

Bepaling van grondwaterpotensiaal deur gebruik te maak van Geografiese Inligtingstelsels en afstandwaarnemingstegnieke in Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit, Noordwesprovinsie, Suid-Afrika

MO Ndou,¹ JM Ndambuki,¹ JT Magidi²

¹Departement Siviele Ingenieurswese, Tshwane-Universiteit van Tegnologie, Suid-Afrika

²Departement Geomatika, Tshwane-Universiteit van Tegnologie, Suid-Afrika

Korresponderende outeur: MO Ndou **E-pos:** oscarmunyadziwa@gmail.com

Die volhoubare voorsiening van water in voldoende hoeveelhede is fundamenteel vir die ekonomiese groei van enige land. In Suid-Afrika vereis die bedryf van al die groot ekonomiese sektore beduidende hoeveelhede water. Suid-Afrika ervaar egter steeds watertekorte, wat vererger word deur 'n lae gemiddelde jaarlikse neerslag wat laer as die wêreld se jaarlikse gemiddelde is. Grondwater bied 'n geleentheid om wateruitdagings te verlig, maar die volhoubaarheid daarvan word belemmer deur ontoereikende grondwaterhulpbronbeplanning en -bestuur. In hierdie studie is Geografiese Inligtingstelsels en afstandwaarnemingstegnieke gebruik om grondwaterpotensiaalsones in die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit in Suid-Afrika af te baken. Sewe temas van afstandswaargeneemde parameters wat die beskikbaarheid van grondwater beïnvloed, is ontwikkel en gewigte is daaraan toegewys deur gebruik te maak van die analitiese hiërargieproses (AHP) voordat oorlegging daarvan in ArcGIS 10.3.1-sagteware gedoen is om sones van grondwaterpotensiaal te skep. Die finale grondwaterpotensiaalkaart is geproduseer deur gebruik te maak van die geweegde oorleggingsontleding. Vyf grondwaterpotensiaalsones is geproduseer, naamlik baie laag, laag, matig, hoog en baie hoog. Die oppervlakte wat deur hierdie sones gedek is, beslaan onderskeidelik 1 291,6 km², 1 228 km², 1 081 km², 853,04 km² en 1 235,05 km². Die grondwaterpotensiaalkaart wat geproduseer is, is geverifieer deur gebruik te maak van boorgatvloeiempo's wat in die veld bepaal is. Die voorspellingsakkuraatheid van die kaart was ongeveer 70%. Die resultate kan vir verdere grondwaterreksplorasië in die studiegebied gebruik word en kan 'n basis vorm vir kostedoeltreffende grondwaterhulpbronbeplanning en -bestuur. Die studie moet op 'n breër skaal beproef word om waterhulpbronbeplanners te help om volhoubare grondwaterstrategieë vir semi-ariëde streke te ontwikkel.

Slutelwoorde: Grondwater, GIS, Afstandswaarneming, AHP

Assessment of groundwater potential using Geographic Information Systems and remote sensing techniques in Moses Kotane Local Municipality, Northwest Province, South Africa: The sustainable supply of water in adequate quantities is fundamental for the economic growth of any country. In South Africa, the operation of all the major economic sectors requires significant quantities of water. However, South Africa continues to experience water shortages, exacerbated by low Mean Annual Precipitation (MAP) that is below the world's annual average. Groundwater offers an opportunity to mitigate the water challenges, yet its sustainability is hampered by inadequate groundwater resource planning and management. In this study, Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques are used to delineate groundwater potential zones in Moses Kotane Local Municipality, South Africa. Seven themes of remotely sensed parameters that influence the availability of groundwater were developed and assigned weights using the Analytical Hierarchy Process (AHP) before being overlaid in ArcGIS 10.3.1 software to create zones of groundwater potentiality. The final groundwater potential map was produced using the weighted overlay analysis. Five groundwater potential zones were produced, that is, very low, low, moderate, high, and very high. The areas covered by these zones are 1 291.6 km², 1 228 km², 1 081 km², 853.04 km², and 1 235.05 km², respectively. The groundwater potential map which was produced was verified using field determined borehole yields, and the prediction accuracy of the map was approximately 70%. The results can be used for further groundwater exploration in the study area and can form a basis for cost-effective groundwater resource planning and management. The study should be tried on a broader scale to assist water resource planners to develop sustainable groundwater strategies for semi-arid regions.

Keywords: groundwater, GIS, remote sensing, AHP

Inleiding

Voldoende watervoorsiening is 'n fundamentele deel van die lewensbestaan, armoedeverligting en sosio-ekonomiese ontwikkeling van enige samelewing. Gemeenskappe met volop reënval en voldoende toegang tot waterbronne het toegang tot talle geleenthede om hulle ekonomiese stand te ontwikkel en te verbeter. Lande in ariede en semi-ariëde gebiede ervaar egter voortdurende oppervlakwatertekorte en maak staat op grondwater as hul hoofbron van watervoorsiening. Om grondwater-vloei en -vlakke met sekerheid te bepaal is 'n moeilike saak, wat vererger word deur die heterogeniteit van akwifoorformasies (Ndambuki, 2011). Ryk lande met goeie finansiële hulpbronne monitor grondwater-vloei en -vlakke deur 'n reeks waarnemingsboorgate te gebruik (Shamuyarira, 2017). Suid-Afrika is egter 'n ontwikkelende land met beperkte hulpbronne en vind dit dus moeilik om toereikende moniteringsboorgate oor die land heen te implementeer. Grondwaterhulpbronbeplanning en volhoubare gebruik kan deur kostedoeltreffende konseptuele modellering op beide die nasionale en plaaslike vlak bewerkstellig word. Grondwateruitdagings in streke soos hierdie word vererger deur ontoereikende waterhulpbronbeplanning en -bestuur, wat die gevolg is van beperkte kennis van akwifoorparameters.

Daar is wêreldwyd in die meeste ontwikkelende lande 'n beperkte begrip van grondwater en dit skep risiko's, aangesien dit tot swak bestuur en gebruik van hierdie hulpbron lei. Om die volhoubare bestuur van grondwater te verbeter, is dit noodsaaklik om die wetenskap onderliggend aan die hulpbron te verstaan, asook al die parameters wat tot die bewaring daarvan bydra (Smith, *et al.*, 2016). Vorige studies het aan die lig gebring dat swak grondwaterhulpbronbeplanning en onvoldoende potensiaalbeplanning gelei het tot die probleme van oorbenuiting en akwifooruitputting (Kumar, 2012; Waikar & Nilawar, 2014; Magesh, *et al.*, 2011). 'n Begrip van die faktore wat die voorkoms en hoeveelheid grondwater beïnvloed, is 'n fundamentele basis vir doeltreffende hulpbronbeplanning. Deur doeltreffende grondwaterhulpbronbeplanning kan grondwater billik en volhoubaar geoes word om in die behoeftes van die voortdurend groeiende bevolking te voorsien en ekonomiese groei te bevorder.

Boonop het die groei van rekenaarintelligensie en tegnologiese vooruitgang die gebruik van rekenaarmodelle vir grondwaterbestuur tot gevolg gehad (Rwanga & Ndambuki, 2019). Hierdie modelleringstegnieke word in grondwaterbeplanning gebruik om die voorkoms, hoeveelhede, kwaliteit en omvang van grondwater te voorspel. Die keuse van watter modellerings-tegniek om vir grondwatermodellering te gebruik, is gewoonlik afhanklik van die beskikbaarheid van data, koste, die geologiese opset van die betrokke gebied en 'n verskeidenheid ander faktore (Anastasiadis *et al.*, 2013). Die meeste grondwatermodelleringstegnologieë wat vandag gebruik word, is numeriese en deterministies van aard (Rwanga & Ndambuki, 2019; Konikow, 1996). Sommige van die numeriese modelkodes wat die algemeenste gebruik word, is MIKE SHE, MODHMS, GSFLOW, MODFLOW, HydroGeoSphere en Parflow (Shamuyarira, 2017). Hoewel numeriese modelleringstegnologieë noodsaaklike

hulpmiddels vir grondwaterbestuur is, bestaan daar toeneemende kommer oor die beperkings wat verband hou met gebruik van deterministiese modelle sonder om rekening te hou met onsekerhede wat aan die modelle gekoppel is (Ndambuki, 2011; Zhou & Van Geer, 1992; Konikow, 1996). As gevolg van hierdie beperking van numeriese modelle, het baie navorsers begin oorskakel na stogastiese en waarskynlikheidsbenaderings tot grondwatermodellering om vir die tekortkominge wat verband hou met akwifoorheterogeniteit en onsekerheid grondwaterparameters te vergoed (Rwanga & Ndambuki, 2019; Zhou & Van Geer, 1992; Ndambuki, 2011; Konikow, 1996).

GIS-AW-grondwaterafbakening (grondwaterafbakening deur geografiese inligtingstelsels (GIS) en afstandwaarneming (AW)) skep vertrekpunte vir die integrasie van veelvuldige datastelle, met verskeie aanduidings van grondwaterbeskikbaarheid as hoëvlak-konseptuele afleidings, veral in dataskaars semi-ariëde en ariede streke (Magesh, *et al.*, 2011). Hierdie multikriteriummodelleringstegniek is belangrik om veiliger besluitneming oor grondwaterbestuur moontlik te maak (Solomon, 2003). Hierdie studie stel die integrasie van GIS- en AW-tegnieke voor om sones met hoëvlak-grondwaterpotensiaal af te baken. Dié metode van grondwaterafbakening is goedkoop en veral relevant vir ontwikkelende lande met beperkte finansiële hulpbronne. Boonop kan die tegnologie groot gebiede binne 'n kort tydperk modelleer, met die minimum veldwerk wat nodig is, as eersteorde-hoëvlakbepaling van grondwaterpotensiaal.

In hierdie studie is GIS- en AW-instrumente gebruik om hoëvlak-grondwaterpotensiaalsones in Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit onder die jurisdiksie van die Bojanala Distriksmunisipaliteit in die Noordwesprovinsie van Suid-Afrika af te baken. Die studie was daarop gerig om 'n basis te vorm vir grondwaterhulpbronbeplanning vir die gebied en dus die betrokke belanghebbendes en beleidmakers te help om ingeligte beplanningstrategieë te hê om die waterprobleme in die gebied en in die land in die geheel te verlig.

