जलविज्ञान एवं जल संसाधन
पर राष्ट्रीय संगोष्ठी
15-16 दिसम्बर, 1995, रूड़की

भूगोलीय सूचना तंत्र तथा जल-विज्ञान में उसकी उपयोगिता

अनिल कुमार लोहनी[1] राहुल जैसनाल[2] राजेश कुमार पँवार[3]

प्रस्तावना

''भूगोलीय सूचना तंत्र'' संगणक आधारित औजारों एवं विभिन्न स्रोतों से प्राप्त किये गये आकाशीय ऑकडों के समाकलन हेतु उपयोग की गई विधियों का ऐसा संयोजन है जिससे इन आंकडों का विश्लेषण, प्रतिरूपण एवं प्रदर्शन किया जा सकता है। विभिन्न डाईवर्स स्रोतों जैसेः जनगणना, सरकारी विभाग, भू–आकृतीय मानचित्रों एवं 'वायव फोटो'[2] से प्राप्त ऑकडों को भूगोलीय सूचना तंत्र में उपयोग किया जा सकता है। इसके साथ–2 बडे पैमाने पर अंकित ग्रामीण 'भू–सम्पत्ति मानचित्रों'[3] एवं सूदर संवेदन आँकडों से प्राप्त ऑकडों को भी उसी भूगोलीय सूचना तंत्र में एकत्रित किया जा सकता है। जैसा कि सर्वविदित है कि जल विज्ञान से सम्बन्धित प्रत्येक क्षेत्र जैसेः सतही जल विज्ञान, भू–जल विज्ञान, जल गुणता, ''जल विभाजक प्रबधन''[4], हिमजल विज्ञान आदि सभी विषयों में बहुत बडी मात्रा में आकाशीय आँकडों का उपयोग किया जाता है। इसके साथ–2 प्रत्येक प्रबंधन में भिन्न–2 व्यवरोध[5] भी होते हैं। अतः अध्ययन एवं प्रबंधन की प्रचलित तकनीकों में बहुत समय लगता है परन्तु भूगोलीय सूचना तंत्र के विशिष्ठ प्रकार के अभिकल्प[6] एवं संगणक आधारित होने के कारण इसकी गति, परिशुद्वता[7], अविरोध[8] एवं 'अभिकलन त्रुटि'[9] की अनुपस्थिति के कारण जल–विज्ञान से सम्बन्धित अध्ययनों में यह बहुत प्रभावशाली सिद्व हुआ है।

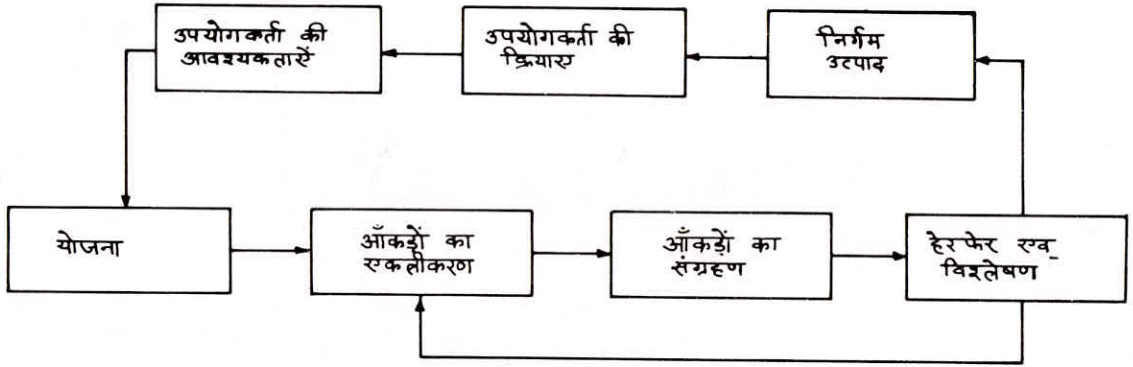
'मानचित्रण आँकडा आधार'[10] की आवश्यकता

किसी भी अध्ययन में संतुलित एवं वैज्ञानिक निर्णय हेतु विश्वसनीय ऑकडों एवं तथ्यों की आवश्यकता होती है परन्तु प्रतिमान'', प्रवृत्ति[12] एवं असाधारण स्थिति को प्रदर्शित करने हेतु सर्वाधिक विश्वसनीय ऑकडों का गहराई तक विश्लेषण एवं मैदानीय स्थिति से मिलान आवश्यक है। भूगोलीय सूचना तंत्र में विभिन्न स्रोतों से प्राप्त ऑकडों को एकत्र करके विशलेषण हेतु आँकड़ा आधार तैयार किया जाता है। इसे मानचित्र आँकड़ा आधार कहते हैं।

