

と持続性を高めるために、DPHE（公衆衛生工学局 Department of Public Health Engineering、中央政府農村開発協力省地方行政局 Local Government Division (LDG), Ministry of Local Government, Rural Development and Cooperation の水供給を担当する部局) の巻き込みと訓練及び AMC (=砒素汚染対策委員会 arsenic mitigation committee) の組織化と支援が行われた。AMC は、この SAM-ILGS プロジェクトにおいて、その円滑な実施のために、Sharsha Upazila 及び Chowgacha Upazila のプロジェクト実施サイトを含む 4 レベルの地方行政単位、すなわち上位から順に District、Upazila、Union 及び Ward の各々に、新たに設置されたものである。

表-1 JICA/AAN プロジェクトの概略

項目	AM プロジェクト	SAM-ILGS プロジェクト
名称	飲料水砒素汚染の解決に向けた移動砒素センタープロジェクト Integrated Approach for Mitigation of Arsenic Contamination of Drinking Water in Bangladesh: An Arsenic Mitigation Project in Sharshsa Upazila, Jessore	持続的砒素汚染対策プロジェクト Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore
実施期間	2002年1月～2004年12(3年間)	2005年12月～2008年12月(3年間)
対象地域	Sharsha Upazila	Sharsha 及び Chowgacha Upazila
裨益人口	約2万人	約2万6千人
飲料水代替供給施設の設置数	63	151

(1) 意識啓発

- 1) 意識啓発活動は、コミュニティー開発活動の一部として行われた。
- 2) 意識啓発活動の主な内容は、フリップチャート、フラッシュカード、ビデオなどを用いた住民への情報伝達であった。水質検査や他地域住民との経験交換なども、意識啓発活動の一部として含まれていた。
- 3) 意識啓発活動の目標は、住民に対して、砒素汚染の結果どのようなことになるか、そして、この問題をどのようにしたら解決することができるかを教えることであった。
- 4) 意識啓発活動の一つの問題点は、ジェンダーであった。主人の在宅中に、その妻である女性が集会に参加することは容易でなかった。
- 5) 意識啓発活動では、BRAC (バングラデシュ最大規模の NGO) によるプロジェクトや WASH (Water, Sanitation and Hygiene) プロジェクトなどと連携が図られた。
- 6) 「住民参加による検討と行動 (participatory reflection and action; PRA)」は、受益者とプロジェクト実施主体との間での協調関係の醸成に重要であった。

7) SAM-ILGS プロジェクトは、住民の意識啓発に貢献し得た。しかしながら、住民による理解と行動の間にはギャップが残されている。

(2) コミュニティー開発

- 1) コミュニティー開発活動の目的は、コミュニティのイニシアティブを生み出すことであった。
- 2) コミュニティー開発活動の内容は、情報共有、意識啓発、関係構築などであった。
- 3) 4つの異なる行政レベルごとの AMC の役割は、意思決定、上位レベル AMC が決定したことの実施、モニタリング、調整、村落住民の支援などである。
- 4) 利用者組合 (User Committee; UC) は、組合長 (Chairman)、書記 (Secretary)、会計 (Accountant 又は Cashier)、2名 (少なくとも内 1名は女性) の維持管理担当者 (Care Taker) (“care” は device care の意味)、Ward AMC メンバーにより構成される。
- 5) UC は、毎月、Union AMC にモニタリングレポートを提出しなければならないことになっている。
- 6) 住民は飲料水代替供給施設建設費の 10%相当額を拠出した。この拠出金の各戸による負担割合は、UC が各戸の負担能力を考慮して決めた。住民から徴収した拠出金は銀行口座に預金し、必要に応じて水供給施設の維持管理のために支出している。このほか、住民は、一定額の運転・維持管理費 (施設ごとにそのタイプに応じて毎月 5~15 タカ/戸に設定。1 タカ=約 1.4 円) を負担しなければならない。なお、JICA/AAN による 2つのプロジェクトでは、施設建設費はすべてプロジェクト予算により賄われた。

(3) 飲料水代替供給施設の整備

- 1) この活動の目的は、飲料水代替供給施設を設置して、住民に砒素汚染のない飲料水を供給することであった。
- 2) AM プロジェクトでは 63ヶ所、SAM-ILGS プロジェクトでは 151ヶ所の飲料水代替供給施設を設置した。
- 3) 施設整備後に遭遇した水量・水質面での多くの様々な技術的問題は、現在 (2009 年 8 月時点) までにすべて解決した。
- 4) UC から Union AMC への月例モニタリング報告書提出システムの構築は、SAM-ILGS プロジェクトにおいてだけで、AM プロジェクトでは構築されなかった。
- 5) Union の職員が、フィールドテストキットを用いた砒素濃度測定を 1 試料 TK 50 (約 70 円) で実施するようにしている。
- 6) SAM-ILGS プロジェクトでは、6 サイトで安全な飲料水供給施設整備の目途が立たなかった。
- 7) JICA/AAN によるプロジェクトでは、飲料水代替供給施設から発生する砒素含有汚泥の処理についてまでは検討できなかった。これは今後の課題として残されている。