Beskrywing van die studiegebied

Die studie is uitgevoer in Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit wat in die Bojanala Platinum-distrik van die Noordwesprovinsie van Suid-Afrika geleë is. Die Bojanala Distriksmunisipaliteit maak die noordoostelike deel van die Noordwesprovinsie uit. Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit is een van vyf plaaslike munisipaliteite waaruit die Bojanala Distriksmunisipaliteit bestaan. Die studieterrin is geleë wes van Pilanesberg en lê tussen die breedtegrade 24,7° en 25,5° S en lengtegrade 26,4° en 27,5° O en beslaan 'n oppervlakte van 5 719 km². Figuur 1a is 'n lugfoto wat die uitleg van die studiegebied ten opsigte van die Bojanala-distrik en die Noordwesprovinsie illustreer. Die Departement: Statistiek Suid-Afrika (Stats SA, 2011) het in gepubliseerde sensusdata aangedui dat die bevolking van Moses Kotane 242 554 was, met 'n geraamde bevolkingstoename van 0,22 % per jaar. Die Statistiek Suid-Afrika-verslae oor die 2011-sensus het geraam dat die getal huishoudings in die studiegebied 75 193 is. Die gemiddelde jaarlikse neerslag (GJN) van die gebied wissel tussen 600 en 800 mm per jaar, met hoër reënval oor die Pilanesbergkrater (Figuur 1b).

Geologiese opset van die studiegebied

Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit bestaan geologies uit 'n prominente bedekking van sanderige grond wat hoofsaaklik onderlê word deur gelaagde gesteentes van die Transvaalsisteem wat bestaan uit die Chuniespoortgroep, wat dolomietgesteentes is, en die Pretoriagroep, wat hoofsaaklik uit skalie en kwartsiet bestaan, met 'n hoeveelheid basaltgesteentes wat prominente rante en dagsome deur die studiegebied vorm (Pretorius, *et al.*, 2015). Uit ontleding van die geologie-"shapefile" (naam van lêertipe, dus nie vertaal nie) is daar vasgestel dat die studiegebied uit 'n verskeidenheid stratigrafiese formasies saamgestel is. Die oorheersende formasies in die studiegebied is soos volg:

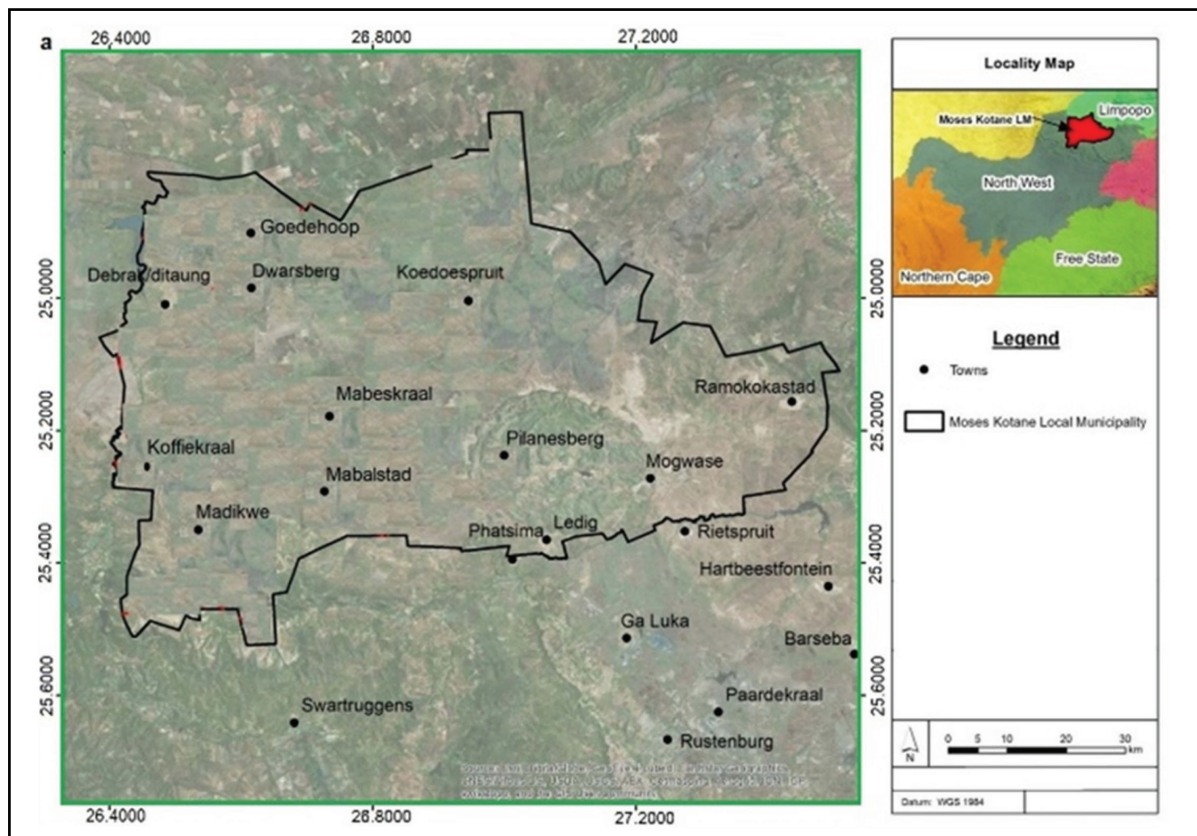
- Die Bosveldkompleks bestaan uit gabbro-, noriet- en granietlitologieë.
- Die Ventersdorpsisteem.
- Die Pretoriagroep.
- Die Rustenburg Gelaagde Suite.
- Die Argeïese Kompleks, en
- Dagsome van die Swazilandsisteem.

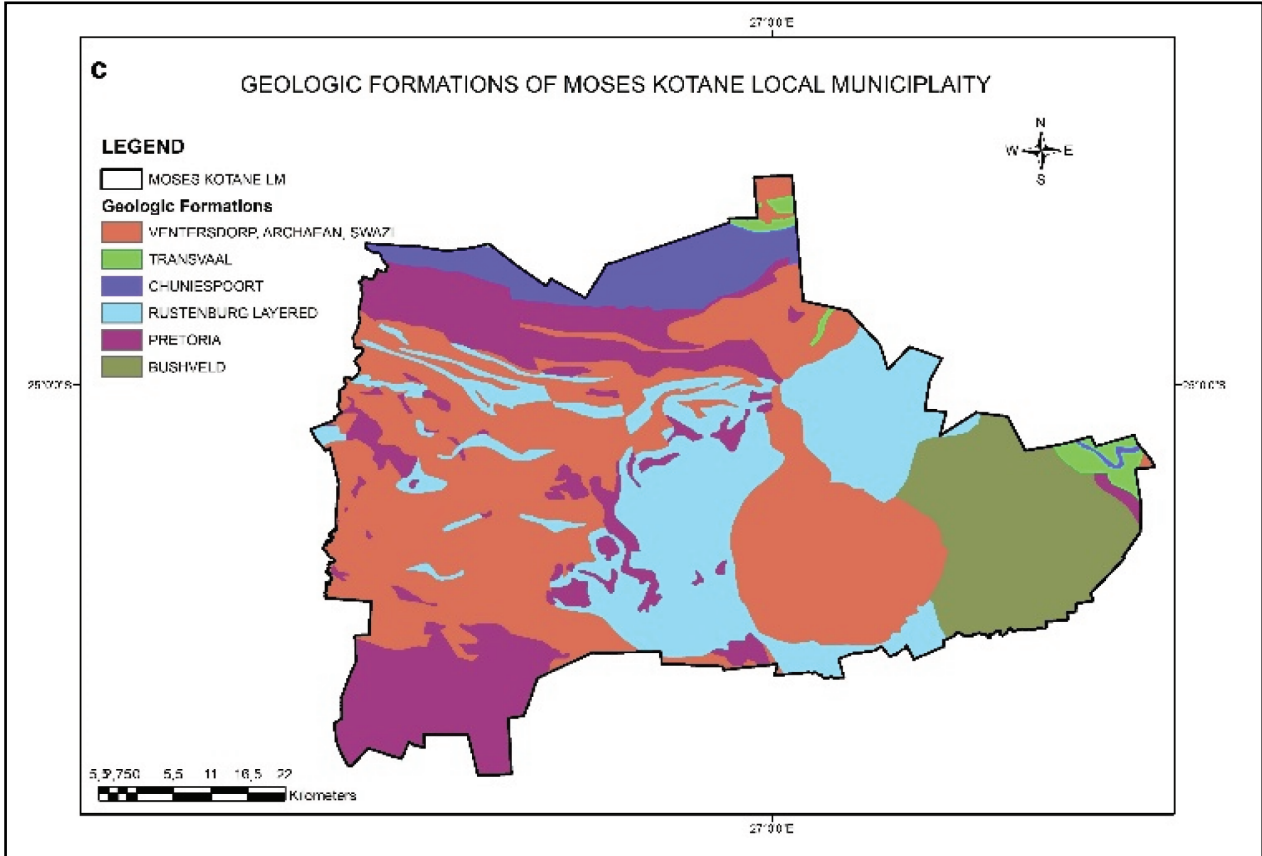
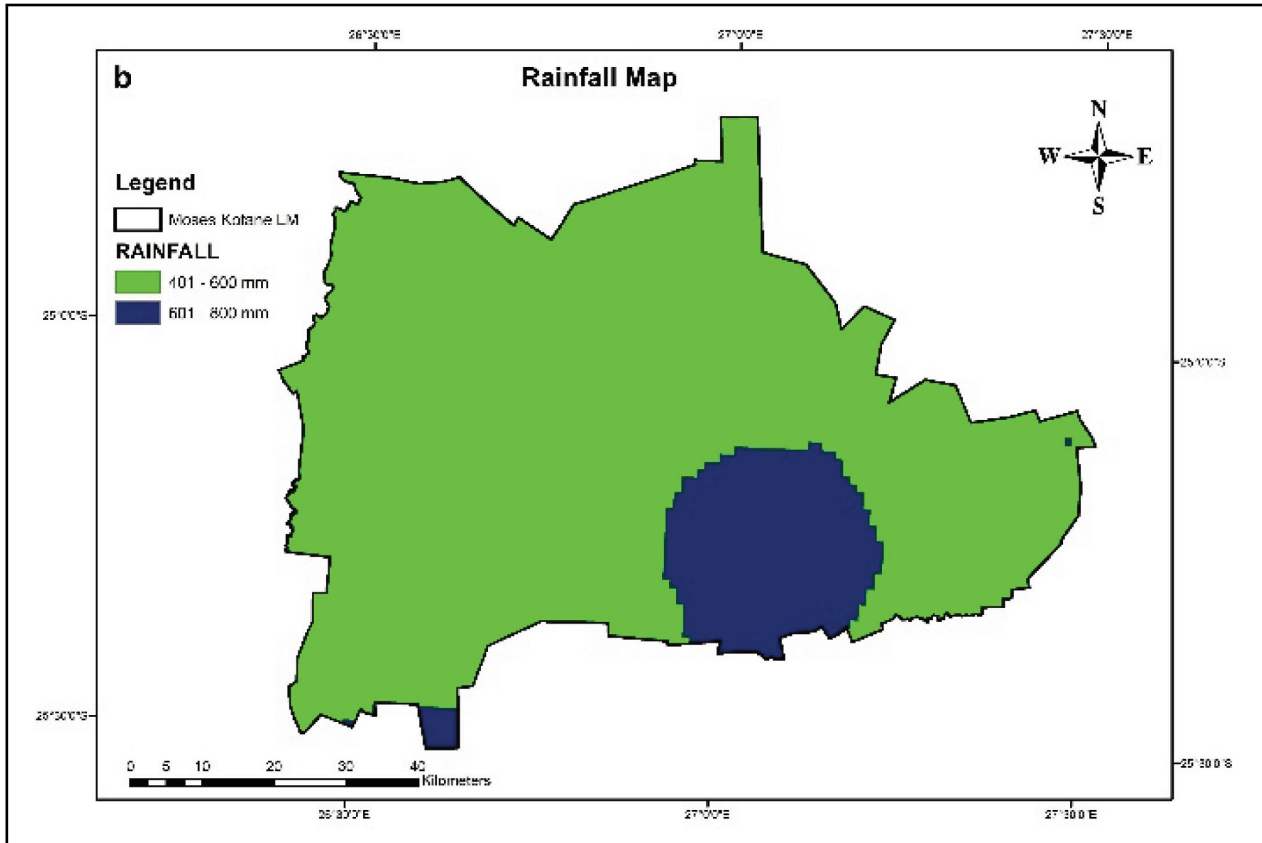
'n Opsomming van die geologiese formasies in die studiegebied word in Figuur 1c getoon. Die Bosveldkompleksgroep maak 674,8 km² (11,79 %) van die studiegebied uit, die Pretoriagroep 1 107,6 km² (19,36%), die Rustenburg Gelaagde Suite 1 249,5 km² (21,84%), die Chuniespoortgroep 329,2 km² (5,75%), die

