

# 土壤脱盐对降低地下水中铁浓度的影响

Mulyadi Ronny

Politeknik Kesehatan Kemenkes Makassar 环境卫生系 印度尼西亚 望加锡 90222

**摘要:** 微咸水是沿海地区、河口和小岛的清洁水和饮用水来源之一。各种研究表明,使用粘土可以减少水中的矿物质。本研究旨在了解和析阶式曝气系统和基于粘土的快速砂滤器降低井水中铁浓度的效果。本研究使用实验性的定量方法。在这项研究中,研究人员使用了前测-后测对照组设计,在南苏拉威西省庞格普县的 Sapuli 岛和中苏拉威西省万鸦老市的 Sindulang Satu 村开展研究。该研究采用了完全随机设计(CRD),得到了 $6 \times 3 = 18$ 个处理组合。本研究以两个研究区域的井水为研究对象,采用简单随机抽样的方法抽取了15份井水样本。该研究通过在10升井水中加入20克粘土作为脱盐剂,获得的最大平均铁(Fe)水平下降达到了57.27%。在两个研究地点获得的降低没有显著差异。由于粘土中的高岭土材料,通过添加粘土作为粘合剂,以阶式曝气机和快速砂滤器降低铁(Fe)水平。

**关键词:** 吸收; 清洁水; 微咸水; 矿物高岭土; 水质

## The Impact of Soil Desalination on Reduction of Iron Concentration in Groundwater

Mulyadi Ronny

Department of Environmental Health, Politeknik Kesehatan Kemenkes Makassar, Makassar 90222, Indonesia

**Abstract:** Brackish water is one source of clean water and drinking water in coastal areas, river estuaries, and small islands. Various studies have carried out that the use of clay can reduce minerals in the water. This research aims to find out and analyze the Cascade Aerator System and Rapid Sand Filter based on Clay in Reducing Iron Concentration in Well Water. The type of research used is experimental with a quantitative approach. In this study, the researchers used the Pretest-Posttest Control Group Design. The study's location was conducted on Sapuli Island in Pangkep Regency, South Sulawesi Province, and Sindulang Satu Village in Manado City, Central Sulawesi Province. The study's design used a Completely Randomized Design (CRD) with a combination of treatments that obtained  $6 \times 3 = 18$  treatment combinations. This study's population is all well water that is in two research areas, and then the sample collection technique is used simple random sampling with 15 samples of well water. The research obtained a decrease in the maximum average iron (Fe) level obtained reached 57.27% by adding a 20-gram of clay as desalination in 10 liters of well water. The decline that occurred in the two study sites did not differ significantly. Reduction of Iron (Fe) levels through Cascade aerators and Rapid Sand Filters by adding clay as a binder due to the material of kaolin in clay.

**Keywords:** Absorption; Clean Water; Brackish Water; Mineral Kaolin; Water Quality

### 1. 引言

水是人类生活的基本需求。约60%的人体体重是水<sup>[1, 2]</sup>。根据世界卫生组织<sup>[3]</sup>,农村地区为60升/人/天,城市地区为100-150升/人/天。含盐量过高的水会对健康、美和经济产生不利影响。对健康的影响是导致骨质疏松症、血管扩张、中风、心脏病发作和高血压;对美的影响是可能导致皮肤干燥;可能产生的经济损失是降低农业用地的土壤肥力<sup>[4]</sup>。在满足清洁用水需求时,人类通

常利用居住区周围的水源,包括天然水源和加工后的水源<sup>[5]</sup>。

可以利用的一种水源是地下水或井水。地下水可以通过浅井用作饮用水,水质相对较好,但量不足,且取决于季节。

就健康而言,如果不考虑制造,使用挖好的井是不合理的,但是为了尽量减少污染的可能性,通过根据一些意见的结论,通过观察井的物理要求来实现这一预防。

这一领域的专家认为，井的位置离污染源不小于10米，井底部离优质井壁直径至少1米，水密性好，至少有10米的水道，井唇高度0.8米，有一个至少3米的右环（墙）和一个结实紧密的盖子。

2011年对Barrang Caddi岛挖掘井的盐度水平进行检查的结果数据发现，80%的人在雨季使用盐度为0.5-3.0%的清洁水，而在旱季盐度往往会上升。因此有必要尝试降低水的盐度，以获得足够数量的质量符合健康要求的清洁水<sup>[6]</sup>。