(4) 砒素中毒患者の支援

- 1) 医薬品と安全な水の2つの要素は、砒素中毒患者の健康状態の改善に寄与した。
- 2) 貧困と栄養不良は砒素中毒と密接に関係している。砒素中毒のために働けない貧しい患者の栄養状態は、その健康状態をより悪くしている。
- 3) 砒素の摂取量が同程度であっても、免疫と栄養状態のレベルによりその健康影響が異なることは、JICA/AAN プロジェクトの結果から明らかである。
- 4) SAM-ILGS プロジェクトでは、砒素中毒患者の入院治療費は、患者が 10%、AAN が 90%の割合で負担した。
- 5) 2008 年まで、UHC (=Upazila 保健所 Upazila Health Complex) が患者に支給した医薬品(酸化防止薬、ビタミン A、C 及び E)の費用は ADP (=年次開発計画 Annual Development Programme) 予算で、また、AAN が支給した医薬品(角化症用の軟膏)の費用は AAN によって賄われた。2009 年には、DGHS (=保健局 Directorate General of Health Services、中央政府保健・家族福祉省 Ministry of Health and Family Welfare の一部局) が購入した医薬品(酸化防止薬、並びに、Zn、Fe 及び葉酸 folic acid を含む無機塩類のサプリメント) が UHC を通して患者に支給されている。
- 6) 砒素中毒症は明らかに結婚の妨げとなっている。SAM-ILGS プロジェクトでは、もし夫がそれを知ったら叱られるからとの理由で、患者である妻の面接調査ができなかったことがあった。
- 7) UHC のヘルスアシスタントによる全家庭への訪問は、政府が規則として決めていることである。2009 年 8 月時点で、先のプロジェクトで対象とした Sharsha Upazila と Chowgacha Upazila についての達成率は 60~70%であるが、他の地域の達成率は 40~50%に留まっている。
- 8) UHC による砒素中毒患者データ記録システムは良く機能している。フォローアップ活動が継続して行われており、先のプロジェクトの対象地域では、この目的のために常時 1 名の医師が業務に携わっている。

2. SAM-ILGS プロジェクトのフォローアップ・成果普及活動とその成果

フォローアップチームの期間は、2009 年 1 月~2010 年 6 月の 1 年半である。フォローアップチームは、スタッフ 6 名、フィールドファシリテーター 6 名、運転手 1 名の計 13 名により構成されており、すべて現地人である。このチームの業務は JICA 専門家 (DPHE、砒素対策技術アドバイザー) が指導している。活動内容は、Chowgacha 及び Sharsha の 2 つの Upazila における SAM-ILGS プロジェクトのフォローアップ、並びに、Abhaynagar、Bagherpara、Jhikargacha、Keshabpur、Manirampur 及び Sadar の 6 つの Upazila における、SAM-ILGS プロジェクトで開発した総合的砒素対策アプローチの普及である。また、Chowgacha 及び Sharsha Upazila では、フォローアップだけでなく、SAM-ILGS プロジェクトで飲料水代替供給施設を整備しなかったコミュニティへの成果普及活動も実施している。

SAM-ILGS プロジェクトが 2008 年末に終了したのち、UC (利用者組合 User Committee) や Union AMC (砒素汚染対策委員会 Arsenic Mitigation Committee。SAM-ILGS プロジェクトにおいて、Sharsha Upazila 及び Chowgacha Upazila を含む 4 レベルの地方行政単位、すなわち上位から順に District、Upazila、Union 及び Ward の各々に設置された) の活動は一時急激に低下したが、フォローアップ開始後にほぼ満足なレベルにまで回復している。これらの活動の一時的な低下の原因は定かでないが、当時の政治的な状況が影響を及ぼしていた可能性もある。

また、フォローアップチームが行っている成果普及活動の一般的な手順は次のとおりである。

- 1) Upazila 行政担当者との協議
 - 2) Union 議長らとの会合
 - 3) Upazila オリエンテーションプログラムの開催 (Jhikargacha Upazila の場合には、以下の人たちが参加) と Union AMC 及び Ward AMC の設置
 - ・ DPHE* Sub-Assistant Engineer
 - ・ Upazila Health and Family Planning Officer
 - ・ Sharsha UNO (Upazila Nirbahi (=Executive) Officer)
 - ・ Sharsha UP (Union Parishad = 議会) 議長
 - ・ Jhikargacha UNO (同上)
- *DPHE : DPHE (Department of Public Health Engineering) の出先機関。
- 4) Upazila 独自予算による各 Union に 1 台の砒素フィールドテストキット (TK 5,500 = 約 7,700 円) の購入
 - 5) 交換訪問プログラムの実施 (3 回)
 - 6) 能力開発、意識啓発、医師・ヘルスアシスタントの訓練、DPHE 職員の技術訓練及び Union レベルでの砒素濃度測定の実施
 - 7) (予算確保が可能な場合) 飲料水代替供給施設の設置

成果普及活動がすでに行われている Jhikargacha Upazila での成果は、以下のとおりである。

- 1) Union レベルでの砒素濃度測定が実施できるようになった
- 2) 各 Union で AMC が設置されて活動を始めた
- 3) DPHE の能力開発が行われた
- 4) 砒素中毒患者の確認と支援、並びに、HC (Health Complex) の能力開発が行われた
- 5) 砒素濃度試験結果の報告システム (Union から Upazila へ) が確立され、意識啓発用 CD が配布された

