

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างๆ

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการทดลอง สามารถแบ่งได้ 4 ชนิด คือ

1. ผักตบชวาที่ไม่ผ่านกระบวนการเคมี (Untreated Water-Hyacinth)
2. ผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคลอโรอะซิติกแอซิด (Carboxymethyl Water-Hyacinth)
3. ชานอ้อยที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี (Untreated Bagasse)
4. ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคลอโรอะซิติกแอซิด (Carboxymethyl Bagasse)

ตารางที่ ๒-1 ถึง ๒-5 ในภาคผนวก ๒. แสดงผลการทดลองทั้งหมดในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ-เคมี ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

ตารางที่ 5.1 แสดงผลสรุปของลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า ผักตบชวาและชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคลอโรอะซิติกแอซิด มีความหนาแน่นสูงขึ้น ทั้งความหนาแน่นจริง (True density) และ ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) โดย ผักตบชวามีค่าความหนาแน่นจริงเท่ากับ 1.023 g/ml และชานอ้อยมีค่าความหนาแน่นจริงเท่ากับ 1.175 g/ml ส่วนความหนาแน่นปรากฏของผักตบชวาและชานอ้อยมีค่าเท่ากับ 0.274 g/ml และ 0.367 g/ml ตามลำดับ ส่วนผักตบชวาและชานอ้อยที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี มีค่าความหนาแน่นจริงเท่ากับ 0.975 และ 0.766 g/ml ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

ชนิดสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออน	Particle Size (mm.)	V(SD*) (ml)	Apparent Density (g/ml)	Ture Density (g/ml)	% Void Volume	% Moisture Content (Dry resin)	% Moisture Content (Wet resin)	Swelling (ml/g dryresin)
Untreated Water-Ilyacinth	0.18-0.20	65	0.227	0.975	76.72	9.321	78.351	21.3
Carboxymethyl Water-Ilyacinth	0.18-0.20	70	0.274	1.023	73.21	10.032	72.995	13.9
Untreated Bagasse	0.18-0.20	60	0.240	0.766	68.67	5.608	80.908	23.2
Carboxymethyl Bagasse	0.18-0.20	60	0.367	1.175	68.77	10.860	74.828	11.2

* SD : Settled and Drained

ความหนาแน่นปรากฏเท่ากับ 0.227 และ 0.240 g/ml ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่าง (Void Volume) พบว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างจะมีค่าลดลง สารเซลล์ูโลสแลกเปลี่ยนไอออนที่มีช่องว่างน้อยจะมีความสามารถเก็บน้ำได้ต่ำซึ่งจะมีผลทำให้ความชื้นของสารเซลล์ูโลสและการพองน้ำมีค่าลดลง ตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่า ผักตบชวาและชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการเคมีมีเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่าง ความชื้นการพองน้ำ ต่ำกว่าผักตบชวา และชานอ้อยที่ไม่ผ่านกระบวนการเคมี เนื่องในการปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ขั้นตอนแรกของกระบวนการ คือการกวนวัสดุในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ปฏิกริยานี้ทำให้การพองน้ำของวัสดุลดลง หลังจากนั้นจึงเติมคลอโรอะซิติกแอซิดเพื่อเป็นตัวแสดงหมู่ไอออนของสารเซลล์ูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ผักตบชวาและชานอ้อยที่ปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมี มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพ-เคมี ดีกว่าผักตบชวาและชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ

5.2 การเปรียบเทียบขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลล์ูโลสแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักชนิดต่างๆ

การศึกษาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลล์ูโลสจะใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีปริมาณโลหะหนักมากเกินพอไหลผ่านสารเซลล์ูโลสแลกเปลี่ยนไอออน หลังจากนั้นทำการชะล้างโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 N แล้วจึง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ชะล้างออกมาได้ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ด้วยตารางที่ 5.2

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าขีดความสามารถของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือมีค่าอยู่ในช่วง 0.686-0.809 meq/g โดยขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียที่นำมาใช้ทดลอง ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่าสูงกว่าผักตบชวาที่ปรับสภาพประมาณ 2-3 เท่า และมากกว่าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพประมาณ 10-12 เท่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า กระบวนการทางเคมีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และคลอโรอะซิติกแอซิดในการปรับสภาพของ ผักตบชวาและชานอ้อย ทำให้ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและ

ตารางที่ 5.2 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่าง ๆ

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (meq/g)		
	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺
Untreated Water-Hyacinth	0.809	0.686	0.705
Carboxymethyl Water-Hyacinth	0.496	0.346	0.330
Untreated Bagasse	0.086	0.065	0.069
Carboxymethyl Bagasse	0.069	0.052	0.056

ชานอ้อย ลดต่ำลง

เมื่อพิจารณาชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ทำสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนพบว่าผักตบชวามีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนดีกว่าชานอ้อย โดยผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารเคมีมีขีดความสามารถสูงกว่าชานอ้อยประมาณ 10-12 เท่า ส่วนผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยสารเคมีมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารเคมี ประมาณ 6-8 เท่า

เมื่อพิจารณาลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออน ของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนจากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทุกชนิดมีลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกัน คือ สารเซลลูโลสจะชอบแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมากกว่านิเกิลและสังกะสี ดังนั้นขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสกับทองแดงจึงมีค่ามากที่สุด รองมากคือ สังกะสี และนิเกิล ตามลำดับ