将盐水处理成淡水有许多方法，这个过程被称为脱盐。目前正在研发的脱盐方法有蒸馏、冷冻、离子交换、太阳能蒸发和膜过滤技术（反渗透），但是这种技术仍然相当昂贵。所有类型的蒸馏系统中的一个常见问题是设备上的结壳<sup>[7]</sup>。蒸发器热交换器管上的硬壳降低了热效率和淡水产量。因为脱盐过程必须干燥，以使用酸清洗管道，所以需要很好地进行维护和保养<sup>[8]</sup>。使用不同柱径的Amberlite IRA-400树脂对海盐中氯的使用进行研究。虽然这种方法操作简单，但也有缺点，因为它难以获得合成树脂，并且成本高<sup>[9, 10]</sup>。

其他的脱盐方式是使用适当的技术来获得符合质量的清洁水。比如使用粘土，考虑到粘土具有离子交换剂的能力，不需要特殊技能，且容易获得<sup>[11]</sup>。沿海地区或岛屿有望在将来使用这种方法。

粘土有单独的颗粒，当与水混合时，会在土壤上产生塑性。一般来说，大约有15种矿物被归类为粘土矿物<sup>[12]</sup>。其中包括蒙脱石、伊利石、高岭石、坡缕石、绿泥石、蛭石和埃洛石。粘土矿物吸附水的特点提供了土壤组成的基本形式。每个颗粒通过吸水层彼此结合<sup>[13]</sup>。

去浊是通过机械过滤、沉淀和吸附一起来实现的。在机械过滤的过程中，在砂过滤器的一层中，有一些小孔，允许水在土壤中流动<sup>[14, 15]</sup>。不能从这些孔中逸出的细小颗粒将被抑制，从而使水变得澄清。除此之外，还有沉淀和吸附机制<sup>[16]</sup>。减少水中的铁旨在使水中的盐含量最小化，使其适合社区使用。

铁（Fe）是地球上几乎任何地方、所有地质层和所有水体中都能找到的元素之一。一般来说，铁在水中是可以溶解的。人体内少量的铁化合物起到形成红细胞的作用，其中人体每天需要7-35毫克，部分来源于水。然而，超过身体所需剂量的铁会导致健康问题。含大剂量的铁的物质可以损害肠壁，刺激眼睛和皮肤。利用地下水时常见的问题是矿物质含量。土壤水矿物质含量的类型繁多，包括汞、铁、锰、钠、铜、锌。

基于上述情况，研究人员将尝试使用粘土，通过阶式曝气机和快速砂滤器，降低井水（微咸水）中铁（Fe）的浓度。

## 2. 研究方法

### 2.1 研究设计

本研究是一项定量的实验研究，是研究在受控条件下寻找特定处理方式对其他人的影响。受控条件的目的是将研究结果转化为数字，并使用统计分析。实验研究是通过排除或减少或消除其他干扰因素，寻找研究者故意造成的两个因素之间的因果关系的一种方法。

在这项研究中，研究人员采用了前测-后测对照组设计，这与Singh和Hinkelmann<sup>[17, 18]</sup>的观点一致，他们认为实验研究设计包括前测-后测对照组设计。使用这种设计，实验组和对照组从同类人群中随机抽取，因此具有相同的特征<sup>[19]</sup>。

完全随机设计（CRD）是最简单的实验设计。这种设计通常用于具有均匀或同质介质或实验环境的实验<sup>[20, 21]</sup>。它是一种环境设计，通过对所有实验单元进行完全随机化来进行处理，并且随机化是在对实验单元没有限制的情况下进行的。对于CRD来说，接受相同处理的实验单位之间的每一个差异都被表示为试验误差<sup>[22]</sup>。

根据Montgomery<sup>[22]</sup>，使用以下公式来确定重复次数：

$$t(n-1) \geq 15$$

$$3(n-1) \geq 15$$

$$3n-3 \geq 15$$

$$3n \geq 18$$

$$n = 6$$

根据上述结果，研究实验重复了6次。

表1 集中与重复的结合治疗

重复	粘土浓度		
	0毫克/10升	10毫克/10升	20毫克/10升
P <sub>1</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>110</sub>	P <sub>120</sub>
P <sub>2</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>210</sub>	P <sub>220</sub>
P <sub>3</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>310</sub>	P <sub>320</sub>
P <sub>4</sub>	P <sub>40</sub>	P <sub>410</sub>	P <sub>420</sub>
P <sub>5</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>510</sub>	P <sub>520</sub>
P <sub>6</sub>	P <sub>60</sub>	P <sub>610</sub>	P <sub>620</sub>