भूगोलीय सूचना तंत्र के भाग

प्रत्येक भूगोलीय सूचना तंत्र विभिन्न भागों से बना होता है। यें सारे भाग चित्र–1 में प्रदर्शित किये गये हैं। यें सभी भाग सभी भूगोलीय सूचना तंत्रों में उपलब्ध नहीं होते हैं। भूगोलीय सूचना तंत्र का केन्द्रीय भाग 'ऑकड़ा आधार'[13] होता है। ऑकडा आधार विभिन्न सॉफ्टवेयर तंत्रों से घिरा होता है। यें सॉफ्टवेयर तंत्र निम्नलिखित हैः (लोहनी, 1995)

1. वैज्ञानिक 'ब', गंगा मैदानी क्षेत्रीय केन्द्र, राष्ट्रीय जल विज्ञान संस्थान, पटना।
2. वरिष्ठ शोध सहायक , गंगा मैदानी क्षेत्रीय केन्द्र, राष्ट्रीय जल विज्ञान संस्थान, पटना।
3. कनिष्ठ शोध सहायक , गंगा मैदानीय क्षेत्रीय केन्द्र, राष्ट्रीय जल–विज्ञान संस्थान, पटना।



चित्र 1. भूगोलीय सूचना तंत्र के अवयवों का सरल चित्रण

आकाशीय एवं 'गुण आँकड़ा आधार'[14]

आँकडा आधार भूगोलीय सूचना तंत्र का केन्द्रीय भाग होता है जहाँ सभी मानचित्रों एवं सम्बन्धित सूचनाओं को अंकीय रूप में एकत्र किया जाता है। भूगोलीय सूचना तंत्र का ऑकड़ा आधार दो तत्वों से मिलकर बनता है।

A. आकाशीय ऑकडा आधार
B. गुण–ऑकडा आधार

आकाशीय आँकड़ा आधार पृथ्वी की सतह पर उपस्थित फीचर्स[15] का भूगोल दर्शाता है जिसमें फीचर्स का आकार एवं उसकी स्थिति सम्मिलित होते है। इन फीचर्स के गुण 'गुण आँकड़ा आधार' के द्वारा प्रदर्शित किये जाते है। उदाहरणार्थः किसी भी जल–विभाजक का आकार एवं उसकी स्थिति का आकाशीय ऑकडा आधार एवं उसके भूमि उपयोग उपस्थित मृदाओं के प्रकार, समवर्षा[16] इत्यादि को गुण ऑकडा आधार प्रदर्शित किया जाता है।

मानचित्रीय प्रदर्शन तंत्र

मानचित्रीय प्रदर्शन तंत्र सम्पूर्ण मूल आँकड़ा आधार या उसके एक भाग, मेनुप्लेटिड[17] आँकड़ों एवं आकाशीय प्रतिमानों से प्राप्त निर्गम[18] को तालिका या मानचित्र के रूप में प्रदर्शित कर सकता है। इच्छित निर्गमों को मुद्रक[19] या आलेखित[20] की सहायता से कागज पर प्राप्त किया जा सकता है।

मानचित्र अंकीकरण[21] तंत्र

अध्ययन हेतु विभिन्न स्रोतों से प्राप्त मानचित्र कागज पर अंकित होते है। मानचित्र अंकीकरण तंत्र इन मानचित्रों को अंकीय रूप में परिवर्तित करने में सहायक होता है। इस कार्य हेतु विद्युत–चुम्बकीय एवं 'स्थिर वैद्युत[22] तंत्र जिसे अंकरूपक[23] कहते हैं उपयोग में लाया जाता है। अंकरूपक प्रसंकेतक[24] या स्थाननिर्धारक[25] की गति को विद्युतीय चिंहित स्थिति में परिवर्तित कर देता है जिसको संगणक द्वारा सीधा ग्रहण किया जा सकता है। अधिकांशतः अंकरूपक बहुत अधिक यथार्थ[26] होते हैं और इनको सूक्ष्म संगणकों के साथ जोडा जा सकता है।