5.3 การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวาและชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ กับใช้สารเคมีปรับสภาพ ในกรณีของผักตบชวาและชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพที่ใช้ในการทดลอง มีการเตรียมคือ นำไปกวนในกรดไฮโดรคลอริก นาน 30 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำ จุดประสงค์ในการทำขั้นตอนนี้เพื่อเติมหมู่ไอออนอิสระให้กับผักตบชวาและชานอ้อย ในกรณีของผักตบชวาและชานอ้อยที่ปรับสภาพ กระบวนการทางเคมีประกอบด้วยการใช้สารละลายต่างแก่เข้มข้นทำปฏิกิริยากับเซลลูโลส เพื่อปรับสภาพทำให้การพองน้ำของเซลลูโลสลดลง และเติมคลอโรอะซิติกเอซิด เพื่อเป็นตัวประสานและแสดงฟังก์ชันกรุป จากนั้นจึงเติมไอออนอิสระเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน ผักตบชวาและชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยสารเคมี มีคุณสมบัติเป็นเรซินแบบกรดอ่อน เรียกว่า carboxymethyl cellulose

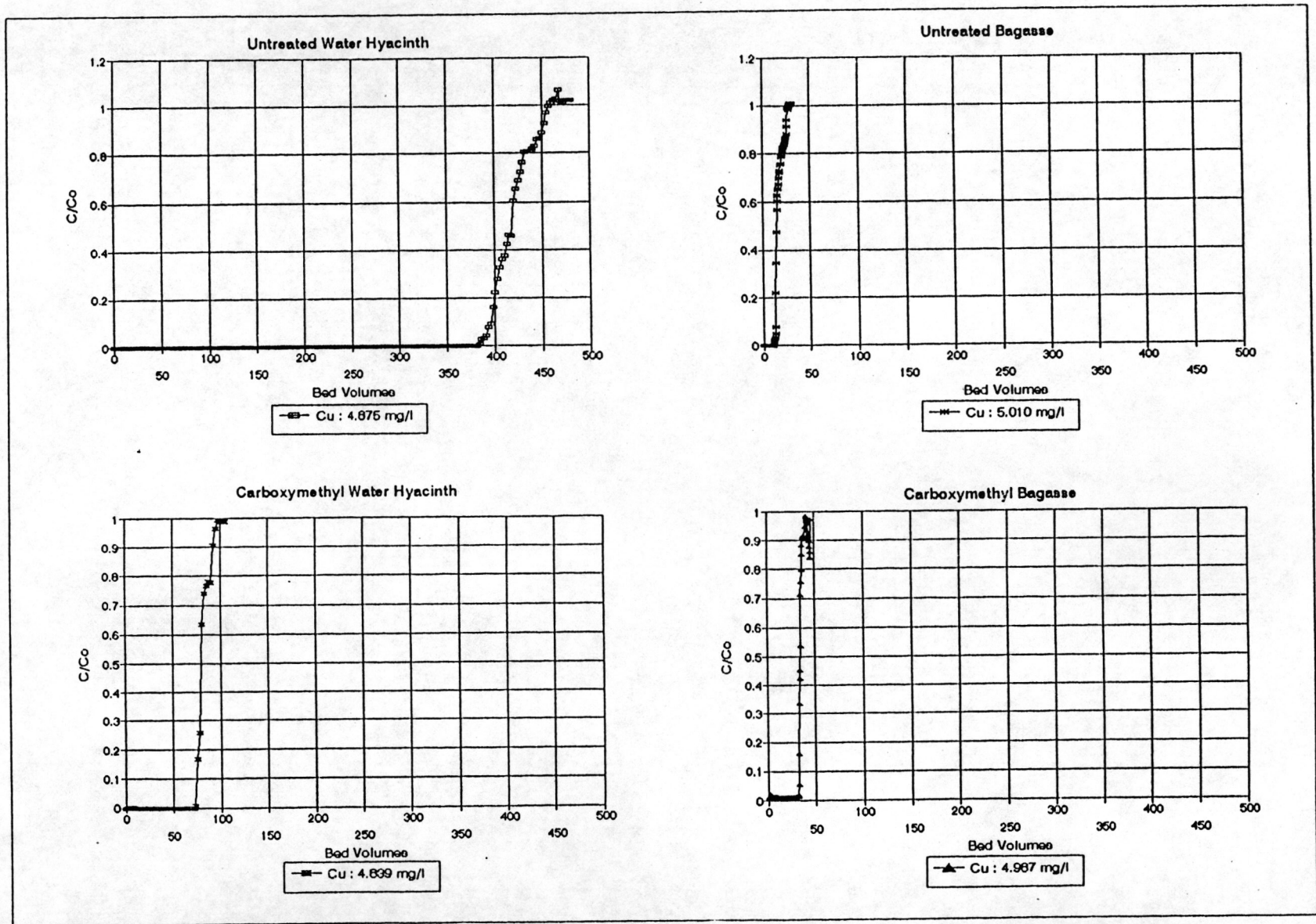
ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะของผักตบชวาและชานอ้อยชนิดต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ง. ซึ่งสามารถสรุปเป็นกราฟตัวแสดงในรูปที่ 5.1-5.12 โลหะหนักที่ทดลอง คือ ทองแดง นิกเกิลและสังกะสี โดยมีปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 5, 10, 20 และ 50 mg/l

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ดีที่สุด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.3 และ 5.4 ในกรณีที่จะใช้ผักตบชวาเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนจะอยู่ในช่วง 210-465 ปริมาตรเรซิน ตามชนิดของโลหะหนัก และเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนก็จะลดต่ำลง