在将要进行的研究中，根据浓度和重复次数得到了6 × 3 = 18种处理组合。

### 2.2 位置

南苏拉威西省庞格普县Liukkang Tupabiring北区Mattiro Baji村Sapuli岛作为这项研究的第一个地点，然后是北苏拉威西省万鸦老市Tuminting区的Sindulang Satu村。

### 2.3 人群和样本

根据Hinton<sup>[23]</sup>的观点，群体是由研究者设定要研究的具有特定品质和特征的对象或主体组成的概括区域，进行研究后得出结论。这项研究的人群挖的井水位于庞

格普县的Sapuli岛和万鸦老市的Sindulang Satu, 供社区日常活动使用。

Roscoe和Diehl<sup>[24, 25]</sup>建议实验研究的样本数量为10-20个。这项研究使用了15个样本, 采用简单的随机抽样技术, 首先在苏拉威西岛南部庞格普县Liukkang Tupabiring北区Mattiro Baji村的Sapuli岛上, 然后在苏拉威西岛北部万鸦老市Tuminting区的Sindulang Satu村, 收集社区使用的挖好的水源。

### 2.4 流程

基于上述解释, 本研究的程序或框架如下:

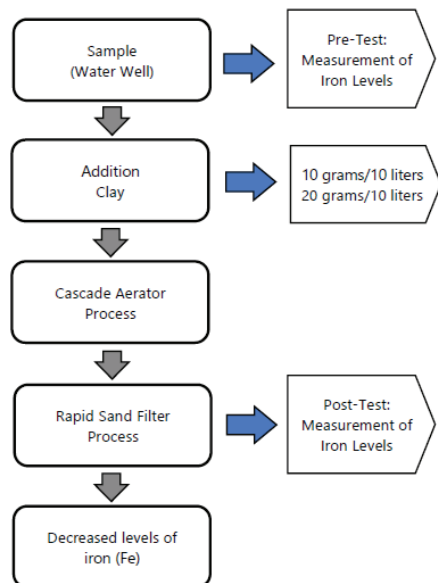


图1 实施流程框架

### 3. 结果和讨论

研究中铁(Fe)水平的测量数据是通过铁测试试剂盒以毫克/升为单位进行测量而获得的。所用的水样来自上述两个地点。

一种简单且环保的水处理方法是使用天然材料的简单水过滤装置进行过滤。简单的水净化厂使用活性天然粘土作为天然过滤器材料。

表2显示了庞格普县的铁(Fe)测量结果, 处理前1号样品的铁含量最高, 为22.21毫克/升, 最低的7号样品, 为13.75毫克/升。处理前铁(Fe)的平均测量结果为18.24毫克/升, 使用0克/10升粘土处理后结果为14.83毫克/升, 使用10克/10升粘土处理后结果为9.72毫克/升。

从万鸦老市的铁(Fe)测量结果来看, 处理前15号样品的铁含量最高, 采集值为23.85毫克/升, 而最低的1号样品为22.11毫克/升。处理前铁(Fe)的平均测量结果为23.05毫克/升, 使用0克/10升粘土处理后数值为18.77毫克/升, 使用10克/10升粘土处理后数值为13.18毫克/升。

表2 庞格普县和万鸦老市铁(Fe)水平的测量结果

样本编号	铁(Fe)毫克/升 (庞格普县)			铁(Fe)毫克/升 (万鸦老市)				
	处理前	粘土 0克 /10升	粘土 10克 /10升	粘土 20克 /10升	处理前	粘土 0克 /10升	粘土 10克 /10升	粘土 20克 /10升
1	22.21	15.82	9.95	7.26	22.22	18.21	12.36	10.19
2	19.11	15.32	9.95	7.26	23.11	18.91	13.42	11.32
3	12.32	10.11	8.15	6.09	22.32	18.31	12.94	10.21
4	17.25	13.78	9.95	7.55	23.13	19.12	13.26	11.46
5	20.61	16.82	12.12	9.89	22.56	18.56	12.24	10.52
6	18.43	15.33	12.16	8.15	22.43	18.43	13.21	10.63
7	13.75	11.35	8.22	6.34	23.65	19.32	14.12	9.78
8	18.73	15.23	8.52	5.98	23.29	18.52	13.15	10.94
9	20.47	16.55	11.31	8.74	22.67	18.44	12.72	11.12
10	20.12	16.53	8.96	6.74	23.18	18.85	12.87	10.86
11	15.31	12.65	9.47	7.42	23.28	19.12	13.66	10.55
12	17.37	13.72	8.27	5.67	23.65	19.33	13.34	11.45
13	17.58	14.62	8.26	5.12	22.91	18.96	13.38	11.21
14	19.53	15.12	10.44	7.92	23.34	18.68	12.92	9.66
15	18.39	15.72	9.84	6.85	23.85	19.78	13.87	9.38
16	19.56	16.44	9.66	6.55	23.61	18.82	13.44	11.55
17	21.38	18.92	11.22	7.98	22.89	18.18	12.98	10.72
18	16.13	12.83	8.52	6.23	22.79	18.34	13.31	9.81