आँकडा आधार प्रबंधन तंत्र

परम्परागत ऑकडा आधार प्रबंधन तंत्र एक ऐसे साफ्टवेयर के रूप में प्रदर्शित किया जाता है जो गुण ऑकडों को निवेश के रूप में ग्रहण करता है, व्यवस्थित करता है एवं विश्लेषण करता है। भूगोलीय सूचना तंत्र न केवल इन परम्परागत ऑकडा आधार प्रबंधन तंत्रों अपितु एकत्र भूगोलीय ऑकडों के आकाशीय एवं गुणीय हिस्सों को भी व्यवस्थित करता है। ऑकडा आधार प्रबंधन तंत्र गुण ऑकडों जैसेः तालिकाबद्व एवं सांख्यिकीय सूचनाओं के संगणक में प्रवेश और विशिष्ठ सारणीयन एवं सांख्यिकीय सारांशों को तालिकाबद्व रूप में प्रदर्शित करने में सहायक होता है। ऑकडा आधार प्रबंधन तंत्र गुण ऑकडों के विश्लेषण में अत्यन्त सहायक है।

भूगोलीय विश्लेषण तंत्र

भूगोलीय विश्लेषण तंत्र परम्परागत ऑकडा आधार की जॉच[27] करने की क्षमताओं को बढाता है एवं उसे स्थान आधारित ऑकडों के विश्लेषण योग्य बनाता है। उदाहरणार्थः यदि हमें किसी क्षेत्र में गहरी काली मिट्टी में ऊँचे भूजल सतह पर आकाशीय क्षेत्र की माप करना है तो इसे परम्परागत आँकड़ा आधार प्रबंधन तंत्र के द्वारा हल नहीं किया जा सकता क्योंकि मृदा का प्रकार एवं 'भूमि उपयोग'[28] दोनों का भूगोल समान नहीं है। परम्परागत आँकड़ा आधार के द्वारा हम उन्हीं गुणों को ज्ञात कर सकते हैं जोकि एकसमान गुणधर्म प्रदर्शित करते है। परन्तु यें प्रकृति में भिन्न–2 है तो इसको परम्परागत आँकड़ा आधार से हल नहीं किया जा सकता है। आँकड़ा आधार प्रबंधन तंत्र की भॉति भूगोलीय विश्लेषण

तंत्र में भी आँकड़ा आधार के साथ दो प्रकार का ध्रुवण होता है (चित्र–2)। तथा भूगोलीय विश्लेषण तंत्र में सारी प्रक्रियाएं विशलेषणत्मक भिन्न होती है। इस प्रकार जब भूगोलीय विशलेषण तंत्र आँकड़ा आधार से आँकड़े लेकर उनका विश्लेषण करता है तो विशलेषण के उपरान्त प्राप्त विशलेषित आँकड़ों को आँकड़ा आधार में सम्मिलित भी करता है। उदाहरणार्थः यदि हमें किसी क्षेत्र में जो खड़े ढाल एवं अपरदनीय[29] भूमि सहित कृषि योग्य भूमि का निर्धारण और इसके परिणामस्वरूप प्राप्त मृदाक्षय जोखिम[30] का मानचित्र प्राप्त करना हो तो चूंकि यह जोखिम मानचित्र मूल आँकड़ा आधार में नहीं है, इसलिए इसे उपस्थित एवं विशिष्ठ सम्बन्धों के समुच्चयों को देकर प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार से हम देखते है कि भूगोलीय सूचना तंत्र एवं आँकड़ा आधार प्रबंधन तंत्र की विश्लेषणात्मक[31] क्षमताओं का उपयोग करके क्षेत्र में उपस्थित विभिन्न फीचर्स के सम्बन्धों का निर्धारण करके उपस्थित आँकडा आधार में समुचित वृद्वि की जा सकती है।

प्रतिबिम्ब प्रक्रमण[32]

कुछ भूगोलीय सूचना तंत्रों में सूदूर संवेदन प्रतिबिम्बों के विश्लेषण की क्षमता होती है जिसके द्वारा विशिष्ठ सांख्यिकीय विश्लेषण किये जा सकते है। प्रतिबिम्ब प्रक्रमण सॉफ्टवेयरों की सहायता से अपरिस्कृत[33] सूदूर संवेदित आकृति को विभिन्न वर्गीकरण विधियों द्वारा व्याख्यान योग्य मानचित्र आँकड़ों में परिवर्तित किया जा सकता है।