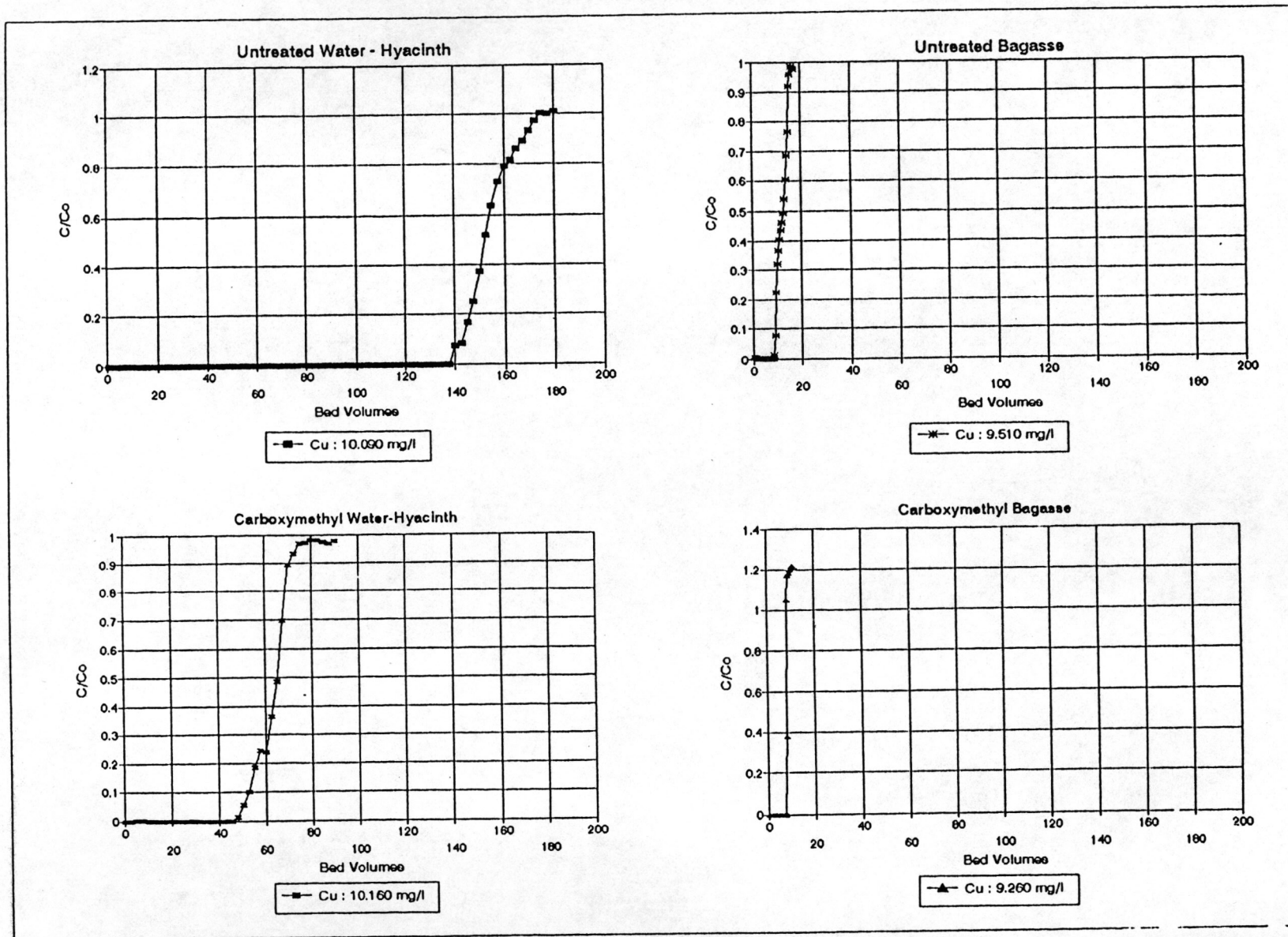
ส่วนประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาแบบ carboxymethyl, ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ และชานอ้อยแบบ Carboxymethyl Cellulose สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5.5-5.10 เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมดจะเห็นได้ว่ากระบวนการทางเคมีที่เลือกมาใช้ในการปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น และยังลดประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกด้วย โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาผลของผักตบชวา จะเห็นได้ค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือ ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพดีกว่าผักตบชวาที่ปรับสภาพประมาณ 2-5 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาชี้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ในหัวข้อ 5.2

5.4 การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อยที่มีต่อชนิดของโลหะหนัก