Jhikargacha での訓練前後の医師及びヘルスアシスタントによる調査では、砒素中毒患者確認結果は次のようであった。

- ・訓練前：144名
- ・訓練後：253名（+288名の推定患者*）

*HC (Health Complex) が保有する医薬品及びヘルスカードに制約があるため、いまだ推定の段階にとどまっている。

このことが、砒素中毒患者の増加を意味するのか、あるいは診断精度の向上によるものなのかは明らかでない。Keshabpur Upazila では230名の砒素中毒患者がいると言われているが、Jhikargacha Upazila と同様に今後その数は増加することが予想されている。

さらに、以上のこととは別に、フォローアップチームの支援により Chowgacha 及び Sharsha Upazila においては、コミュニティからの申し出に基づき、LGSP (=Local Government Support Program) *予算が、飲料水代替供給施設の設置や砒素濃度フィールドテストキットの購入など、砒素対策のためにより効果的に使われるようになってきている。この事実は、飲料水砒素汚染問題の現状改善に向けて、地域のコミュニティを勇気づけるものである。2009年12月現在、Chowgacha Upazila では2つの飲料水代替供給施設がすでに完成している。このうち Patibila Union に新たに設置された飲料水代替供給施設について、以下に紹介する。

*世界銀行による地方政府支援プロジェクト。水・衛生に特化したものではないが、Union にブロック補助金として開発資金を投入している。

この飲料水代替供給施設は、フォローアップチームの支援により、地域住民である一農村婦人（以下、A夫人）のイニシアティブとリーダーシップのもとで完成した。当初からその完成までの経緯は以下のとおりである。

- 1) 2008年の管井戸スクリーニングで、汚染された井戸が多数あることが判明
- 2) 問題解決につき会合を開いて議論し、Union に飲料水代替供給施設設置を要請することで合意
- 3) A夫人の訴えを Union 議長が受諾
- 4) Union Parishad が予算の手当てを決定（内諾）
- 5) A夫人による Para (Village=村の構成単位) の組織化と下記の実施
 - ・ Rapa マップの作成
 - ・ Para 会合の開催
 - ・利用者リストの作成
 - ・ UC (利用者組合 User Committee) の結成
 - ・利用者拠出金額の決定、徴収、銀行口座の開設及び預金
 - ・ Union Parishad に飲料水代替供給施設の建設を申請
- 6) Union 議長が DPHE に適性試験実施の要請状を発出
- 7) DPHE が適性試験を実施し、AIRP (砒素・鉄除去プラント Arsenic Iron Removal

Plant) の設置を認証

8) DPHE による建設費用の試算と施設の設計

9) Union Parishad による建設予算の手当

10) A 夫人を議長とする PIC (=プロジェクト実施委員会 Project Implementation Committee) を組織

11) DPHE による技術支援 (品質保証など) のもとに PIC 議長 A 夫人が建設資材を購入

12) 飲料水代替供給施設を建設

13) Union Parishad が水質試験を行った上で、施設の利用を許可

以上が、飲料水代替供給施設の建設に至るまでの経緯の概略である。

Patibila Union への 2008-2009 年の LGSP (Local Government Support Programme) 予算は TK 500,000 で、そのうちこの施設の建設のために割り当てられた予算は TK 75,000 であった。現在、Patibila Union では、さらに 2 つの飲料水代替供給施設が計画中とのことである。

D. 結論

水供給分野の国際援助プロジェクトでは、施設の大小にかかわらずほとんど場合において、施設完成後にその適切な運営・管理に関してフォローアップが実施されることはない。本研究で調査対象とした SAM-ILGS プロジェクトは、総合的なアプローチによる地下水砒素汚染対策プロジェクトであるだけでなく、それに引き続いて上記のようなフォローアップを実施し、その成果の定着による持続性の確保を目指している点においても、極めて重要な事例である。

プロジェクト終了後に UC や Union AMC の活動が顕著に低下したことは、不安材料として懸念されるが、その後はフォローアップ活動によりほぼ満足できるレベルにまで回復してきている。そして、特筆すべきは、フォローアップと同時に行われている砒素汚染対策に関する総合的なアプローチの普及活動により、援助資金でなく自主財源により新たな飲料水代替供給施設が整備され始めていることである。このことは、今後の水分野における国際援助のあり方について、新たな可能性を示唆するものである。

E. 研究発表

なし

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

なし

参考文献

- 1) Japan International Cooperation Agency (JICA) and Asia Arsenic Network (AAN) (2004) Integrated Approach for Mitigation of Arsenic Contamination of Drinking Water in Bangladesh: An Arsenic Mitigation Project in Sharshsa Upazila, Jessore. November 2004.
- 2) Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Final Report. Local Government Division, Ministry of Local Government, Rural Development & Cooperatives, and Japan International Cooperation Agency, November 2008.
- 3) 独立行政法人国際協力機構アジア第二部(2004) バングラデシュ人民共和国 開発パートナー事業「飲料水砒素汚染の解決に向けた移動砒素センタープロジェクト」終了時評価調査報告書、平成 16 年 10 月
- 4) Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Handbook: Practice of Sustainable Arsenic Mitigation. ISBN984-300-002495-6.
- 5) LGD-JICA Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2007) Project Report No.2: Sustainable Evaluation of Alternative Water Sources, February 2007.
- 6) LGD-JICA Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Project Report No.4: Practice of Arsenicosis Patient Management, January 2008.
- 7) LGD-JICA Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Project Report No.5: Water Quality Monitoring System with Community Initiatives and Local Government Support, June 2008.
- 8) LGD-JICA Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Project Report 6. Safe Water Device: Characterization and Maintenance, October 2008.
- 9) LGD-JICA Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Project Report No.7: Safe Water Supply through Local Government, October 2008.
- 10) LGD-JICA Sustainable Arsenic Mitigation under Integrated Local Government System in Jessore (2008) Project Report No.8: Capacity Development of User Committee for Sustainable Safe Water Supply, November 2008.