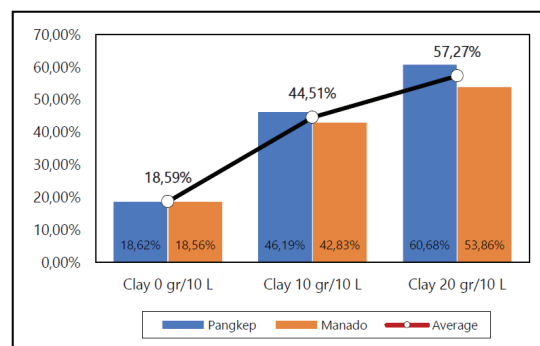


图2 庞格普县和万鸦老市铁(Fe)水平降低的百分值

从图2中可以看出, 加入粘土作为脱盐剂后, 铁(Fe)水平显著降低。在10升井水中加入20克粘土, 铁(Fe)水平降低最大达到了57.27%。在两个研究地点发生的下降没有显著差异。不考虑影响测量结果的外部因素, 如温度、天气和井深。

以阶式曝气机和快速砂滤器作为介质, 添加粘土作为粘合剂, 铁(Fe)水平的降低是由于粘土中的高岭土材料。高岭土本身是粘土, 具有大表面积、物理和机械稳定性、稳定的层状结构和大阳离子交换容量, 因此高岭土是作为吸附剂的优良材料。根据高岭土的物理和机械性能, 对高岭土进行活化, 以降低水中的氯化物和铁含量<sup>[26]</sup>。

粘土是一种颗粒尺寸小于或等于0.002毫米的沉积物。

粘土,具有微小的圆锥形尺寸,直至构成岩石的化学元素风化形成的圆锥形亚微观结构<sup>[27]</sup>。粘土矿物特征的产生一般是因为四面体分子合并形成分子结构框架,形成规则的间隙和通道,形成多孔结构。结构中的缝隙和通道允许分子穿过并被截留在其中。这些特性使得粘土矿物被用作有害金属的吸附材料、过滤分子和离子交换剂<sup>[28]</sup>。

根据Buckman<sup>[29]</sup>的说法,无机和有机胶体的最重要特征之一是它们吸附阳离子的能力。铁离子通常存在于含氧量较低天然水中,如地下水和无空气的湖区<sup>[30]</sup>。纺织厂、造纸和工业过程的存在会形成铁溶液。铁可以通过氧化成不溶于水的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,然后沉淀和过滤,从而从水中除去。氧化过程使用空气进行,将空气加入水中,通常称为曝气<sup>[31]</sup>。

降低铁含量,包括曝气。曝气是通过与空气接触来进行水处理。曝气的目的是增加水中的氧气量,减少一氧化碳量,也用于处理含铁和锰过高的水<sup>[32]</sup>。这种曝气方法通常是通过使水与空气在薄板上接触/扩散,通过小水滴(瀑布曝气机),或者通过将水与气泡混合。通过这种方式,水中的含氧量可以增加60-80%<sup>[33, 34]</sup>。

过滤过程是水处理的一部分,原则上是减少有机物质和水中的有机物质。通过过滤去除悬浮固体在净化地下水和污水处理厂的人工净化中具有至关重要的作用。用作过滤介质的材料是砂,它具有优异的过滤性能,坚硬,并且可以耐久使用,不含污垢且不溶于水。

快速砂滤器是一种过滤速度快的过滤器,过滤速度从4到21米/小时不等。这种过滤器总是有一个凝聚-絮凝和沉淀过程来分离悬浮固体。如果快速砂滤器进水的浊度范围为5-10 NTU,浊度降低效率可达90-98%<sup>[35]</sup>。

快速砂滤器比慢速砂滤器能排出更多过滤水。然而,这种过滤器在处理过滤水中的气味和味道时用处不大。此外,由于水的快速流动,对去除病原体有益的细菌层不会在快速砂滤器中形成,而在慢速砂滤器中则会形成,因此需要更集中的消毒过程<sup>[36]</sup>。