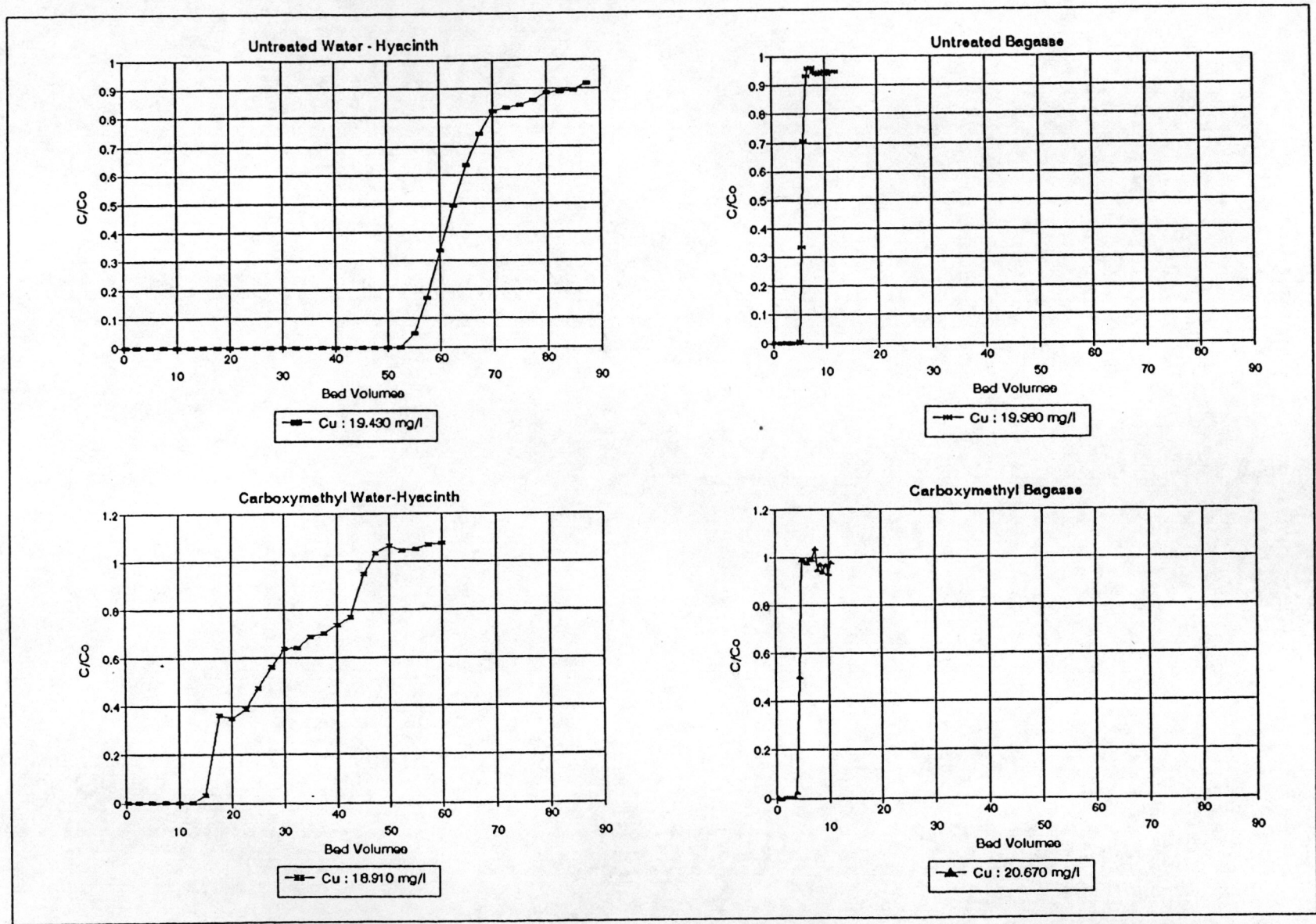
เมื่อพิจารณาลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน พบว่าเรซินทั้งแบบกรดและด่าง มีความชอบไม่เท่ากันในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินเลือกที่จะทำปฏิกิริยากับไอออนบางชนิดมากกว่าชนิดอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับ จำนวนประจุ น้ำหนักโมเลกุล และปริมาณความเข้มข้นของไอออนนั้น ๆ ในสารละลาย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาเปรียบเทียบลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อยที่มีต่อโลหะหนักที่พบได้มากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งโลหะที่ทำการศึกษา คือ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ข้อมูลจากการทดลองแสดงในภาคผนวก ง. ซึ่งสามารถสรุปเป็นกราฟดังแสดง