研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

1. 論文発表

- ・ Impact of Ground Water Depth on Arsenic and Iron Correlation in Bangladesh: GIS Approach, Fahim Nawroz Tonmoy, Md. Mafizur Rahman and Hidetoshi Kitawaki, International Journal of Applied Environmental Sciences, Vol. 4, No.4, 2009, pp.437-458

2. 学会発表

- ・ バングラデシュ村落部における住民の水使用形態とヒ素除去装置の商業化に関する研究、眞子岳、北脇秀敏、MD. Mafizur Rahman, Kamul Islam Rizvi、第20回国際開発学会全国大会報告論文集、2009年11月、pp.70-73
- ・ カンボジア国村落部における地下水砒素汚染に関する研究、五十嵐堅治、ロス・ソパク、北脇秀敏、第20回国際開発学会全国大会報告論文集、2009年11月、pp.364-367

研究成果の刊行物・別刷

Impact of Ground Water Depth on Arsenic and Iron Correlation in Bangladesh: GIS Approach

¹Fahim Nawroz Tonmoy, ²Md. Mafizur Rahman* and ³Hidetoshi Kitawaki

¹*Geo-Environmental Engineer, Concept Engineering Consultants Ltd. Acton,
London-W3 0RF, United Kingdom
Email: tonmoy_bd@hotmail.com*

²*Corresponding author: Professor, Department of Civil Engineering, Bangladesh
University of Engineering & Technology, Dhaka-1000, Bangladesh
Email: mafizur@gmail.com*

³*Faculty of Regional Development Studies, Toyo University
1-1-1 Izumino, Itakuramachi, Gumma 374-0193, Japan
E-mail: Kitawaki@itakura.toyo.ac.jp*

Abstract

Aquifer depth is a major factor for water quality which is found to be different in the different depth of wells. In this study data of 4367 wells were categorized for analysis as per their geographic locations as well as the depth variation of wells. Correlation analysis was performed in four different patterns and results were compared within the patterns. It is evident from the study that correlation between arsenic and iron concentration of ground water is not constant for each depth level, rather it varies with the depth of well and a zone or belt of a region can be observed of similar correlation coefficient for each depth layer. From the analysis and produced GIS maps it was observed that for 41% districts correlation coefficient tends to decrease with the increase of well depth which indicates a tendency of reduction of correlation coefficient with the increase of well depth. The produced GIS maps and regression analysis results will enable to predict tentatively or statistically the arsenic concentration of a well of specific depth by only knowing the iron concentration of the same well. This will help in reducing the need and thus cost for frequent measurement of arsenic in many areas where high correlation of the two is observed and reported here.

Keywords: GIS mapping, Correlation, arsenic, iron, well depth layer, contamination

Introduction

Water extracted from shallow aquifers is the primary source of drinking and cooking water for most of the 150 million populations in Bangladesh. An estimated ten million domestic wells constitute the backbone of rural water supply in the country. The urban water supply is also heavily dependent on groundwater. The discovery of widespread arsenic contamination of groundwater in Bangladesh has led to a re-assessment of water quality. The national hydro-chemical survey of groundwater conducted by the British Geological Survey (BGS) and the Department of Public Health Engineering (DPHE) have shown that large numbers of wells in Bangladesh also exceed permissible limits for iron(Fe) and arsenic (As) (BGS, DPHE, 2001). Arsenic contamination in groundwater has originated in the Indian state of West Bengal and neighbouring Bangladesh, particularly on the east side of the Ganges-Bhagirati contaminating ground water of Bangladesh (Karim Md. Masud, 2000). The World Health Organization (WHO) has set guideline value for arsenic in drinking water as 0.01 mg/L (WHO, 1993). Department of Environment (DoE) of Bangladesh has set the standard for arsenic for Bangladesh in drinking water as 0.05 mg/L (DoE, 1991). For drinking water allowable limit for iron is 0.3 to 1mg/L. But in Bangladesh iron content is very high in ground water.

Several models for aquifer classification are provided by different researches. According to Groundwater Taskforce (GWTF, 2002) aquifer system of Bangladesh is classified according to the Fig 1.