Transvaalgroep 78,4 km² (1,37 %) en die Ventersdorpsisteem, Argeïese Kompleks en Swazilandsisteem maak saam 2 282,4 km² (39,89%) van die studiegebied uit.

Hidrogeologie

Grondwaterbronne is regdeur die hele Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit beskikbaar, al is die hoeveelhede wat vir onttrekking beskikbaar is van die hidrouliese parameters van die ondergrondse geologie afhanklik (DWAf, 2006). Die mees prominente hidrogeologiese eenhede in die studiegebied is dolomitiese litologieë en alluviale afsettings, wat in die valleivloedvlaktes van groot dreineringsstelsels versamel, wat belangrike grondwaterbronne verteenwoordig (Pretorius, *et al.*, 2015). Watertreftedptes regdeur Moses Kotane wissel van 28 meter onder grondvlak (m.o.g.v.) tot 120 m.o.g.v. terwyl die watervlak van 3,2 m.o.g.v. tot 38 m.o.g.v. (SRK Consulting, 2011) wissel. Die Departement van Waterwese (DWW) (DWAf, 2006) rapporteer dat 'n groot deel van die Chuniespoortgroep se Malmanisubgroep-dolomiet verwagte vloeisifers van meer as 3 l/s het. 'n Hoër grondwaterpotensiaal word in dolomitiese streke verwag as gevolg van 'n goedontwikkelde breuksisteem met holtes, nate en kontaksones wat met dolomitiese akwifere geassosieer word. 'n Oorsig van hidrogeologiese literatuur oor die studiegebied dui daarop dat hoëvlak-grondwaterpotensiaal deur Moses Kotane wissel na gelang van geologiese formasies en wisselende grondwater-heraanvullingstempo's wat deur heterogene fisiese en mensgemaakte kenmerke beïnvloed word.





Figuur 1a) Liggingkaart van die studiegebied, b) Verspreiding van gemiddelde jaarlikse neerslag oor die studiegebied, c) Geologiese formasies van die studiegebied

Metodologie

Generering van tematiese kaart van die studiegebied

Sewe tematiese kaarte van die studiegebied is gegeneer deur gebruik te maak van ArcGIS 10.3.1-sagteware. Die temas is afgelei van afstandwaargeneemde geofisiese data wat hoë heraanvullingstempo's beïnvloed. Die geïdentifiseerde parameters wat in die generering van tematiese kaarte gebruik is, was geomorfologie, geologie, grondtipe, grondgebruik en grondbedekking, reënval, dreineringsdigtheid en helling van die studiegebied. Die generering van die tematiese kaarte is in twee stappe gedoen. Die eerste stap was om die temas en hul kenmerke te bereken en gewigte daaraan toe te ken met behulp van die analitiese hiërargieproses (AHP) (Saaty, 1980), terwyl die tweede stap was om die tematiese kaarte volgens die berekende en herklassifiseerde kenmerkgewigte op die ArcGIS 10.3.1-platform te produseer.

Toekenning van gewigte aan temas met gebruik van die AHP

Die analitiese hiërargieproses (AHP), ontwikkel deur Saaty (1980), is gebruik as die beslissingsmetode om gewigte aan verskillende temas en hul ooreenstemmende kenmerke toe te ken. Die AHP is 'n wiskundige meervoudige beslissingsmetode wat gebruikers in staat stel om relatiewe gewigte te vergelyk en op verskillende kriteria toe te pas (Fashae, *et al.*, 2013). Die AHP is gebruik om vergelykings en voorkeure tussen die verskillende temas te vereenvoudig deur die tegniek van paarsgewyse vergelyking te gebruik. Die tematiese lae en hul onderskeie kenmerke is op 'n paarsgewyse basis vergelyk vir sover dit die belangrikheid daarvan in die beïnvloeding van grondwaterpotensiaal betref. Die AHP is in drie stappe gedoen, soos aanbeveel deur Saaty (1980). Dit het 'n paarsgewyse vergelyking van die temas se belangrikheid in die beïnvloeding van grondwaterpotensiaal, matriksnormalisering van tematiese gewigte en rangordening van die temas behels. Saaty se skaal vir die toewysing van gewigte aan temas is gebruik om temas te vergelyk en gewigte daaraan en aan die kenmerke daarvan toe te wys. Die skaal is gebruik tesame met kundigheid uit vorige navorsing deur Fashae, *et al.* (2013); Kumar (2012) en Machiwal, *et al.* (2010).

Die skaal is gebruik as die basis vir die evaluering en toewysing van gewigte aan die temas. Die temas is in 'n paarsgewyse

matriks gerangskik en in Microsoft Excel 365 teen mekaar geëvalueer. Die kriteriavergelykingsmatriks wat geproduseer is, is genormaliseer deur elke waarde in die kolom deur die som van die kolomwaardes te deel (Vergelyking 1):

$$v_{jk} = \frac{x_{ab}}{\sum_{i=1}^n x_{ab}} \quad (1)$$

waar v die genormaliseerde waarde in die matriks is, j en k ry- en kolomnommers vir die genormaliseerde waarde, x die waarde in die paarsgewyse vergelykingstabel, a en b ry- en kolomnommers vir waardes in die paarsgewyse vergelykingstabel en i die tema, terwyl n die totale getal temas verteenwoordig wat in die paarsgewyse vergelykingsmatriks geweeë word.

Die tematiese gewigte is bepaal deur die gemiddelde van die genormaliseerde waardes oor die rye van die matrikstabel te bereken (Vergelyking 2):

$$w_a = (\sum_{i=1}^n x_a) \div n \quad (2)$$

waar w die genormaliseerde gewig van die tema is, en die ander simbole soos in vergelyking 1 hierbo uiteengesit is.

'n Konsekwenheidskontrolle is vir die paarsgewyse vergelyking en die gewigstoewysingmatriks gedoen. Die konsekwenheidskontrolle is gedoen deur gebruik te maak van 'n verhoudingsberekening om die risiko's van intuïtiewe en subjektiewe in die bepaling van die vergelyking van temas tydens die wegingsproses te verminder. Die konsekwenheidsverhouding is bereken deur gebruik te maak van Vergelyking 3 soos aanbeveel deur Saaty (1980):

$$CR = \frac{CI}{RCI} \quad (3)$$

waar CR die konsekwenheidsverhouding is, CI die konsekwenheidsindeks en RCI die ewekansige konsekwenheidsindeks wat deur Saaty (1980) beraam is. Die RCI -waardes is in tabel 2 getabelleer en CI word bereken deur gebruik te maak van Vergelyking 4:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

In die bostaande vergelyking is λ_{max} die maksimum eiewaarde van die vergelykingsmatriks en n die volgorde van die matriks.

Tabel 1: Saaty se skaal van paarsgewyse vergelyking (Saaty, 1980)

Minder belangrik				Ewe belangrik	Meer belangrik			
Uiters	Baie sterk	Sterk	Matig	Ewe	Matig	Sterk	Baie sterk	Uiters
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9

Let wel: Die getalle 2, 4, 6 en 8 is tussenwaardes wat kompromis verteenwoordig. Hulle kan by die paarsgewyse vergelyking ingesluit word as die evalueerder voel dat die vlak van belangrikheid tussen die waardes in die bostaande skaal val.

Tabel 2: Ewekansige konsekwenheidsindeks ("RCI", na aanleiding van die Engels)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Die maksimum eiewaarde (λ_{max}) is bereken deur beide die paarsgewyse vergelyking en die genormaliseerde matrikstabelle te gebruik. Die prosedure het bestaan uit die bepaling van die gewigsomvektor (W_s) met gebruik van Vergelyking 5, die berekening van die konsekwenheidsvektor (Vergelyking 6) en die berekening van die gemiddelde van die konsekwenheidsvektor (Vergelyking 7).

$$w_s = c \times w \quad (5)$$

$$\{cons\} = w_s \times \frac{1}{w} \quad (6)$$

$$\lambda_{max} = Average\{cons\} \quad (7)$$

'n Konsekwenheidsverhouding van nul dui op die perfekte konsekwenheid van die paarsgewyse vergelyking. Vir die paarsgewyse vergelyking van ten minste 'n 4x4-matriks het Saaty (1980) voorgestel dat die konsekwenheidsverhouding minder as 0,1 (10%) moet wees. Hy het aangevoer dat 'n konsekwenheidsverhouding van meer as 0,1 op inkonsekwenheid in die paarsgewyse vergelyking dui.

Al die tematiese kaart is herklassifiseer en die kenmerke binne die temas is klasse van 1 tot 4 toegewys, na gelang van hul invloed op grondwaterpotensiaal. Kenmerke is gerangskik tussen 1 en 4, met 1 wat die minste invloed en 4 wat die meeste invloed op grondwaterpotensiaal aandui. Aan kenmerke met intermediere invloed op grondwater is gewigte van 2 en 3 toegewys.