सांख्यिकीय विशलेषण तंत्र

यह तंत्र आकाशीय आँकड़ों का सांख्यिकीय विशलेषण करता है।

आँकड़ा संरचना

किसी सूचना तंत्र के अन्दर आँकड़ों को भिन्न–2 तरीकों से संगठित किया जा सकता है। किसी भूगोलीय सूचना तंत्र की रचना करने से पहले सर्वप्रथम किसी विशिष्ठ आकाशीय आँकड़ा संरचना का चुनाव करना आवश्यक है। आकाशीय आँकड़ा संरचना का चुनाव एकत्र आँकड़ा का आयतन तथा प्रक्रमण दक्षता दोनों को प्रभावित करता है। अतः आँकड़ें संगठित करने के विभिन्न तरीकों को जानना आवश्यक है। अधिकांश भूगोलीय सूचना तंत्र सदिश 34 अथवा रास्टर 35 में से किसी एक तकनीक द्वारा आँकडें संगठित करते है।

रास्टर आँकड़ा संरचना

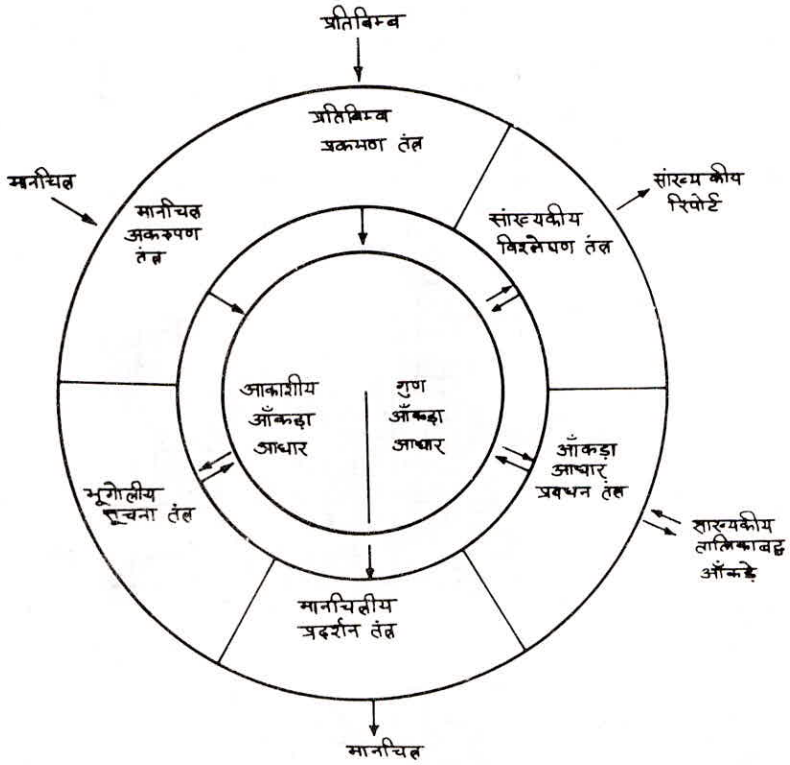
रास्टर संरचना में इच्छित पैरामीटर का एक मान आकाशीय सरणी36 के प्रत्येक कोष्ठिक37 के लिए विकसित किया जाता है। रास्टर संरचना मुख्यतः दो प्रकार की होती है। (स्टार तथा इसटेस 1990)।

साधारण रास्टर सरणी

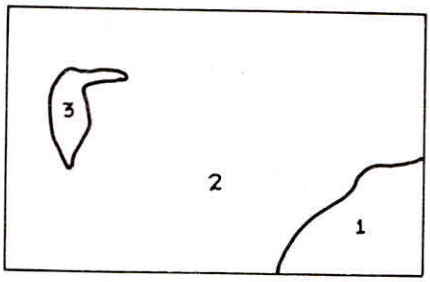
साधारण रास्टर सरणी का क्षैतिज–विमीय जो पंक्ति की सरणी के अनुसार हो, को अधिकांशतः सुविधा के लिए पर्व –पश्चिम दिशा में समानान्तर रखा जाता है। प्रतिबिम्ब प्रक्रमण की पद्वति का अनुसरण करके इन्हें बायी से दायी तरफ क्रमित किया जाता है। इसी तरह विभिन्न स्तम्भों को ऊपर से नीचे की ओर क्रमित करते है। यह क्रम पद्वति संगणक रेखाचित्र से ली गई है। साधारण रास्टर तंत्र द्वारा किसी क्षेत्र का भूमि उपयोग चित्र–3 के अनुसार संग्रहित किया जाता है।