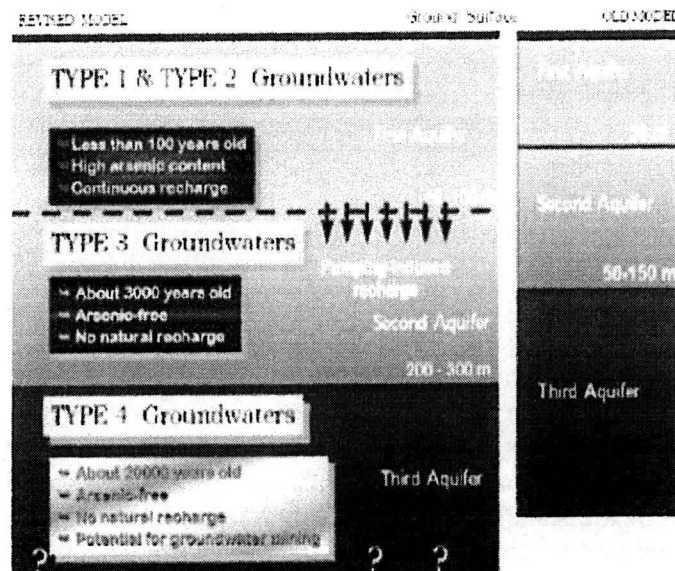


Figure 1: Proposed aquifer system for Bangladesh (Aggarwal et al., 2000).

The Ground Water Task Force (GWTF, 2002) in their report provided a classification from geological point of view. According to this classification, as shown in Figure 2, the major aquifers are: Upper Holocene Aquifer, Middle Holocene Aquifer, Late Pleistocene-Early Holocene Aquifer and Plio-Pleistocene Aquifer (DPHE-APSU-JICA, 2006).

Measurement of arsenic concentration in water is very expensive. It requires modern laboratory facility and expensive chemical. Determination of iron concentration is relatively simpler and cheaper than that of concentration of arsenic and also easily available in Bangladesh. GIS representation of this analysis result will help to describe the geographical distribution and effect of depth variation of wells for the correlation between arsenic and iron concentration in ground water. By using the regression analysis and GIS maps of depth wise correlation between the two parameters the presence of arsenic in a well can be tentatively predicted by testing the presence of iron of the same well only. This can save a lot of money if it is used in a large scale. This map will also show the population vulnerable due to high arsenic and iron in ground water of Bangladesh.

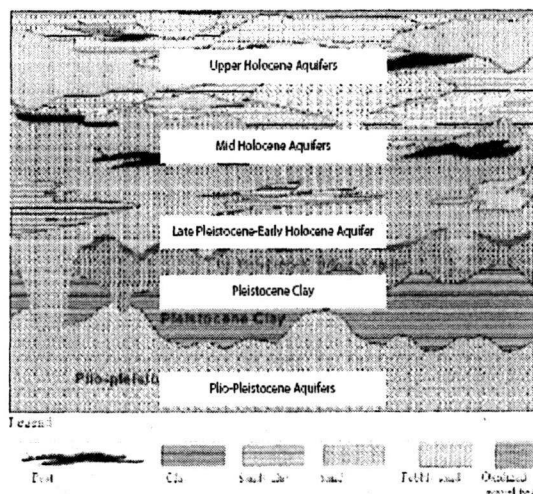


Figure 2: Schematic geological classification of aquifers of Bangladesh (GWTF, 2002).

The correlation is one of the most common and most useful statistics. A correlation is a single number that describes the degree of relationship between two variables. The measurement scales used should be at least interval scales, but other correlation coefficients are available to handle other types of data. Correlation coefficients can range from -1.00 to +1.00. The value of -1.00 represents a perfect negative correlation while a value of +1.00 represents a perfect positive correlation. A value of 0.00 represents a lack of correlation.

Data Collection

The national hydrochemical survey of groundwater conducted by the British Geological Survey (BGS) and the Department of Public Health Engineering (DPHE) in 2001 (BGS, DPHE, 2001) presented water quality data of 3364 wells. Those data were a major source of this study. Data of another survey conducted by DPHE in 2007 for the 2nd phase of DPHE-JICA project in the south-eastern part of Bangladesh was also used in this research. Those two data sets were compiled together to form a water quality data base of 4367 wells. Data of 61 administrative districts of Bangladesh was thus available for analysis. Data of Rangamati, Bandorban and Khagrachori are not available for analysis.

Methodology

Data base of 4367 wells of 61 among 64 administrative districts of Bangladesh are available for analysis. This leads to separation of 61 sets of water quality data which includes arsenic and iron concentration of ground water. Correlation analysis was performed in four different patterns (Table 1). In pattern-01 analysis was performed without categorizing any data. In pattern-02 correlation analysis was performed by separating data as per depth of wells. In pattern-03 correlation analysis was performed by separating data as per geographical location which is 61 administrative districts of Bangladesh. In pattern-04 data were separated both by geographic locations and depth of wells. Aquifer classification as per Ground Water Task Force shown in Fig 1 shows two models of wells, Old and New. In this study old model of classification was followed as all the wells of the data set of this study lies within the three layers shown in this model, 0 to 50m, 51 to 150m and greater than 150m (Fig 1). These three depth layers are termed in this research as D1, D2 and D3 respectively.

Table: 1 Analysis patterns used in this study.