Generering van kaart

Sewer tematiese kaart is in ArcGIS 10.3.1 gegenereer met behulp van afstandwaarneembare ruimtelike en attribuutdata van geografiese parameters wat grondwater voorkoms beïnvloed. Die insetdata wat gebruik is, was 'n digitale elevasiemodel (DEM) ("digital elevation model" (DEM)), wat afgelei is van die Geologiese Opname van die Verenigde State ("United States Geologic Survey" (USGS)) se Radartopografiese Pendeltoegsending ("Shuttle Radar Topographic Mission") by 1 boogsekonde (ruimtelike resolusie van 30 meter), shapefiles en rasterdata. Die DEM is gekorrigeer om sinkgate en depressies in die ruimtelikeontleider-hulpmiddelstel van ArcGIS 10.3.1 te verwyder voordat dit verwerk is om dreineringsdigtheid en hellingkaarte te skep. Die hidrologie-hulpmiddelstel is gebruik vir parametrisering, en vir die skepping van die dreineringsdigtheidkaart van die studiegebied is daar van die vloei-irigting-, vloeiakkumulatie- en die dreineringsnetwerk-hulpmiddels in ArcGIS gebruik gemaak. Vir ArcGIS om die helling van die studiegebied te verwerk en akkuraat te bereken, is die DEM vanaf die geografiese koördinaatstelsel waaruit dit afgelaai is na 'n Universele Transversale Mercator-projeksie (UTM-projeksie) herprojekteer. Tematiese geomorfologie-, geologie-, grondtipe- en reënvalkaarte is uit shapefiles gegenereer. Die shapefiles is in ArcGIS 10.3.1 ingevoer voordat dit gevisualiseer en parametries geklassifiseer is om kenmerke binne elke laag te skep. Die tematiese grond-

bedekkingskaart is met gebruik van die Suid-Afrikaanse Nasionale Grondbedekkingsdata van 2018 se tematiese rasterdata geskep. Die data oor nasionale grondbedekking is in 'n 20-meterresolusie-rasterformaat beskikbaar en het 'n algehele karteringsakkuraatheid van 90,1%, bereken oor 6 570 verwysingspunte (DEA, 2019). Die onttrekte grondbedekkingraster is in 73 oorspronklike grondbedekkingsklasse gekategoriseer met kleurkode wat verskillende klasse op die grondbedekkingskaart verteenwoordig.

Kartering van grondwaterpotensiaalsones in die studiegebied

Al die tematiese kaarte is in herklassifiseerde rastertemas met gelyke roostergrootte (30x30 meter) omskep. Die berekende gewigte is aan die temas en hul herklassifiseerde kenmerke toegewys deur gebruik te maak van die geweege oorleggingskenmerk van die ruimtelikeontleider-hulpmiddel in ArcGIS 10.3.1. Die geweege temas en hul kenmerke is geïntegreer en 'n oorlegging daarvan is in die ArcGIS 10.3.1-sagteware gedoen om die grondwaterpotensiaalgebiede af te baken. Die grondwaterpotensiaalindeks is bereken deur gebruik te maak van Vergelyking 8:

$$GWPI = \{(Gw * Gr) + (GLw * GLr) (Rw * Rr) + (Sw * Sr) + (Ew * Er) + (Lw * Lr) + (Dw * Dr)\} \quad (8)$$

Waar GWPI verwys na die grondwaterpotensiaalindeks terwyl G, GL, R, S, E, L en D onderskeidelik na geomorfologie, geologie, reënval, grondtipe, helling, grondgebruik/grondbedekking en dreineringsdigtheid verwys. Die voetskrifte w en r verwys onderskeidelik na die gestandaardiseerde gewig van 'n tema en die toegewysde klas van elke kenmerk van 'n tema

Bevestiging van geldigheid van grondwaterpotensiaalkaart

Die geldigheid van die grondwaterpotensiaalkaart is met behulp van boorgatvloei data bevestig. Die boorgatvloei tempo's is in vyf klasse gekategoriseer, naamlik <1 l/s; $1-2$ l/s; $2-3$ l/s; $3-5$ l/s en >5 l/s, en hierdie kategorieë is onderskeidelik as baie lae vloei, lae vloei, matige vloei, hoë vloei en baie hoë vloei benoem. Die boorgatvloei data en die koördinate is in ArcGIS 10.3.1 ingevoer en 'n oorlegging daarvan is op die geproduseerde grondwaterpotensiaalkaart gedoen. 'n Ontleding is gedoen om die verwantskap tussen die afgebakende grondwaterpotensiaalsones en die werklike veldwerk bepaalde boorgatvloei tempo's te evalueer. Om die akkuraatheid van die afgebakende grondwaterpotensiaalsones te bepaal, is elke kategorie van die boorgatvloei tempo's vir koherensie met die geproduseerde kaart gekontroleer. 'n Persentasie koherensie (Vergelyking 9) is bereken om te bepaal hoeveel van die boorgate koherensie met die afgebakende grondwaterpotensiaalsones toon.

$$Akkuraatheidsvoorspelling = \frac{\text{Getal boorgate met ooreenkomende koherensie}}{\text{Totale getal geanaliseerde boorgate}} \quad (9)$$

Bespreking van resultate

Generering van tematiese kaart

AHP en tematiese gewigte

Die AHP is gebruik om numeriese gewigte vir die temas te bereken voordat oorlegging daarvan met gebruik van die geweegdeoorlegging-hulpmiddel in ArcGIS 10.3.1 gedoen is. Die paarsgewyse vergelyking het bepaal dat geomorfologie en geologie die invloedrykste temas vir grondwaterheraanvulling in die studiegebied was. Die gestandaardiseerde matriks-berekening het gelei tot 'n gewig van 25% (0,25) vir beide geomorfologie en geologie. Die mins invloedryke tema was grondbedekking, met 'n gestandaardiseerde matriks-gewig van 5% (0,05). Reënval en grondtipe het gelyke gewigte behou (8,2%), gevolg deur helling en dreineringsdigtheid met gewigte van 14,4%. Ideaal gesproke sou reënval die hoogste gewig hê, aangesien dit die primêre tema is wat grondwaterheraanvulling beïnvloed. Die ruimtelike variasie van reënval binne die studiegebied was egter minimaal. Die reënvaldata het aangedui dat daar 'n minimale variasie van die gemiddelde jaarlikse neerslag (GJN) oor die studiegebied is. Daarom sal reënval nie 'n belangrike bepalende faktor vir 'n variasie in grondwaterpotensiaalgebiede binne die studiegebied wees nie. Die resul-

tate van die paarsgewyse vergelyking en die genormaliseerde (gestandaardiseerde) matriks word onderskeidelik in Tabel 3 en 4 weergegee. Die paarsgewyse vergelykingsmatriks is genormaliseer deur elke waarde in die betrokke kolom deur die som van die waardes in daardie kolom te deel. Die algehele gewigte van die temas is bepaal deur die gemiddelde van elke ry te bereken.

Konsekwentheidskontrolle

'n Konsekwentheidskontrolle is gedoen om die afwesigheid van subjektiwiteit in die paarsgewyse vergelykingsmatriks te verifieer. Saaty (1980) het aanbeveel dat 'n 4x4-matriks 'n konsekwentheidsverhouding (CR) (afkorting soos in formules gebruik) van minder as 0,1 (10%) moet hê. 'n CR van nul (0) sou perfekte konsekwentheid impliseer, en 'n CR van meer as 0,1 sou onaanvaarbaar wees en impliseer dat daar inkonsekwentheid was in die vergelyking van die temas wat oorweeg is. Vir hierdie studie was die berekende CR 0,006, wat ongeveer 0,01 (1%) is. Die CR was dus aanvaarbaar en val binne die aanbevole CR, wat die afwesigheid van sydigheid en inkonsekwentheid in die toewysing van gewigte aan die temas verifieer. Die opsomming van die berekeninge van die konsekwentheidsindeks (CI) (afkorting soos in formules gebruik), die konsekwentheidsvektor, die maksimum eiewaarde en die CR word in Tabel 5 getoon.

Tabel 3: Paarsgewyse vergelyking van temas

Itemnommer	1	2	3	4	5	6	7
Itembeskrywing	Geomorfologie	Geologie	Dreineringsdigtheid	Helling	Reënval	Grond-tipes	Grond-bedekking
Geomorfologie	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00
Geologie	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00
Dreineringsdigtheid	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Helling	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Reënval	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00
Grondtipes	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00
Grond-bedekking	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00
Som	3,92	3,92	7,33	7,33	12,50	12,50	19,00

Tabel 4: Gestandaardiseerde matrikstabel en tematiese gewigte

	Geomorfologie	Geologie	Dreineringsdigtheid	Helling	Reënval	Grond-tipes	Grond-bedekking	Gewig
Geomorfologie	0,26	0,26	0,27	0,27	0,24	0,24	0,21	25,0%
Geologie	0,26	0,26	0,27	0,27	0,24	0,24	0,21	25,0%
Dreineringsdigtheid	0,13	0,13	0,14	0,14	0,16	0,16	0,16	14,4%
Helling	0,13	0,13	0,14	0,14	0,16	0,16	0,16	14,4%
Reënval	0,09	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,11	8,2%
Grondtipes	0,09	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,11	8,2%
Grond-bedekking	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	5,0%

Tabel 5: CI- en CR-berekeningsresultate

	Geo-morfo- logie	Geologie	Dreinerings- digtheid	Helling	Reënval	Grondtipes	Grond- bedekking	SOM	SOM/ Gewig
Geomorfologie	0,25	0,25	0,29	0,29	0,25	0,25	0,20	1,76	7,07
Geologie	0,25	0,25	0,29	0,29	0,25	0,25	0,20	1,76	7,07
Dreineringsdigtheid	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,16	0,15	1,01	7,06
Helling	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,16	0,15	1,01	7,06
Reënval	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10	0,57	7,02
Grondtipes	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10	0,57	7,02
Grondbedekking	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,35	7,02
								telling	7,00
								Lambda- maks	7,047
								CI	0,008
								CR	0,01
								konstante	1,32

Tematiese kaart van die studiegebied

Geomorfologie

Die geomorfologie van Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit word in vyf kenmerkkategorie gekategoriseer. Hierdie kenmerkkategorie is vlaktes, heuwels, effens golwende vlaktes, heuwels en laaglande, en laaglande en parallelle heuwels.

Die vlaktes maak ongeveer 3 508 km² (60,8%) van die studiegebied uit. Hoë tempo's van grondwaterheraanvulling sal die waarskynlikste in plat gebiede met 'n effense helling en lae afloop voorkom. Daarom bly vlaktes van groot belang in die beïnvloeding van grondwaterpotensiaal. Heuwels maak 210,6 km² (3,65 %) van die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit uit. Die heuwelagtigste gebiede is in die suidoostelike deel van die studiegebied naby die Pilanesbergkrater geleë. Heuwels bestaan gewoonlik uit gekonsolideerde materiaal wat waterinfiltrasie belemmer. Dit kan moontlik nie altyd die geval wees in gebiede waar die ondergrondse materiaal gebreke rotse of ongekonsolideerde materiaal met hoë porositeit en deurlatendheid is nie. Die heuwelagtige gebiede in Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit is meestal geleë in die Pilanesbergstreek, wat onderlê word deur die Pilanesberg Nasionale Park Alkaliese Ringkompleks.