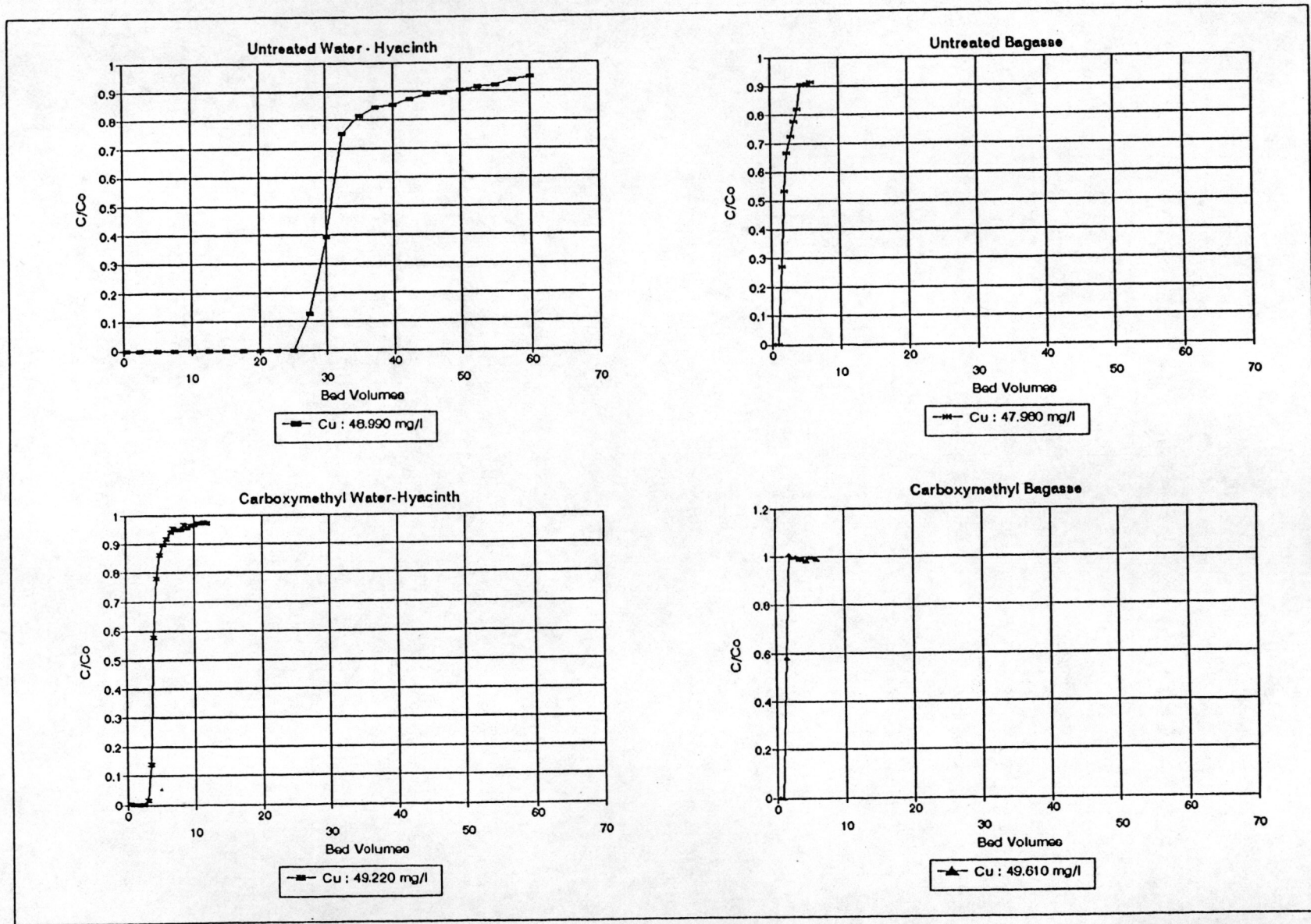
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 5 mg/l



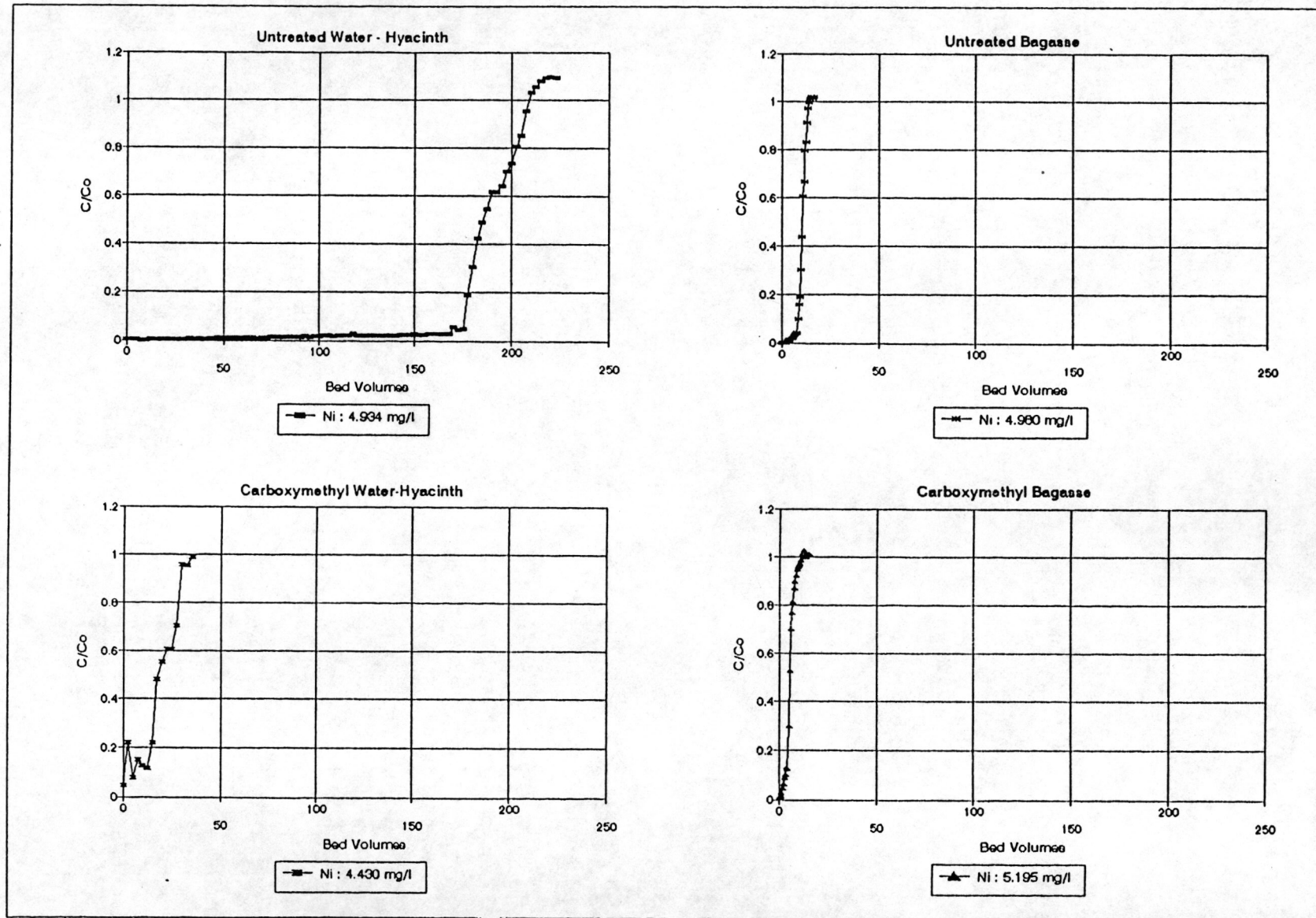
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 10 mg/l