पदानुक्रमिक[38] रास्टर संरचना

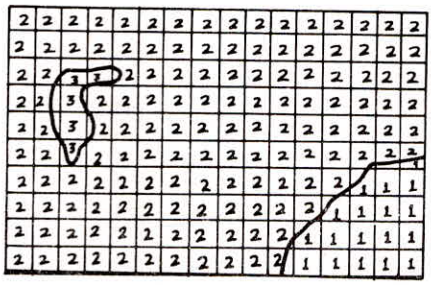
यह पिरामीडीय आँकड़ा भी कहलाती है क्योंकि आँकड़ों को एक सतह में संग्रहित न करके आपस में सम्बन्धित विभिन्न सतहों में संग्रहित करते है। इसमें प्रत्येक व्युत्पन्न की गई सतह को पिछली सतह पर रखकर एक पिरामिड की आकृति प्राप्त करते है (चित्र–4)।



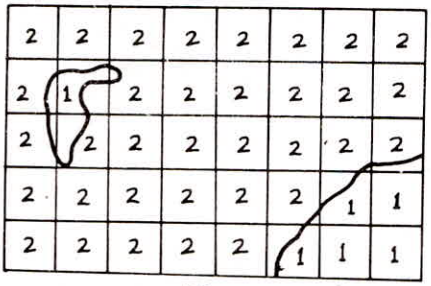
चित्र 2. भूगोलीय सूचना तंत्र में उपस्थित विभिन्न सॉफ्टवेयर



क



ख

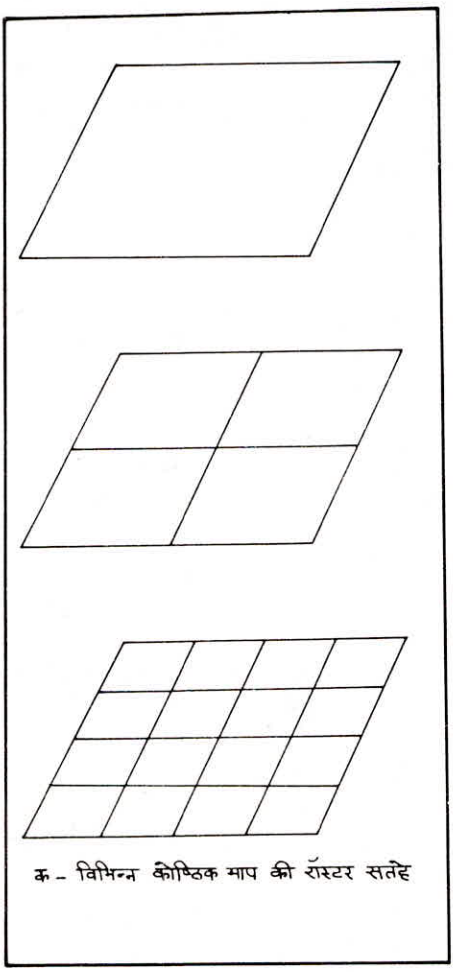


ग

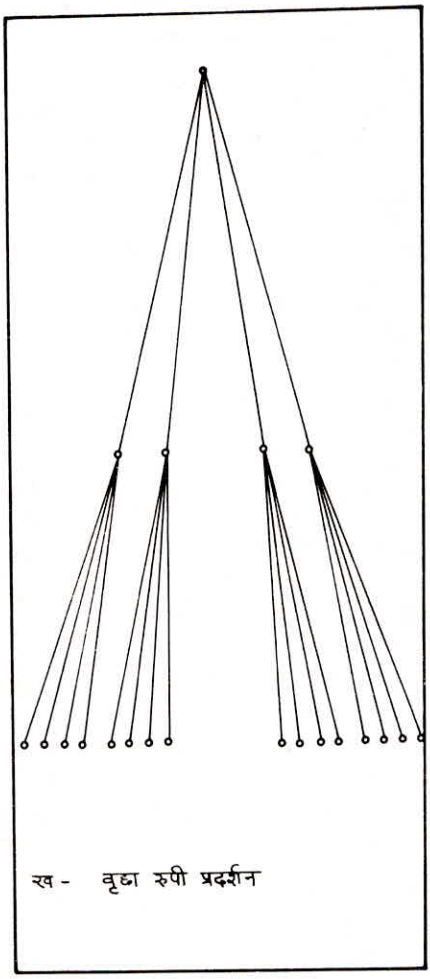
1. कृषि योग्य भूमि
2. जंगल
3. शहरी क्षेत्र