Effens golwende vlaktes en heuwels en laaglande maak onderskeidelik 687,9 km² (11,9%) en 592,6 km² (10,27%) van die studiegebied uit. Die grond word oordek deur geomorfologiese kenmerke wat maklike grondwaterheraanvulling óf kan bevorder óf kan beperk. Golwende vlaktes bestaan uit laagliggende gebiede, wat infiltrasie makliker maak en heraanvulling bevorder, sowel as hoëreliëfereine, wat ongunstig is vir heraanvulling.

Die laaglande maak 772,1 km² (13,38%) van die studiegebied uit. Laaglande is van die grootste belang t.o.v. grondwaterpotensiaal. Oor die algemeen word 'n groter gedeelte van die studiegebied onderlê deur geomorfologiese kenmerke wat hoër vlakke van grondwaterheraanvulling bevorder.

Grondtipes van die studiegebied

Die grondtipes wat die studiegebied oorlê, is vlak gronde, rotsdagsome, swart klei, leemagtige en vrylik gedreineerde grond. Vlak gronde en rotsdagsome is oorheersend in die oostelike deel van die studiegebied en langs die Goedehoopstreek noord van Moses Kotane. Die mees oorheersende grondtipes is vrylik gedreineerde en swart kleigronde wat oor die studiegebied versprei is. Rooi en geel leemgronde is die grondtipes wat die minste in die gebied voorkom. Vrylik gedreineerde gronde is saamgestel uit ongekonsolideerde materiaal en het goeie deurlatendheid, wat hoë tempo's van infiltrasie en grondwaterheraanvulling bevorder. Hoë grondwaterpotensiaal is minder geneig om in gekonsolideerde rotsdagsoomstreke voor te kom, tensy die rotsmateriaal krake het, wat grondwaterheraanvulling kan verhoog en karstakwifere kan vorm. Leemgronde het 'n mengsel van sand en kleimateriaal en het matige deurlatendheid en porositeit, terwyl kleigrond baie lae deurlatendheid en swak dreineringsdigtheid het. Selfs al het kleigronde goeie porositeit omdat hulle 'n groter oppervlakte as leemgronde beslaan, is hulle oor die algemeen swak grondwaterhoudende eenhede as gevolg van hulle lae effektiewe porositeit. Dus word hoër grondwaterpotensiaal op sanderige en leemgrond verwag as wat die geval in kleiagtige streke sou wees. Die grondtipes binne die studiegebied toon dat lae grondwaterpotensiaal in die oostelike deel van die studiegebied verwag word, terwyl medium tot hoë grondwaterpotensiaal in die westelike en noordelike streke van die studiegebied verwag word.

Grondgebruik en grondbedekking van die studiegebied

Die hele studiegebied word oordek deur plantegroei en beboude gebiede. Die beboude gebiede bestaan meestal uit landelike residensiële eenhede, aangesien die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit oorwegend landelik is. Die hoofwaterliggame is die Madikwe-, Molatedi- en Pella-dam en 'n paar sytakke van die Maricorivierstelsel. Die dorpie in Moses Kotane beoefen bestaansboerdery, dus word die studiegebied tot aan die grense daarvan deur bewerkte landerye oordek. Kaal

grond is geleë in die sentrale deel van die studiegebied asook wes en noordwes van die plaaslike munisipaliteit. Beboude gebiede bevorder hoër tempo's van oppervlakaflou en verminder dus infiltrasie en grondwaterheraanvulling. Daarbenewens is menslike aktiwiteite soos ontbossing en infrastruktuurontwikkeling oorheersend in beboude gebiede. Menslike aktiwiteite verhoog die tempo van oppervlakaflou en verminder infiltrasie, waardeur grondwaterheraanvulling en gevolglik grondwaterpotensiaal verminder word. Plantegroei maak die meeste van die grondbedekkingsklas in Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit uit, met 'n oppervlakte van 5 041,5 km² (87,37%). Kaal grond beslaan die kleinste oppervlakte in die studiegebied (117,2 km²), gevolg deur waterliggame en kaal grond. Bewerkte grond, met die hoogste toegewysde klasgewig, maak 239,5 km² (4,15%) van die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit uit.

Geologie

Die rotsformasies en ondergrondse litologie is die parameters wat die beskikbaarheid van grondwater wesenlik beïnvloed. Die studiegebied word onderlê deur vulkaniese gesteentes, en sedimentêre, kwartsiet- en granietgesteentes. Gewoonlik ontbind vulkaniese gesteentes nie, en vorm gevolglik nie breukenie, en is dus oordie algemeen swak grondwaterhoudende eenhede. Lae grondwaterpotensiaal word verwag in gebiede wat hoofsaaklik deur gekonsolideerde vulkaniese gesteentes onderlê word, behalwe in spesiale omstandighede waar die gesteentes breuke het (Nel, 2017). Dit is omdat vulkaniese gesteentes oor die algemeen swak deurlatendheid en poreusheid het. Dolomitiese gesteentes onderlê die verre noordelike streke van die studiegebied. Hoër grondwaterpotensiaal word in hierdie streke verwag. Nel (2017) noem op grond van hul poreusheid en spesifieke boorgatvloei tempo's dat dolomitiese gesteentes aansienlike grondwaterpotensiaal het. Verder kan boorgate wat in noukeurig afgebakende dolomietgebiede geboor word, baie hoër volumes water lewer (DWAf, 2006).

Graniet-, gabbro- en norietgesteentes onderlê die oostelike deel van Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit. Die gesteentes is metamorfies en het baie lae poreusheid en deurlatendheid, tensy dit frakture ontwikkel (Nel, 2017). Wat geologie betref, word verwag dat die oostelike streek van die studiegebied lae grondwaterpotensiaal sal hê. Andersyds is kwartsiet- en arenietgesteentes eenhede wat grondwater gunstig beïnvloed (Kumar *et al.*, 2019; Nel, 2017). Dit is omdat daar breuke in die litologiese eenhede is en dit hoogs poreus en deurlatend is. Dus word daar verwag dat die sentrale en westelike streke van Moses Kotane, wat deur areniet- en kwartsiet- geologiese eenhede onderlê word, goeie grondwaterpotensiaalgebiede sal wees.

Reënval

Die GJN is konstant oor die studiegebied, met hoër neerslag in die Pilanesbergkrater. Reënval is 'n belangrike parameter, aangesien dit die primêre bron van grondwaterheraanvulling is. Fashae, *et al.* (2013) noem dat die tempo van grondwaterheraanvulling direk verband hou met die hoeveelheid water wat in die versadigde sone van die ondergrondse geologiese medium

insyfer. Hoewel neerslagintensiteit 'n groot faktor is in die bepaling van grondwaterheraanvulling (Thomas, *et al.*, 2016), is die hoeveelheid reënval wat 'n gebied kry ook 'n belangrike faktor in die bepaling van die hoeveelheid grondwaterheraanvulling. Dus is gebiede met 'n hoër GJN meer geneig om hoër grondwaterpotensiaal te hê vergeleke met dié met 'n lae GJN, al is dit afhanklik van ander parameters wat grondwater beïnvloed. Wat reënval betref, word daar dus verwag dat die Pilanesbergstreek met 'n GJN van 601–800 hoër grondwaterpotensiaal sal hê as die ander dele van die studiegebied. Baie ander parameters wat voorheen bespreek is, dra egter ook by tot heraanvulling en grondwaterpotensiaal.

Die reënval-tematiese kaart het 'n genormaliseerde gewig van 8,2% behou. Reënval is natuurlik die belangrikste faktor wat grondwaterpotensiaal beïnvloed omdat water in die ondergrond hoofsaaklik van neerslag en heraanvulling afhanklik is. Nieteenstaande die belangrikheid daarvan, is minder gewig aan reënval toegewys as geologie, geomorfologie, helling en dreineringsdigtheid, omdat daar nie 'n beduidende variasie in GJN oor die studiegebied was nie. 'n Groot gedeelte van die studiegebied het 'n GJN van 401 tot 600 mm (5 054,6 km²), terwyl 725,9 km² (12,58%) 'n GJN van tussen 601 en 800 mm het.

Dreineringsdigtheid

Vier dreineringsdigtheidklasse is ontwikkel (baie hoog/hoog, medium, laag en baie laag). Die dreineringsdigtheid-tematiese kaart het 'n genormaliseerde gewig van 14,4% behou tydens paarsgewyse vergelyking. Gebiede met baie hoër dreineringsdigtheid is vatbaar vir hoër afloop en laer infiltrasie van reënval, terwyl gebiede met lae dreineringsdigtheid hoër infiltrasie bevorder, en dus hoër grondwaterheraanvulling.

Die westelike streke van die studiegebied het 'n dendritiese dreineringspatroon gevorm, wat illustreer dat die gebied deur homogene materiaal onderlê word. Andersyds het die oostelike streek 'n radiale dreineringspatroon gevorm, met strome wat rondom die Pilanesberg-gebergte ontwikkel het. Die sentrale streek van die studiegebied en die Pilanesbergkrater vorm die bolope van die dreineringsnetwerke, terwyl die buitewyke in die weste, ooste en noordooste laagliggende gebiede is wat die afvoer vanaf die middel van Moses Kotane ontvang. Evaluering van die afgeleide dreineringsnetwerke dui daarop dat minder gedreineerde streke meer geneig is tot vooruitsigte van hoër grondwaterpotensiaal.

Die ontleding het bepaal dat 1 510 km² (26,17%) van die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit 'n hoër dreineringsdigtheid het. Lae en baie lae dreineringsdigthede maak onderskeidelik 1 643 km² (28,47%) en 942 km² (16,33 %) van die studiegebied uit, terwyl 1 675 km² (29,03%) 'n gebied met 'n medium digtheid is.