通常,快速砂滤器中使用的过滤层材料与慢速砂滤器相同,即砂、砾石和石头。明显的区别在于过滤时水流的方向。在慢速砂滤器中,水的方向是从上到下流动,而在快速砂滤器中是从下往上流动。此外,快速砂滤器通常可以反冲洗或清洗过滤器,而无需拆除整个过滤器<sup>[37]</sup>。

地下水流是地质学的中介,它不断地影响土壤中周围环境的化学元素。水流穿过的土壤层含有某些化学元素,一种铁的化合物。铁(Fe)是岩石中的一种重要元素,也是地球上几乎所有地方、所有地质层和所有水体中发现的化学元素之一<sup>[30]</sup>。

水中化学元素的含量取决于水所在的地质构造和水的地质结构。例如,如果在流动中水通过含铁的岩石,

水中会自动含有铁和其他元素<sup>[38]</sup>。溶解物质的大小取决于水与岩石接触的时间。水接触岩石的时间越长,溶解在水中的元素含量越高。

地下水,尤其是井水中的铁含量很高。地下水通常含有高浓度的二氧化碳,可导致厌氧条件。这种情况导致不溶性矿物质中的铁浓度( $\text{Fe}^{3+}$ )以二价离子( $\text{Fe}^{2+}$ )的形式还原为可溶性铁。地下水中铁的含量从0.01毫克/升到25毫克/升不等。在地表水中,很少发现铁含量超过1毫克/升,但在地下水中,铁含量可以高得多。高浓度的铁是可以察觉得到的,它会污染织物和厨房用具<sup>[39]</sup>。

#### 4. 结论

阶式曝气机和快速砂滤器是旨在减少水中铁(Fe)的各种方法之一。在此基础上,加入粘合剂后,水中的铁含量显著降低。为了给社区,尤其是沿海地区提供合适的清洁水,这需要通过可立即应用于该领域的直接研究来实现。

#### 致谢

这项研究得到了印度尼西亚共和国卫生部在2018年高等教育优势研究计划(No. HK.01.07/III/00850/2018)中提供的资金资助。

#### 参考文献:

- [1]K. J. Ruskin, S. H. Rosenbaum, and I. J. Rampil, *Fundamentals of neuroanesthesia: a physiologic approach to clinical practice*. Oxford University Press, 2013.
- [2]N. C. Moreland, "Fundamentals of Neuroanesthesia: A Physiologic Approach to Clinical Practice," *J. Am. Soc. Anesthesiol.*, vol. 121, no. 4, pp. 908 - 909, 2014.
- [3]WHO/UNICEF Joint Water Supply, Sanitation Monitoring Programme., *Progress on drinking water and sanitation: 2014 update*. World Health Organization, 2014.
- [4]Ronny. and A. H. Hasim, "Effectiveness of Multiple Tray-Aerators in Reducing Iron (Fe) Water Wells in Gowa Regency, Indonesia," *Ecol. Environ. Conserv.*, vol. 24, no. 1, pp. 22 - 25, 2018.
- [5]Ronny, Erlani, and Jasman, "Level of Correlation in the Depth of Groundwater Wells: Iron and Chloride," *Indian J. Environ. Prot.*, vol. 39, no. 8, pp. 746 - 751, 2019.
- [6]Ronny, B. Y. M. Badjuka, Jasman, Rusli, and H. B. Notobroto, "The Combination of Aeration and Filtration System in Reducing Water Pollution: An Experimental Study," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 2103 - 2110, 2020.
- [7]L. F. Greenlee, D. F. Lawler, B. D. Freeman, B. Marrot, and P. Moulin, "Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges," *Water Res.*, vol. 43, no. 9,

pp. 2317 – 2348, 2009.

[8]R. J. Petersen, “Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes,” *J. Memb. Sci.*, vol. 83, no. 1, pp. 81 – 150, 1993.

[9]S. Mustafa, H. Bashir, N. Rehana, and A. Naeem, “Selectivity reversal and dimerization of chromate in the exchanger Amberlite IRA-400,” *React. Funct. Polym.*, vol. 34, no. 2 – 3, pp. 135 – 144, 1997.

[10]L. H. Wartelle and W. E. Marshall, “Chromate ion adsorption by agricultural by-products modified with dimethyloldihydroxyethylene urea and choline chloride,” *Water Res.*, vol. 39, no. 13, pp. 2869 – 2876, 2005.