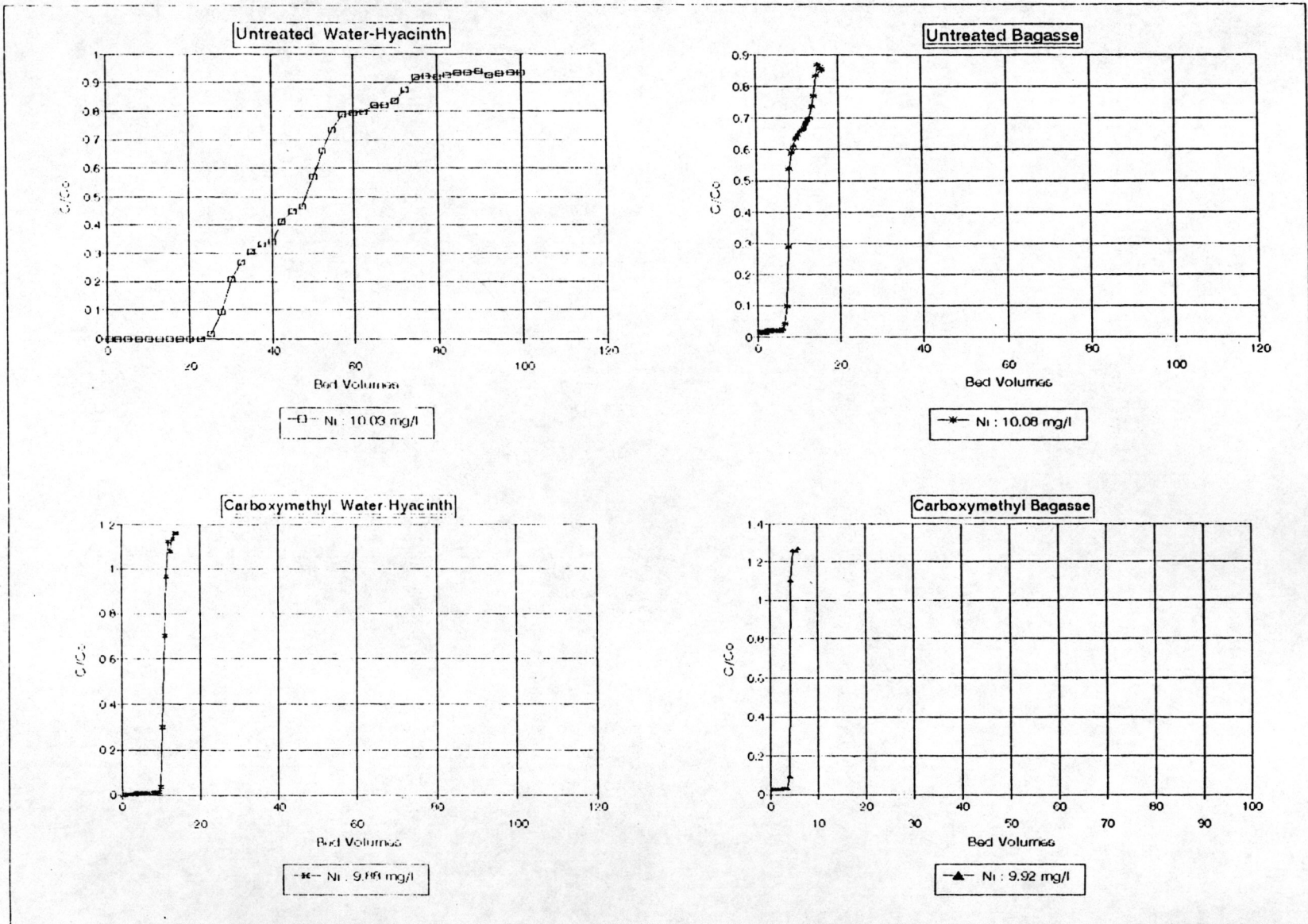
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 20 mg/l