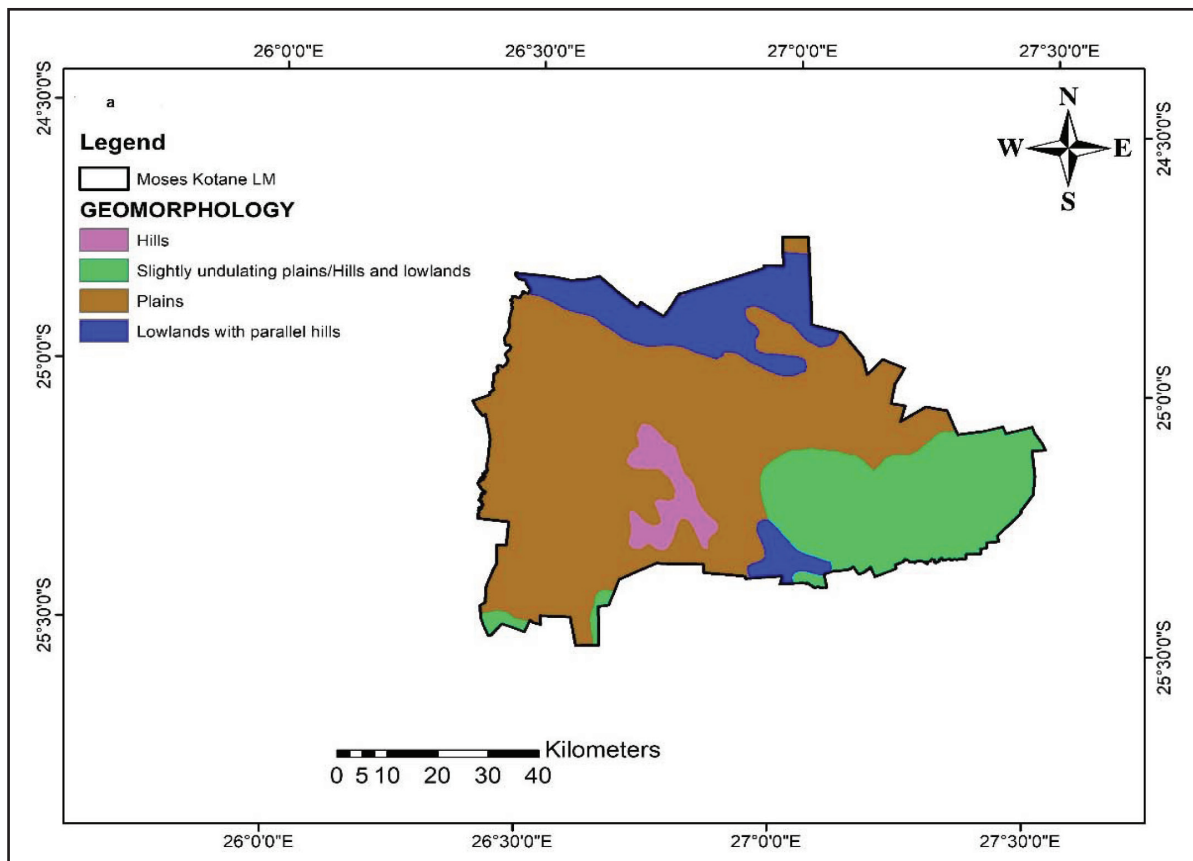
Helling

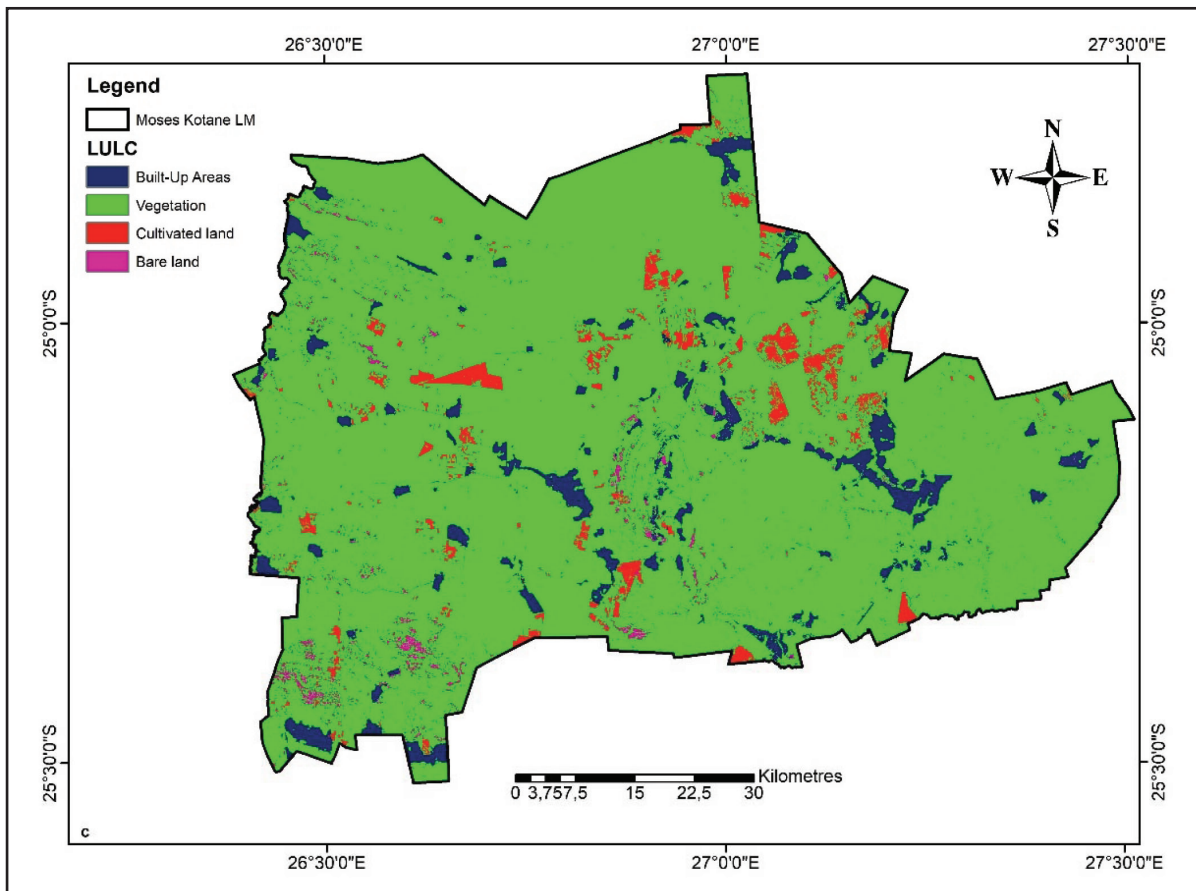
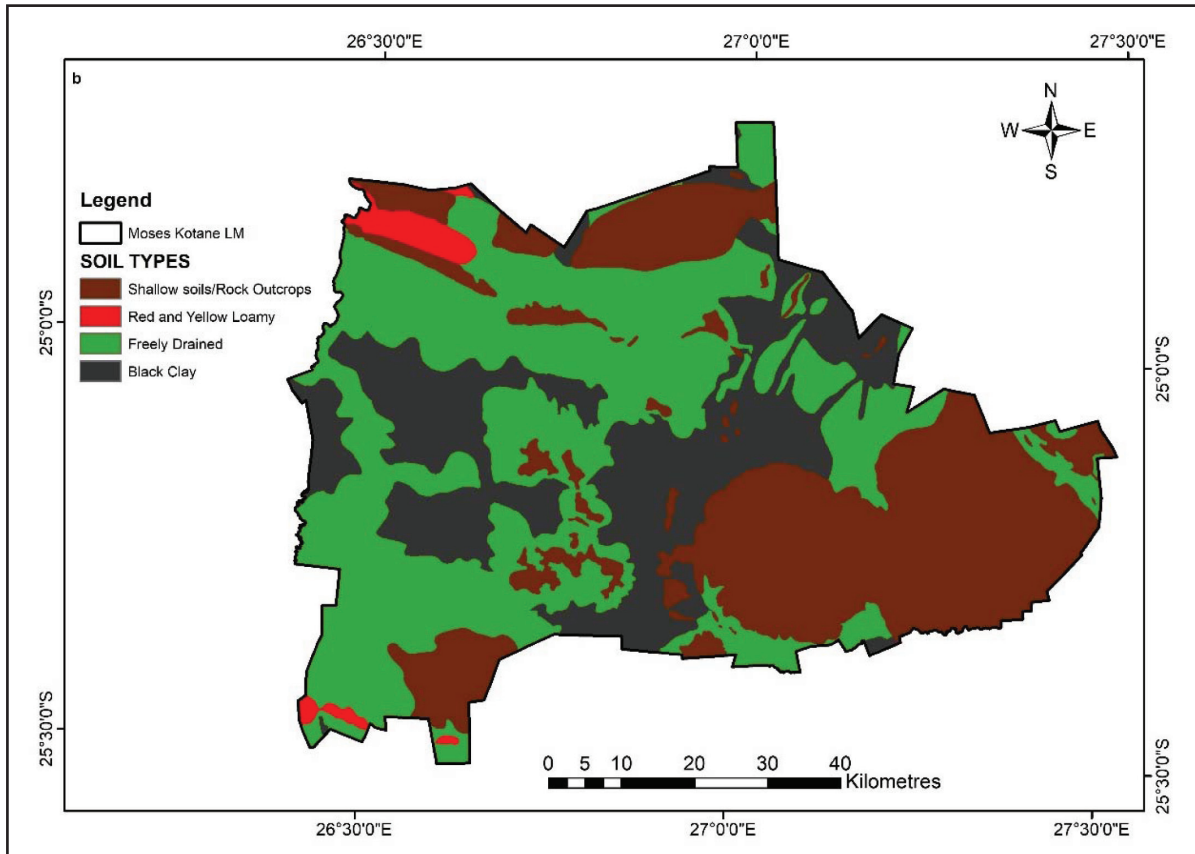
Die helling van Moses Kotane wissel van 0 grade tot 49,1 grade. Die steil hellings is geleë in die Pilanesberg-krater, en die baie plat hellings kom aan die verre westekant van die studiegebied voor. Stroke steil hellings is ook in die noorde langs die Goedehoopstreek geleë. Die afgeleide helling kom konsekwent