[11]A. W. Skempton, “The colloidal activity of clays,” *Sel. Pap. soil Mech.*, pp. 106 – 118, 1953.

[12]P. F. Kerr, *Optical mineralogy*. California: McGraw-Hill, 1959.

[13]K. G. Bhattacharyya and S. Sen Gupta, “Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 41, no. 1 – 2, pp. 1 – 9, 2008, doi: 10.1016/j.clay.2007.09.005.

[14]K. Ellis and W. E. Wood, “Slow sand filtration,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 315 – 354, 1985.

[15]C. A. Prochaska and A. I. Zouboulis, “Performance of intermittently operated sand filters: a comparable study, treating wastewaters of different origins,” *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 147, no. 1 – 4, pp. 367 – 388, 2003.

[16]M. L. Weber-Shirk and R. I. Dick, “Physical-chemical mechanisms in slow sand filters,” *Am. Water Work. Assoc. J.*, vol. 89, no. 1, p. 87, 1997.

[17]Y. K. Singh, *Fundamental Research Methodology and Statistics*. New Delhi, India: New Age International (P) Ltd., Publishers, 2006.

[18]K. Hinkelmann and O. Kempthorne, *Design and Analysis of Experiments: Introduction to Experimental Design*, Volume 1, 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

[19]J. W. Creswell and V. L. P. Clark, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd ed. Beverly Hills, CA: SAGE Publications, 2018.

[20]V. L. Anderson and R. A. McLean, *Design of experiments: a realistic approach*. Routledge, 2018.

[21]A. Dean, D. Voss, and D. Draguljić, *Design and analysis of experiments*, vol. 1. Springer, 1999.

[22]D. C. Montgomery, *Design, and analysis of experiments*. John Wiley & sons, 2017.

[23]Hinton, Perry R., McMurray, Isabella., and Brownlow,

Charlotte., *SPSS Explained*, 2nd ed. New York: Routledge, 2014.

[24]Roscoe, John T., *Fundamental Research Statistics for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1975.

[25]Diehl, P L. and L. R. Gay, “Research Methods for Business and Management,” New York: McGraw-Hill, 1992.

[26]S. Sen Gupta and K. G. Bhattacharyya, “Adsorption of Ni (II) on clays,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 295, no. 1, pp. 21 – 32, 2006.

[27]J. E. Bowles, *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill, 1979.

[28]M. K. Uddin, “A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade,” *Chem. Eng. J.*, vol. 308, pp. 438 – 462, 2017, doi: 10.1016/j.cej.2016.09.029.

[29]H. O. Buckman and N. C. Brady, *The Nature and Properties of Soils*. New York: Mac Millan. Pub. Co. Inc, 1982.

[30]B. R. Moss, *Ecology of fresh waters: man and medium, past to future*. John Wiley & Sons, 2009.

[31]C. D. Busch, J. L. Koon, and R. Allison, “Aeration, water quality, and catfish production,” *Trans. ASAE*, vol. 17, no. 3, pp. 433 – 435, 1974.

[32]F. C. Roe, “Aeration of Water by Air Diffusion,” *J. Am. Water Works Assoc.*, vol. 27, no. 7, pp. 897 – 904, 1935.

[33]H. Chanson and L. Toombes, *Flow aeration at stepped cascades*, no. Research Report No. CE155. 1997.

[34]J. Zhu, C. F. Miller, C. Dong, X. Wu, L. Wang, and S. Mukhtar, “Aerator module development using venturi air injectors to improve aeration efficiency,” *Appl. Eng. Agric.*, vol. 23, no. 5, pp. 661 – 667, 2007.

[35]T. J. Seelaus, D. W. Hendricks, and B. A. Janonis, “Design and operation of a slow sand filter,” *Journal - American Water Work. Assoc.*, vol. 78, no. 12, pp. 35 – 41, 1986.

[36]Y. J. Dullefont, J. F. Schijven, W. A. M. Hijnen, M. Colin, A. Magic-Knezev, and W. A. Oorthuizen, “Removal of microorganisms by slow sand filtration,” *Recent Prog. Slow Sand Altern. Biofiltration Process.*, vol. 1, pp. 12 – 20, 2006.

[37]H. E. Hudson, “Functional design of rapid sand filters,” *J. Sanit. Eng. Div.*, vol. 89, no. 1, pp. 17 – 28, 1963.

[38]A. Hounslow, *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press, 2018.

[39]D. Z. Haman and A. B. Bottcher, *Home water quality and safety*. Citeseer, 1986.