चित्र ७: न्यूनतम चित्रण इकाई

क - भूमि उपयोग चित्र, ख- रॉस्टर में परिवर्तित चित्र, ग- रॉस्टर परिवर्तित मानचित्र



क - विभिन्न कोष्ठिक माप की रॉस्टर सतेह



ख - वृक्ष रुपी प्रदर्शन

चित्र 4. पदानुक्रमिक रॉस्टर आँकड़ा संरचना

सदिश आँकड़ा संरचना

सदिश आँकड़ा संरचना में किसी लक्षण की सीमा बिन्दुओं के क्रमों से प्राप्त रेखाचित्रों के पुनः प्रदर्शन द्वारा परिभाषित की जाती है। प्रत्येक बिन्दु को निर्देशांकों X तथा Y से प्रदर्शित किया जाता है। यें निर्देशांक किसी मूल बिन्दु को निर्धारित करके उसके सापेक्ष में ज्ञात किये जाते है अथवा अक्षांस व देशान्तर के आधार पर प्रदर्शित किये जाते है। आकाशीय ऑकडों के लिए अधिकांश भूगोलीय सूचना तंत्रों में निर्देशांकों को कोडित किया जाता है तथा निवेश प्रक्रमण के पश्चात कुछ बिन्दुओं, रेखाओं, क्षेत्रफलों या बहुभुजों के संयोजन के रूप में संग्रहित करते हैं (Males 1977 Peukker and Chrisman, 1975)। संदिश आँकड़ा संरचना के बहुत से रूप सामान्यतः प्रयोग में लाये जाते हैं, जो निम्नलिखित है:

a. सम्पूर्ण बहुभुज संरचना (चित्र 5)
b. द्विस्वतन मानचित्र कोडित (DIME) फाइल संरचना
c. चाप नोट संरचना
d. सम्बन्धपरक संरचना
e. अंकीय रेखाचित्र

भूगोलीय सूचना तंत्र का विभिन्न जल-विज्ञानीय क्षेत्रों में अनुप्रयोग

भूगोलीय सूचना तंत्र एक ऐसा औजार है जिसकी सहायता से विभिन्न जटिल जल–विज्ञानीय समस्याओं के कई सम्भावित हल खोजे जा सकते है एवं इनके प्रभावों का विश्लेषण भी किया जा सकता है। जल विज्ञानीय शोधों में निम्नलिखित सम्भावित क्षेत्रों में भूगोलीय सूचना तंत्र का उपयोग किया जा सकता है:

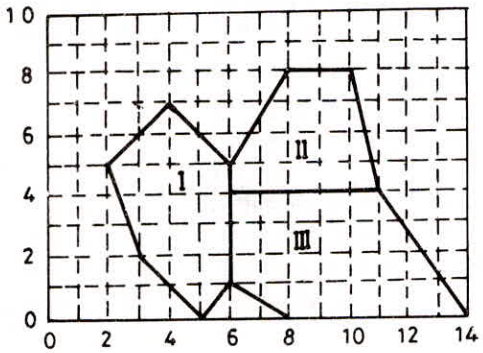
बांध स्थल के लिए स्थान का चुनाव

भूगोलीय सूचना तंत्र की सहायता से पर्यावरणीय ऑकडों का त्रिविम[39] चित्रण किया जा सकता है। विभिन्न सुदूर संवेदी उपग्रहों से प्राप्त चित्रों, उन्नयन[40] आँकड़ों तथा अन्य क्षेत्रीय आँकड़ों को भूगोलीय सूचना तंत्र निवेश[41] के रूप में उपयोग करके क्षेत्र की भूगोलीय आकृति का चित्रण किया जा सकता है। भूगोलीय सूचना तंत्र की सहायता से क्षेत्र में विभिन्न सम्भावित बॉध स्थलों का चयन करके प्रत्येक स्थल पर बँाध की लम्बाई एवं ऊंचाई, जलमग्न क्षेत्र, जलाशय की क्षमता इत्यादि सफलतापूर्वक तथा बहुत कम समय में प्राप्त की जा सकती है। इन विभिन्न सम्भावित स्थलों में से क्षेत्र के लिए सर्वश्रेष्ठ स्थल का चुनाव सम्भव है। भूगोलीय सूचना तंत्र की सहायता से मानव त्रुटि को बहुत कम किया जा सकता है।