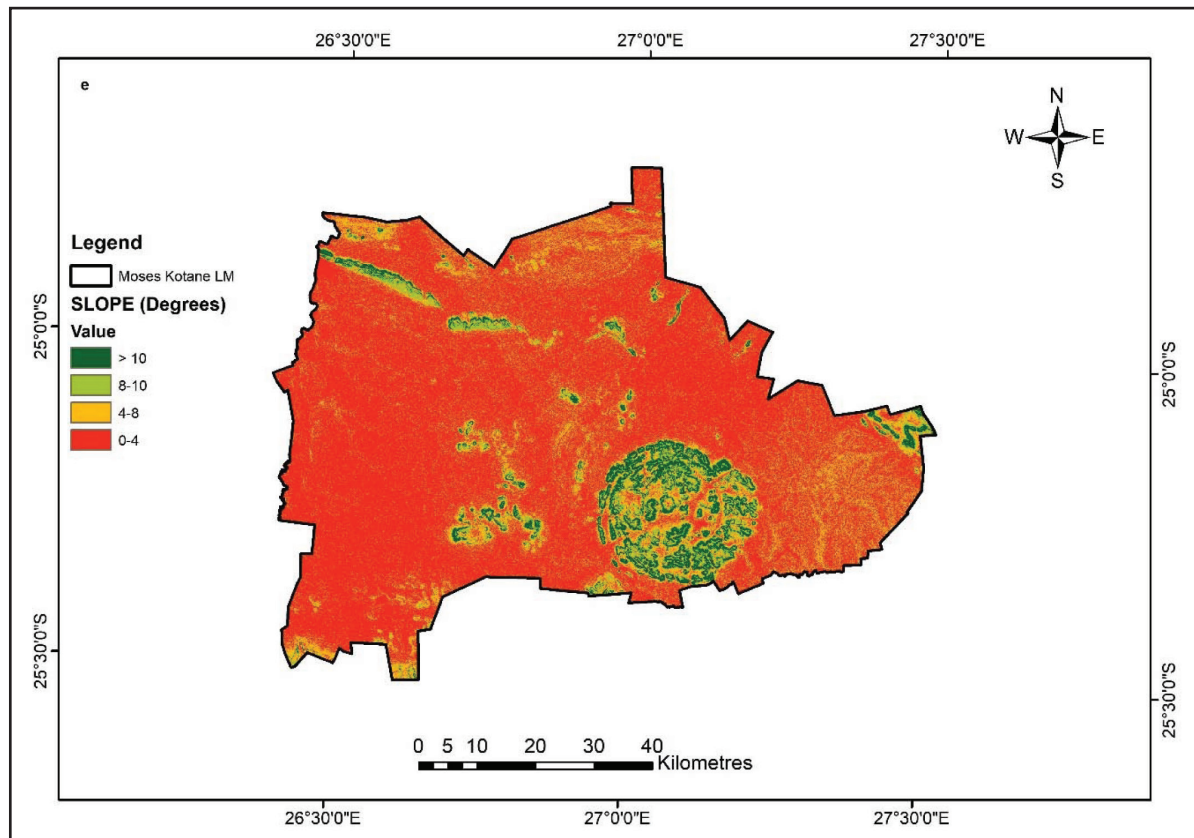
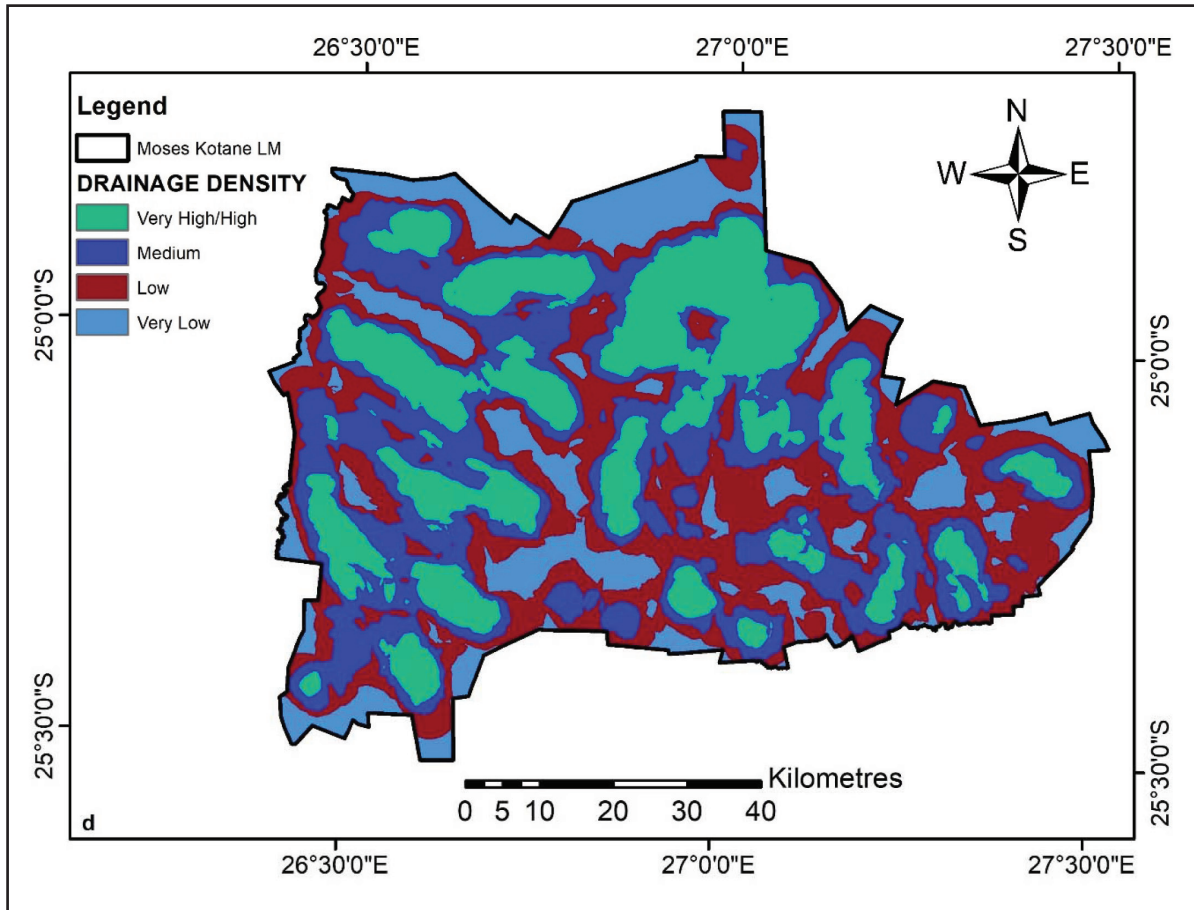
met die geproduseerde dreineringsnetwerke ooreen. Die konseptuele dreineringsnetwerke dui aan dat water vanaf steil terreine na laerliggende streke vloei. Plat en effense hellings bevorder hoër heraanvulling, terwyl steil gebiede laer heraanvullingstempo's het. Grondwaterheraanvulling is omgekeerd eweredig aan helling, dus is dit waarskynliker dat gebiede met 'n hoër grondwaterpotensiaal op plat terreine geleë sal wees. Gebiede met steil hellings ervaar hoër oppervlakafloop en minder waterinfiltrasie tydens neerslag, dus is die tempo van grondwaterheraanvulling laer op steil terreine as op plat terreine. Die tematiese paarsgewyse vergelyking het 'n 14,4%-gewig vir die hellingtema opgelewer. Helling speel 'n belangrike rol om grondwaterheraanvulling te beïnvloed of te beperk. Of die helling van die terrein steil of effens is, is 'n bepalende faktor in hoeveel water tydens neerslag in die ondergrondse sone kan infiltreer. Die hellingkaart is in vier hellinggraadklasse gekategoriseer, en daar is aan elke klas 'n gewig toegewys. 'n Beduidende oppervlakte (3 921,7 km²) binne die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit is oor die algemeen plat met hellings wat minder as 4 grade is. Steil hellings (meer as 8 grade) maak ongeveer 9% (520 km²) van die studiegebied uit, met 'n groot gedeelte daarvan wat rondom die Pilanesberg geleë is.

Grondwaterpotensiaalsones

Die geweegde oorlegging van die sewe tematiese kaarte het die algehele grondwaterpotensiaalkaart opgelewer met gewigte wat wissel van 2 tot 4. Kwantielklassifikasie van die kaart het vyf klasse grondwaterpotensiaalsones opgelewer. Die geklassifiseerde gewigte was 0-1, 1-2, 2-3, 3-5 en >3,5 en het onderskeidelik baie lae, lae, matige, hoër en baie hoër grondwaterpotensiaalsones verteenwoordig. Baie hoër grondwaterpotensiaalsones is in die verre noordelike deel van die Moses Kotane Plaaslike munisipaliteit geleë. Die gebied dek die Goedehoop- en Nonceba- dolomitiese gebied. Die baie hoër grondwaterpotensiaalsones maak 1 235,05 km² (21,7%) van die studiegebied uit. Hoër grondwaterpotensiaalgebiede is oor die studiegebied versprei, en is meer prominent op vlaktes en laagliggende gebiede met lae dreineringsdigtheid en deurlaatbare gronde. Die hoër grondwaterpotensiaalgebiede beslaan 853,04 km² (15%). Matige grondwaterpotensiaalgebiede is gekonsentreer in die middel van Moses Kotane, met min matige sones aan die buitewyke van die munisipale grens en in die noordelike en noordwestelike streke van die munisipaliteit. Die matige grondwaterpotensiaalsones maak 19% (1 081 km²) van die studiegebied uit. Lae en baie lae grondwaterpotensiaalgebiede is oor die studiegebied versprei, maar is meestal in die hoogliggende gebiede van die Pilanesbergkrater gekonsentreer. Die lae grondwaterpotensiaalgebiede beslaan 1 228 km² (21,6%), terwyl baie lae grondwaterpotensiaalsones 1 291,6 km² (22,7%) beslaan.