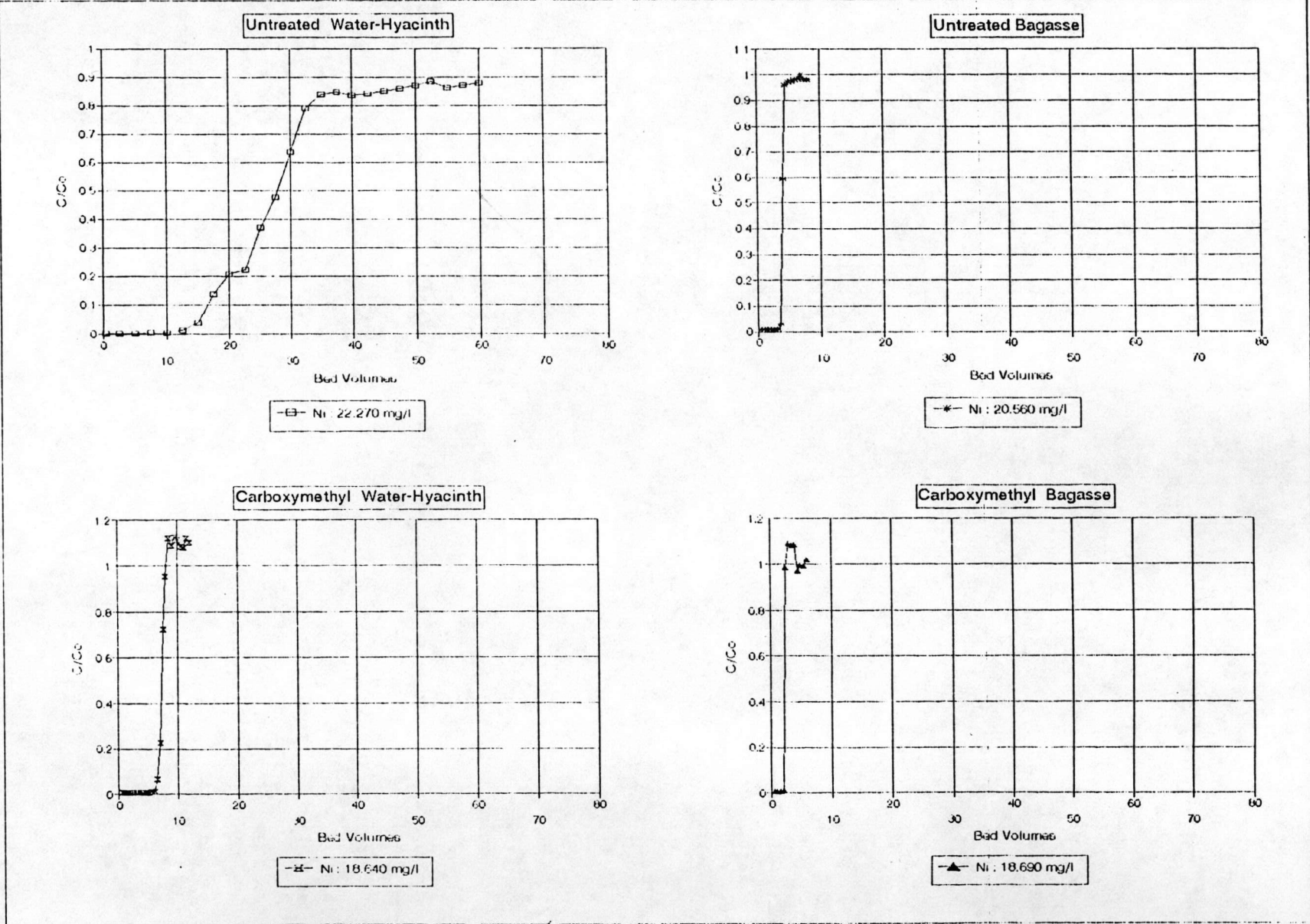
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณทองแดงประมาณ 50 mg/l



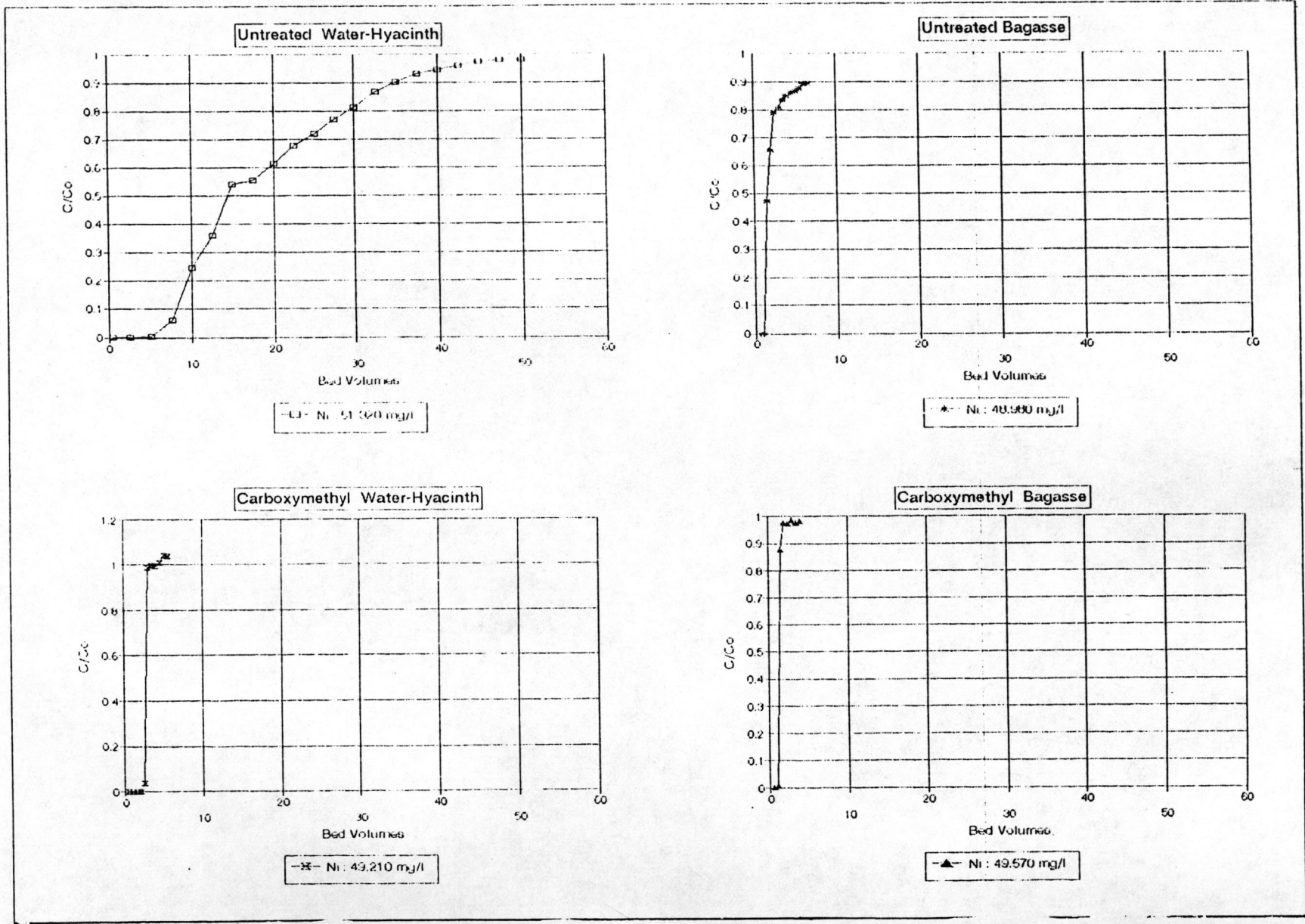
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานล้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิลประมาณ 5 mg/l