	Depth Variation	Geographical Location
Pattern-01	X	X
Pattern-02	√	X
Pattern-03	X	√
Pattern-04	√	√

X = not considered, √ = Considered

Four different comprehensive correlation maps of different area of Bangladesh was developed using Geographic Information System (GIS) software. Results of data analysis of four different patterns showed in Table 1 were used to prepare these correlation maps. Regression models were also developed for each depth layers of

each district so that the presence of arsenic in a well of each district can be tentatively verified by testing the presence of iron of the same well only.

Result and Discussion

Total 4367 number of data is used for analysis in this study. Data of 61 administrative districts of Bangladesh were available for analysis. In this analysis wells are classified in three depth layers. One group is less than 50m depth (D1). Another one is between 50m to 150m depth (D2). The last one is greater than 150m depth (D3). The first depth range D1 is chosen as depth below 50m which is the most common source of palatable water through hand tube well in the village areas of Bangladesh.

More over depth of 56.23% sample of this analysis is less than 50m where arsenic problem is acute (Fig 3). The second range D2 in which well depth of 20% sample lies. In this layer arsenic concentration is less acute than the first layer. The least contaminated layer is depth greater than 150m (D3) in which 23.67% sample lies.

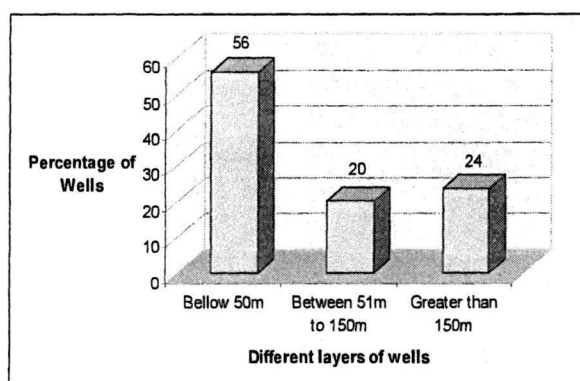


Figure 3: Percentage of wells in each depth group.

If the depth range of wells below 50m, wells between 50m to 150m and wells above 150m depth are termed as 1, 2 and 3 respectively. The graphical representation of arsenic and iron concentration in these layers can be shown in Figure 4. In D1 (Termed as 1 in Fig 4) both arsenic and iron concentration is higher than the other two depth ranges. In D3 group (Termed as 3 in Fig 4) less concentration of both arsenic and iron are observed.

When the data of 4367 wells were analyzed it was found that total 38.2% of data exceed the WHO guideline value of As of $10\mu\text{g/L}$. Among these 34.5% data which are of shallow wells (Depth $<$ 150m) exceeds WHO guideline value of $10\mu\text{g/L}$. For Bangladesh DoE (DoE, 1997) sets the arsenic guideline value as $50\mu\text{g/L}$. For this 20.3% data exceeds the Bangladesh standard of $50\mu\text{g/L}$. Problem is more acute in shallow wells as it shows 20.1% data exceeding the Bangladesh standard. Only 0.1%

of deep wells exceed Bangladesh standard. The results are shown in the tabular form in the tables 2 and 3.

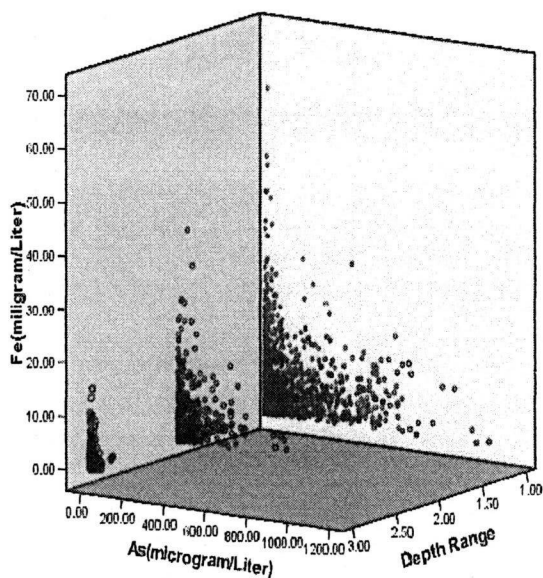


Figure 4: Depth variation for arsenic and iron.

Table 2: Frequency and Percentage of wells exceeding Bangladesh standards of arsenic.

	Frequency	Percent	Cumulative Percent
As>50µg/L Depth<50m	689.0	15.8	15.8
As>50µg/L Depth 50m-150m	190.0	4.4	20.1
As>50µg/L Depth>150m	6.0	0.1	20.3
As<50µg/L Depth<50m	1767.0	40.5	60.7
As<50µg/L Depth 50m-150m	687.0	15.7	76.5
As<50µg/L Depth>150m	1028.0	23.5	100.0
Total	4367.0	100.0	

Table 3: Frequency and Percentage of wells exceeding WHO standards of arsenic.

	Frequency	Percent	Cumulative Percent
As>10µg/L Depth<50m	1097.0	25.1	25.1
As>10µg/L Depth 50m-150m	408.0	9.3	34.5
As>10µg/L Depth>150m	165.0	3.8	38.2
As<10µg/L Depth<50m	1359.0	31.1	69.4
As<10µg/L Depth 50m-150m	469.0	10.7	80.1
As<10µg/L Depth>150m	869.0	19.9	100.0
Total	4367.0	100.0	

All available data irrespective of combination and depth range were analyzed (Table 4) to find the correlation between arsenic and iron concentration. The correlation coefficient is 0.195.