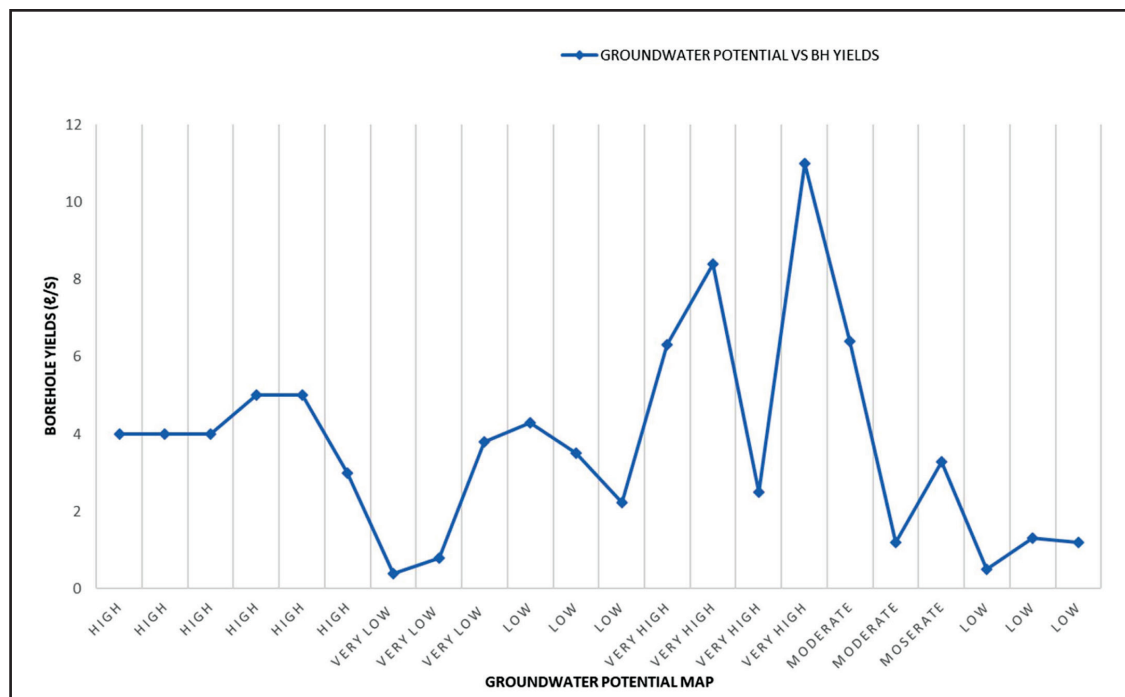
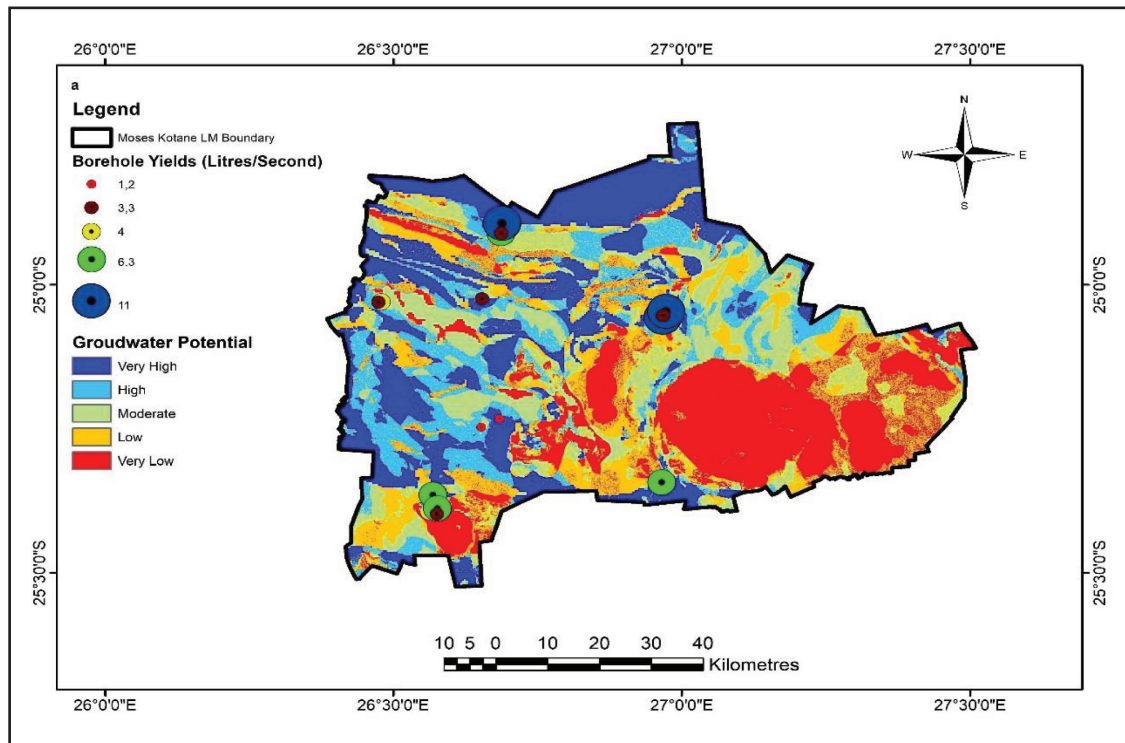


Figuur 2: Geproduseerde tematiese kaarte van die studiegebied: a) Geomorfologiekaart, b) Grondkaart, c) Grondbedekkingskaart, d) Dreineringsdigtheidskaart, e) Hellingkaart

Bevestiging van geldigheid van grondwaterpotensiaal-kaart

Die boorgatevaluering het bepaal dat 17 uit die 22 veldwerkversamelde boorgatvloeiempo's konsekwent met die afgebakende grondwaterpotensiaalsones ooreenstem. In die geheel het slegs vyf boorgate se opbrengs nie konsekwent met die afgebakende grondwaterpotensiaalsones ooreengestem nie. Die berekende akkuraatheitsvoorspelling was 77,2%. Van

die vyf niekonsekwente boorgate is slegs twee boorgatvloeiempo's egter geïdentifiseer as uiterste uitskieters wat nie met die geproduseerde grondwaterpotensiaalkaart gekorreleer het nie. Die boorgate wat uiterste uitskieters was, kan toegeskryf word aan onakkurate boorgatplasing of verskille in pomp-tempo's. Die persentasie korrelasie tussen die veldwerkversamelde boorgatvloeiempo's en die gedelinieerde potensiaalsones het egter bevestig dat die gedelinieerde grondwaterpotensiaalkaart akkuraat is. Die lineêre korrelasie tussen die



Figuur 3: Grondwaterpotensiaal: a) Geproduseerde kaart wat potensiele sones en werklike boorgatliggings aantoon, b) Korrelasie tussen geproduseerde kaart en werklike boorgatvloeiempo's

geproduseerde grondwaterkaart en die veldwerkbepaalde boorgatvloeiempo's word in Figuur 3b getoon. Uit die figuur is dit duidelik dat boorgate in die hoë grondwaterpotensiaalsones vloeiempo's het wat wissel van 4 l/s tot 5 l/s. Boorgate met vloeiempo's bo 5 l/s is oor baie hoë grondwaterpotensiaalsones versprei, behalwe vir een uitskieter met 'n vloeiempo van 2,1 l/s. Die boorgatvloeiempo's het dus die geldigheid van die grondwaterpotensiaalkaart bekragtig.

Gevolgtrekkings

In hierdie studie word die gebruik van GIS en afstandwaarnemingstegnieke voorgestel om grondwaterpotensiaalsones af te baken. Die voorgestelde metodologie is gedemonstreer deur die grondwaterpotensiaal te bepaal van die Moses Kotane Plaaslike Munisipaliteit wat in die Noordwesprovinsie van Suid-Afrika geleë is. Die grondwaterpotensiaalbepaling is gedoen deur geologiese, hidrogeologiese, meteorologiese en fisiese parameters te bepaal wat vermoedelik grondwaterbesikbaarheid beïnvloed. 'n Grondwaterpotensiaalkaart wat verskeie grondwaterpotensiaalsones aandui, is ontwikkel. Hierdie sones kan as eersteorde-konseptuele terreine vir die boor van boorgate met die oog op verdere grondwaterontsluiting gebruik word. Daar word aanbeveel dat beleidmakers en waterhulpbronbestuursowerhede hierdie kostedoeltreffende konseptuele modelleringstegniek gebruik om volhoubare grondwatergebruik te verbeter.

Datums

Ontvang: 19/11/2021
Aanvaard: 09/05/2022
Gepubliseer: 05/07/2022

Bronnelys

Anastasiadis, S., Kerr, S., Arbuckle, C., et al., 2013, Understanding the practice of water quality modelling. [online] Wellington, New Zealand: Motu Economic and Public Policy Research Trust. Available at: <https://www.pce.parliament.nz/media/pdfs/The-Practice-of-Water-Quality-Modelling.pdf> [Accessed 8 April 2020].

DEA (Department of Environmental Affairs, South Africa). 2019. South African National Land Cover 2018 report and accuracy assessment. Public release Report, version 004, 25-09-2019. Pretoria, South Africa. [Online]. Available at: https://sfiler.environment.gov.za:8443/ssf/s/readFile/folderEntry/26827/8afb1c76ac8a7ce016d96da2a9a4116/1570181371000/last/South_African_National_Land_Cover_2018_Report.pdf [Accessed 3 Feb 2021].

DWAF (Department of Water Affairs and Forestry), 2006, Groundwater resource assessment II - Task 3aE recharge. Version 2.

Fashae, O., Tijani, M., Talabi, A., et al., 2013, Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and

remote sensing approach. *Applied Water Science* 4(1), 19-38. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0127-9>.

Kumar, C.P., 2012, Assessment of groundwater potential. *The International Journal of Engineering and Science* 1(1), 64-79. Available at: https://www.researchgate.net/publication/253650110_Assessment_of_Groundwater_Potential [Accessed 29 Jan. 2020].

Konikow, L.F., 1996, A three-dimensional method-of-characteristics solute-transport model (MOC3D). University of Michigan Library. [Online]. Available at: <https://www.amazon.com/three-dimensional-method-characteristics-solute-transport-model/dp/B003TW3ZJ4>. [Accessed 23 February 2021].

Machiwal, D., Jha, M., Mal, B., 2010, Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. *Water Resources Management* 25(5), 1359-1386. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9749-y>.

Magesh, N., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J., 2012, Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS, and MIF techniques. *Geoscience Frontiers* 3(2), 189-196.

Ndambuki, J.M., 2011, A novel approach to solving multi-objective groundwater problems with uncertain parameters. *The Open Hydrology Journal* 5, 19-25. <https://doi.org/10.2174/1874378101105010019>.

Nel, M., 2017., Groundwater: The myths, the truths and the basics. Water Research Commission Report. Gezina, South Africa. WRC. [Online]. Available from: http://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/Groundwater%20book_web.pdf. [Accessed: 3 May 2021].

Pretorius, S., Stoltz, D., Du Plessis, C., 2015, Groundwater assessment of a portion of the Moses Kotane local municipal area (First Order Feasibility Assessment). Technical Report. Potchefstroom, South Africa: AGES (Pty)Ltd.

Rwanga, S. & Ndambuki, J., 2020, Solving groundwater problems fraught with uncertain recharge: An application to central Limpopo, South Africa. *Groundwater for sustainable development* 10, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100305>.

Saaty, T.L., 1980, The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill.

Shamuyarira, K., 2017, Determination of recharge and groundwater potential zones in Mhinga area, South Africa. Master's Degree. University of Venda.

Smith, M., Cross, K., Paden, M., et al., 2016, Spring: Managing groundwater sustainability. *IUCN*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.en>.

Solomon, S., 2003, Remote sensing and GIS: applications for groundwater potential assessment in Eritrea. Doctoral dissertation. *Environmental and Natural Resources Information Systems Royal Institute of Technology, Sweden*. [Online]. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:9296/FULLTEXT01.pdf>. [Accessed 15 June 2021].

SRK Consulting. 2011. Development of a reconciliation strategy for all towns in the Northern Regions Contract WP 9711. Bojanala District Municipality and Moses Kotane Local Municipality: First order reconciliation strategy for Madike and Pella water supply scheme.

Statistics South Africa, 2011, Statistics by place, local municipality. Available at: http://www.statssa.gov.za/?page_id=993&id=moses-kotane-municipality. [Accessed 12 June 2020].

Thomas, B.F., Behrangi, A., Famiglietti, J.S., 2016, Precipitation intensity effects on groundwater recharge in the southwestern United States. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* 8(3), 90. <https://doi.org/10.3390/w8030090>.

Waikar, M. & Nilawar, A., 2014, Identification of groundwater potential zone using remote sensing and GIS technique. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3(5), 12163-12172.

Zhou, Y. & Van Geer, F.C., 1992, KALMOD, a stochastic-deterministic model for simulating groundwater flow with Kalman filtering. *International Institute for Environmental and Hydraulic Engineering* 37(4), 375-389. <https://doi.org/10.1080/02626669209492602>.