अपशिष्ठ[42] पदार्थो के लिए स्थान का चुनाव

वर्तमान समय में बढते हुए शहरीकरण के कारण विभिन्न उपयोगों के पश्चात प्राप्त हुए उपवादों का सफलतापूर्वक निस्तारण[43] एक गम्भीर समस्या का रूप धारण कर चुकी है। अपशिष्ठ पदार्थो के निस्तारण हेतु स्थान के चुनाव में बहुत से व्यवरोध होते है।

a. स्थल समुद्र सतह से समुचित ऊँचाई पर होना चाहिए।
b. स्थल संवेदनशील[44] स्थानों जैसे: 'इन्डेन्जर्ड स्पेशीज'[45] के [illegible] से समुचित दूरी पर होना चाहिए।
c. स्थल नमभूमि[46] से समुचित दूरी पर होना चाहिए।
d. स्थल सड़क मार्ग से जुडा होना चाहिए।



बहुभुज I	बहुभुज II	बहुभुज III
4,7	8,8	6,4
6,5	10,8	11,4
6,1	11,4	14,0
5,0	6,4	8,0
3,2	6,5	6,1
2,5		6,4

चित्र 5. सम्पूर्ण बहुभुज संरचना तथा बहुभुज को परिभाषित करने वाली नोडो का अलग से भण्डारण

निस्तारण हेतु विभिन्न व्यवरोधों के निर्धारण के पश्चात पर्यावरणीय, भूगोलीय एवं सांस्कृतिक[47] ऑकडों का उपयोग करके भूगोलीय सूचना तंत्र द्वारा सम्भावित निस्तारण स्थलों का चुनाव सफलतापूर्वक किया जा सकता है।

भूगोलीय सूचना तंत्र की सहायता से जलाशयों एवं झीलों का द्विविम[48] एवं त्रिविम चित्रण किया जा सकता है। इसके लिये जल–गुणता सम्बन्धित जलाशयों एवं झीलों तथा विभिन्न स्थानों के आँकड़ों का उपयोग किया जाता है तथा साथ ही भूगोलीय गुण, अक्षांश एवं देशान्तर इत्यादि का उपयोग किया जाता है। (सेमुयेल्स, 1993)।

कृषि क्षेत्रों से आने वाले जल से समीपस्थ स्रोतों में होने वाले जल–गुणता परिवर्तन का मूल्यांकन किया जा सकता है। इसके लिए विभिन्न कृषि क्षेत्रों के भूआकृतिक आँकड़ें, मिट्टी की जल ग्रहण क्षमता, कृषि क्षेत्र से समीप के जलाशय में निरन्तर पहुंचने वाले जल की मात्रा इत्यादि आँकड़ों का उपयोग किया जाता है।(चनसेंग, रिग्स, कांग, 1993)।

सिंचाई एवं जल-संसाधन क्षमता का निर्धारण

कृषि क्षेत्रों में मृदा एवं जल स्थिति का चित्रण तथा अनुकरण[49] किया जा सकता है। इसके लिए सूदूर संवेदन आँकड़ों का भी सफलतापूर्वक उपयोग किया जाता है। विभिन्न भूमि तथा जल सम्बन्धित आँकड़ों को भूगोलीय सूचना तंत्र के माध्यम से विश्लेषित करके क्षेत्र की सिंचाई एवं जल संसाधन क्षमता समय–2 पर ज्ञात की जा सकती है। इसके लिए दो स्वतंत्र चर जैसे कि भूमि उपयोग तथा मृदा का उपयोग किया जाता है।(कालकोफ, 1993)।