Table 4: Correlation between arsenic and iron using all available data (Pattern-01).

Correlation coefficient	0.195
Number of Data	4367
Significance	0.0001

In pattern-02 all the data (4367) were categorized as per three depth layers, D1, D2 and D3 as described earlier. Correlation analysis was performed with those three separated data sets. All the three layers show very insignificant correlation coefficient (Table 5). Among these three layers depth layer between 50m and 150m shows maximum correlation of 0.189.

Table 5: Correlation between arsenic and iron for three depth layers (Pattern-02).

	Correlation Coefficient	Significance level
Depth<50m	0.15	0.00001
Depth between 50m & 150m	0.189	0.00001
Depth>150m	0.18	0.00001

Soil profile varies as the major part of Bangladesh is on the delta formed by the three major rivers Brahmaputra, Ganges and Meghna. This leads to an idea that

correlation of arsenic and iron concentration of ground water may be a zonal phenomenon rather a national phenomenon. In pattern-03 data were categorized considering the geographic location only. In this pattern-03 depth variation of wells are considered. When district wise categorized data were analyzed, correlation coefficient varies for different location of Bangladesh. Results of correlation analysis as per geographical locations are provided in the Table 6.

Table 6: Correlation coefficients of 61 districts of Bangladesh and the significance level of the result.

District	Correlation coefficient	Significance level	District	Correlation coefficient	Significance level
Bagerhat	0.55	0.0001	Magura	0.61	0.0001
Barguna	0.36	0.011	Manikganj	0.44	0.002
Barisal	0.6	0.0001	Maulvibazar	0.02	0.871
Bhola	0.86	0.0001	Meherpur	0.69	0.004
Bogra	0.43	0.0001	Munshiganj	0.15	0.318
Brahamanbaria	0.19	0.069	Mymensingh	0.76	0.0001
Chandpur	0.11	0.381	Naogaon	0.2	0.051
Chittagong	-0.08	0.439	Narail	0.66	0.0001
Chuadanga	0.51	0.002	Narayanganj	0.43	0.008
Comilla	0.14	0.076	Narsingdi	0.53	0.0001
Cox's Bazar	-0.05	0.701	Natore	0.47	0.0001
Dhaka	0.44	0.001	Nawabganj	0.21	0.175
Dinajpur	0.72	0.0001	Netrokona	0.31	0.007
Faridpur	0.58	0.0001	Nilphamari	0.82	0.0001
Feni	-0.07	0.587	Noakhali	0.05	0.729
Gaibandha	0.1	0.394	Pabna	0.33	0.004
Gazipur	0.27	0.073	Panchagarh	0.93	0.0001
Gopalganj	0.58	0.0001	Patuakhali	0.3	0.021
Habiganj	0.09	0.428	Pirojpur	0.6	0.0001
Jaipurhat	0.21	0.193	Rajbari	0.56	0.0001
Jamalpur	0.45	0.0001	Rajshahi	0.53	0.0001
Jessore	0.39	0.0001	Rangpur	0.46	0.0001
Jhalakati	0.88	0.0001	Satkhira	0.48	0.0001
Jhenaidah	0.36	0.0001	Shariatpur	0.68	0.0001
Khulna	0.36	0.0001	Sherpur	0.17	0.233
Kishoreganj	0.62	0.0001	Sirajganj	0.19	0.071
Kurigram	0.19	0.105	Sunamganj	-0.16	0.139
Kushtia	0.07	0.579	Sylhet	0.11	0.289
Lakshmipur	0.06	0.752	Tangail	0.33	0.002
Lalmonirhat	0.67	0.0001	Thakurgaon	0.56	0.0001
Madaripur	0.74	0.0001			

In pattern-04 data were categorized not only as per geographic locations but also as per depth layer of wells. Data of each of 61 districts were separated as per their depth layer which means 3 set of data for each of 61 districts. Correlation analysis was performed for each data set and results are provided in the Table 7.

Table 7: Correlation coefficient of arsenic and iron concentration of three depth layers of 61 districts (Pattern-04) and comparison with correlation coefficient.

