Res, 1989<br>Gumushacikoy, 1989<br>Yahyasaray, 1991<br>Timarli, 1992<br>Yalintas, 1994<br>Koprukoy, 1998<br>Kuzayca, 2001<br>Karaova, 2001<br>Ayhanlar, 2003<br>Siddikli, 2004<br>Avanos-Ozkonak, 2006<br>Obruk Res, 2007<br>Bayramhacili Res, 2011<br>Bayramhacili irrig., 2011 |
| FJERDE DELFELT (EIE1533): 9   |   |   |
| Karacomak   |   | Germecepe, 1987<br>Altinkaya Res, 1988<br>Guldurcek, 1988<br>Derbent, 1990<br>Vezirkopru, 2001<br>Karadere, 2007<br>Boyabat Res., 2012<br>Boyabat irrig., 2012<br>Bafra, 2012   |
|   |   | <b>Sum: 31</b>  |