जलभ्रत[50] को दूषित करने वाले स्रोतों को निर्धारण किया जा सकता है।

जल उपयोग आँकड़ों का प्रवन्धन तथा विश्लेषण किया जात सकता है।

अबिन्दु[51] प्रदूषण प्रतिरूपण[52]।

उपसंहार

भूगोलीय सूचना तंत्र के अनुप्रयोग शहर, क्षेत्र, पर्यावरण एवं जल संसाधनों के योजना तथा प्रबन्धन में तेजी से बढ रहे हैं तथा वैज्ञानिक समुदाय इसकी सम्पूर्ण क्षमता के बारे में ज्ञान अर्जित कर रहा है। विज्ञान तथा उसके अनुप्रयोगों दोनों की ओर उन्मुख भूगोलीय सूचना तंत्र के प्रयोगकर्ता[53] इस बात को समझने का प्रयास कर रहे है कि यह तंत्र विभिन्न तरीकों से सम्बन्धित अध्ययनों में मदद कर सकते है। संगणक तथा भूगोलीय प्रक्रमण तकनीक जोकि भूगोलीय सूचना तंत्र के कार्यकलापों को प्रमाणित[54] करती है, उच्च क्षमता की दिशा में बढ रही है। संगणक तकनीक, वास्तविकता में हार्डवेयर के रूप में जिसका उपयोग आँकड़ा प्रक्रमण तथा भंडारण के लिए किया जाता है, अप्रत्याशित रूप से उन्नति कर रही हैं। इसके अतिरिक्त विश्व में विभिन्न वैज्ञानिक समुदाय कृत्रिम ज्ञान के क्षेत्र में कार्य कर रहे है जिससे भूगोलीय सूचना तंत्र को अधिक कार्यक्षम[55] तथा उन लोगों के लिए अधिक कल्याणकारी बनाया जा सके जिन्हें संगणक का सीमित ज्ञान है। अंततः भूगोलीय सूचना तंत्र एक ओर रास्ता है जिससे हम सम्बन्धित विषय जैसे कि: जल–विज्ञान, जली संसाधन, पर्यावरण इत्यादि में अपनी सूझ–बूझ को बढाकर अधिकाधिक आँकड़ों का प्रयोग करके अधिक तीव्रता से बहुत कम त्रुटि के साथ समस्या का हल खोज सकते हैं।

1. GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
2. AERIAL PHOTOGRAPH
3. CADASTRAL MAP
4. WATERSHED MANAGEMENT
5. CONSTRAINTS
6. DESIGN
7. PRECISION

8. CONSISTENCY
9. COMPUTATION ERROR
10. CARTOGRAPHIC DATA BASE
11. PATTERNS
12. TRENDS
13. DATA BASE
14. ATTRIBUTE DATA BASE
15. FEATURES
16. ISOHYETS
17. OUTPUT
18. PRINTER
19. PLOTTER
20. DIGITIZING
21. ELECTROSTATIC
22. DIGITIZER
23. CURSOR
24. POINT LOCATOR
25. ACCURATE
26. QUERY
27. LAND USE
28. ERODABLE
29. RISK
30. ANALYTIC
31. IMAGE PROCESSING
32. RAW
33. VECTOR
34. RASTER
35. ARRAY
36. CELL
37. HIERARCHICAL
38. THREE DIMENSIONAL
39. ELEVATION
40. INPUT
41. WASTE
42. DISPOSAL
43. SENSITIVE
44. ENDANGERED SPACIES
45. WETLAND
46. CULTURAL
47. TWO DIMENSIONAL
48. SIMULATION
49. AQUIFER
50. NON POINT
51. MODELLING
52. USER
53. SUPPORT
54. EFFICIENT

सन्दर्भ सूची

Chansheng He, James F. Riggs and Yung-Tsung Kang, 1993, Integration of Geographic Information Systems and Computer Model to Evaluate Impacts of Agricultural Runoff on Water Quality. Water Resources Bulletin, Vol.29, pp. 891-900.

Kalkhoff, S.J., 1993, Using a Geographic Information System to Determine the Relation Between Stream Quality and Geology in the Roberts Creek Watershed, Clayton, Iowa. Water Resources Bulletin, Vol.29, pp. 989-996.

Lohani, A.K., 1995, GIS in Hydrology and Effect of Landuse changes on Albedo, Climate and Water Resources. UNDP Training Report, National Institute of Hydrology, Roorkee.

Males, R.M., 1977, ADAPT - A Seatial Data Structure for Use with Planning and Design Models, Working Papers from the Advanced Study Symposium on Topological Data Structures for Geographic Information Systems, Vol.2, pp. 1-35.

Peucker, T.K. and N. Chrisman, 1975, Cartographic Data Structures. The American Cartographer, Vol.2, No.1, pp. 55-59.

Samuels, W.B., 1993, LAKEMAP: A 2-D and 3-D Mapping System for Visualizing Water Quality Data in Lakes. Water Resources Bulletin, Vol. 29, pp. 917-922.

Star J. and Estes J, 1990, Geographic Information Systems - An Introduction. Prentice Hall, New Jersey.