District	Depth<50m		Depth between 50m & 150m		Depth>150m		Without Depth variation
	Correlation coefficient	Significance level	Correlation coefficient	Significance level	Correlation coefficient	Significance level	Correlation coefficient
Bagerhat	0.40	0.0024	0.00	-	0.32	0.1458	0.55
Barguna	0.22	0.8594	0.00	-	0.02	0.8849	0.36
Barisal	0.38	0.0148	1.00	-	0.04	0.7757	0.60
Bhola	1.00	-	0.00	-	-0.05	0.7282	0.86
Bogra	0.43	0.0000	0.00	-	0.00	-	0.43
Brahamanbaria	0.15	0.2915	0.30	0.3516	0.38	0.0329	0.19
Chandpur	0.02	0.9076	-0.36	0.6410	0.00	0.9946	0.11
Chittagong	-0.11	0.5774	-0.52	0.0080	-0.01	0.9367	-0.08
Chuadanga	0.52	0.0031	-0.56	0.4399	0.00	-	0.51
Comilla	0.16	0.1156	0.28	0.0904	0.36	0.0222	0.14
Cox's Bazar	-0.06	0.7911	0.77	0.0254	-0.07	0.7268	-0.05
Dhaka	0.44	0.1551	0.33	0.1017	0.52	0.0238	0.44
Dinajpur	0.72	0.0000	0.00	-	0.00	-	0.72
Faridpur	0.47	0.0011	0.60	0.0138	0.00	0.9959	0.58
Feni	-0.16	0.3099	-0.05	0.9206	-0.18	0.5774	-0.07
Gaibandha	0.11	0.3667	-0.95	0.1984	0.00	-	0.10
Gazipur	0.76	0.0000	0.15	0.5191	0.00	-	0.27
Gopalganj	0.17	0.3746	0.41	0.3073	0.77	0.0000	0.58
Habiganj	0.11	0.5733	-0.04	0.8070	-0.18	0.4063	0.09
Jaipurhat	0.21	0.2039	0.00	-	0.00	-	0.21
Jamalpur	0.45	0.0002	0.00	-	0.00	-	0.45
Jessore	0.49	0.0003	0.12	0.6059	0.22	0.0033	0.39
Jhalakati	0.89	0.0000	0.00	-	0.61	0.0057	0.88
Jhenaidah	0.22	0.1631	0.68	0.0000	0.42	0.2302	0.36
Khulna	-0.03	0.9060	0.75	0.0000	0.25	0.1335	0.36
Kishoreganj	0.51	0.0148	0.51	0.0000	-0.02	0.8791	0.62
Kurigram	0.19	0.1079	-0.35	0.6505	0.00	-	0.19
Kushtia	0.03	0.8748	0.50	0.0291	0.00	-	0.07
Lakshmipur	0.10	0.6026	0.00	-	0.48	0.3295	0.06

Lalmonirhat	0.67	0.0000	0.00	-	0.00	-	0.67
Madaripur	0.55	0.0069	0.58	0.4193	0.34	0.0174	0.74
Magura	0.61	0.0370	0.64	0.0026	0.28	0.1294	0.61
Manikganj	0.50	0.0020	0.20	0.5569	0.00	-	0.44
Meherpur	0.79	0.0012	1.00	-	0.00	-	0.69
Maulvibazar	0.02	0.8990	0.09	0.6723	-0.66	0.0759	0.02
Munshiganj	0.08	0.7640	0.16	0.3772	0.00	-	0.15
Mymensingh	0.80	0.0000	0.70	0.0000	0.00	-	0.76
Naogaon	0.20	0.0584	0.00	-	0.00	-	0.20
Narail	0.49	0.2626	0.76	0.0006	0.00	-	0.66
Narayanganj	0.35	0.1368	-0.16	0.6407	-0.01	0.9797	0.43
Narsingdi	0.51	0.0001	1.00	0.0000	0.36	0.3744	0.53
Natore	0.47	0.0006	0.00	-	0.00	-	0.47
Nawabganj	0.24	0.1351	0.00	-	0.00	-	0.21
Netrokona	-0.23	0.5558	0.45	0.0002	0.00	-	0.31
Nilphamari	0.82	0.0000	0.91	0.2664	0.00	-	0.82
Noakhali	0.15	0.3337	0.00	-	0.08	0.8864	0.05
Pabna	0.32	0.0046	-1.00	-	0.00	-	0.33
Panchagarh	0.93	0.0000	0.00	-	0.00	-	0.93
Patuakhali	-0.76	0.4473		-	0.52	0.0000	0.30
Pirojpur	0.54	0.0011	0.00	-	0.67	0.0009	0.60
Rajshahi	0.54	0.0000	0.00	-	0.00	-	0.53
Rajbari	0.49	0.0081	0.70	0.0232	0.62	0.0777	0.56
Rangpur	0.48	0.0000	0.56	0.4401	0.00	-	0.46
Shariatpur	0.48	0.0024	1.00	-	0.43	0.0048	0.68
Satkhira	0.18	0.2281	0.93	0.0002	0.46	0.0080	0.48
Sirajganj	0.19	0.0860	0.35	0.5027	0.00	0.6541	0.19
Sherpur	0.17	0.2493	0.00	-	0.00	-	0.17
Sunamganj	0.28	0.6541	-0.27	0.0250	-0.17	0.5713	-0.16
Sylhet	0.18	0.3134	0.04	0.8004	-0.45	0.1678	0.11
Tangail	0.27	0.0190	0.60	0.0116	0.00	-	0.33
Thakurgaon	0.62	0.0000	0.00	-	0.00	-	0.56

While correlation analysis was performed using all available 4367 data without categorizing as per geographical locations (Pattern-01), correlation coefficient was found to be 0.192 (Table 4) which is very insignificant. Similarly in pattern-02 in which correlation analysis was performed for depth wise categorized data, correlation coefficient was found very insignificant (0.15, 0.189 and 0.18 for D1, D2 and D3 respectively). But when all the data were reorganized as per their location (Pattern-03), correlation coefficient improved in most of the district drastically. In Panchagarh the value of the coefficient is 0.932 which shows strong correlation. Significance level of this value is 0.0001 which shows that less than 0.01% chance that this correlation occurred by chance.

Result of data analysis as per pattern-04 (depth wise analysis of each district) is shown in Table 7. Comparison with the correlation coefficient of each district found