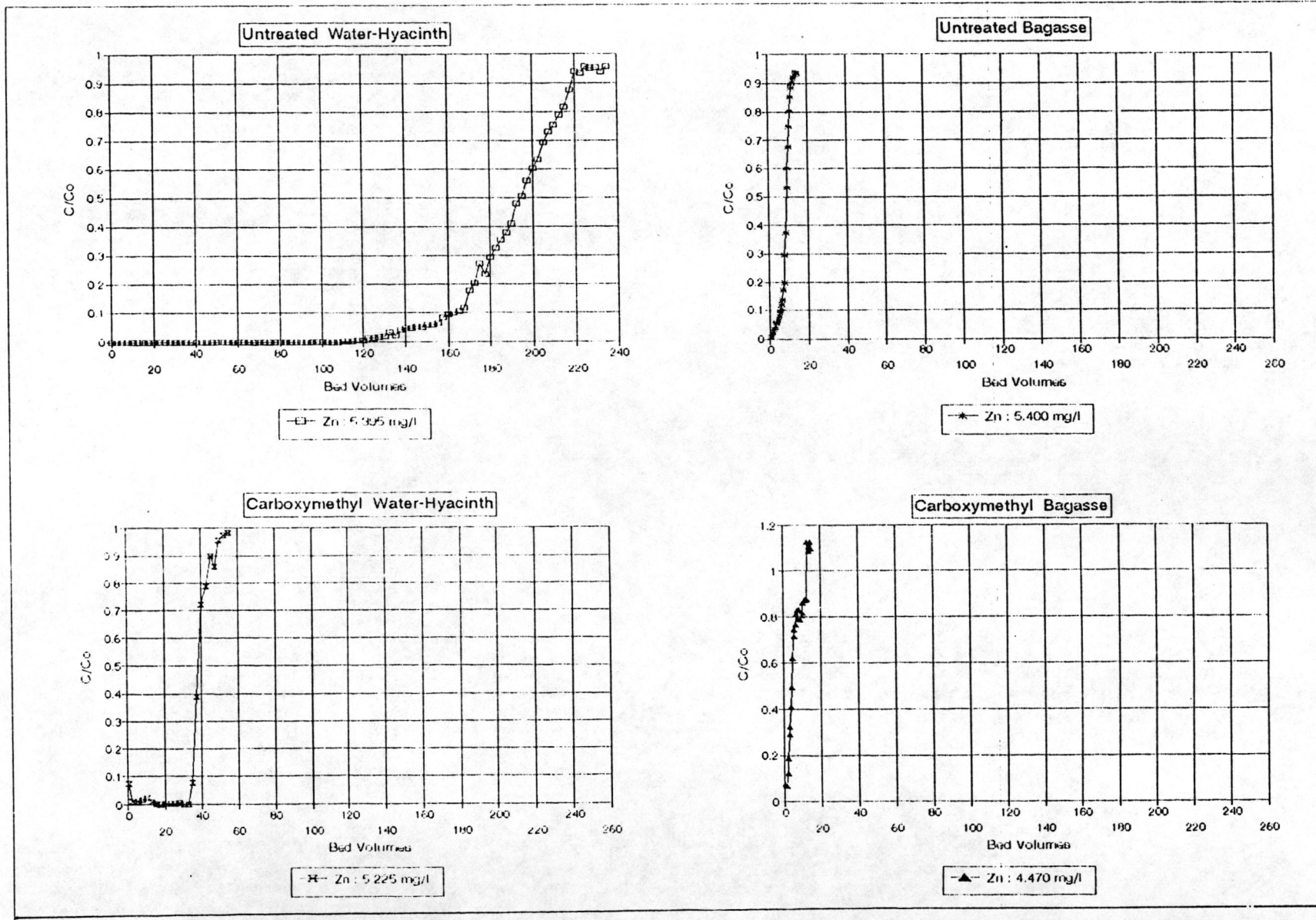
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิลประมาณ 10 mg/l



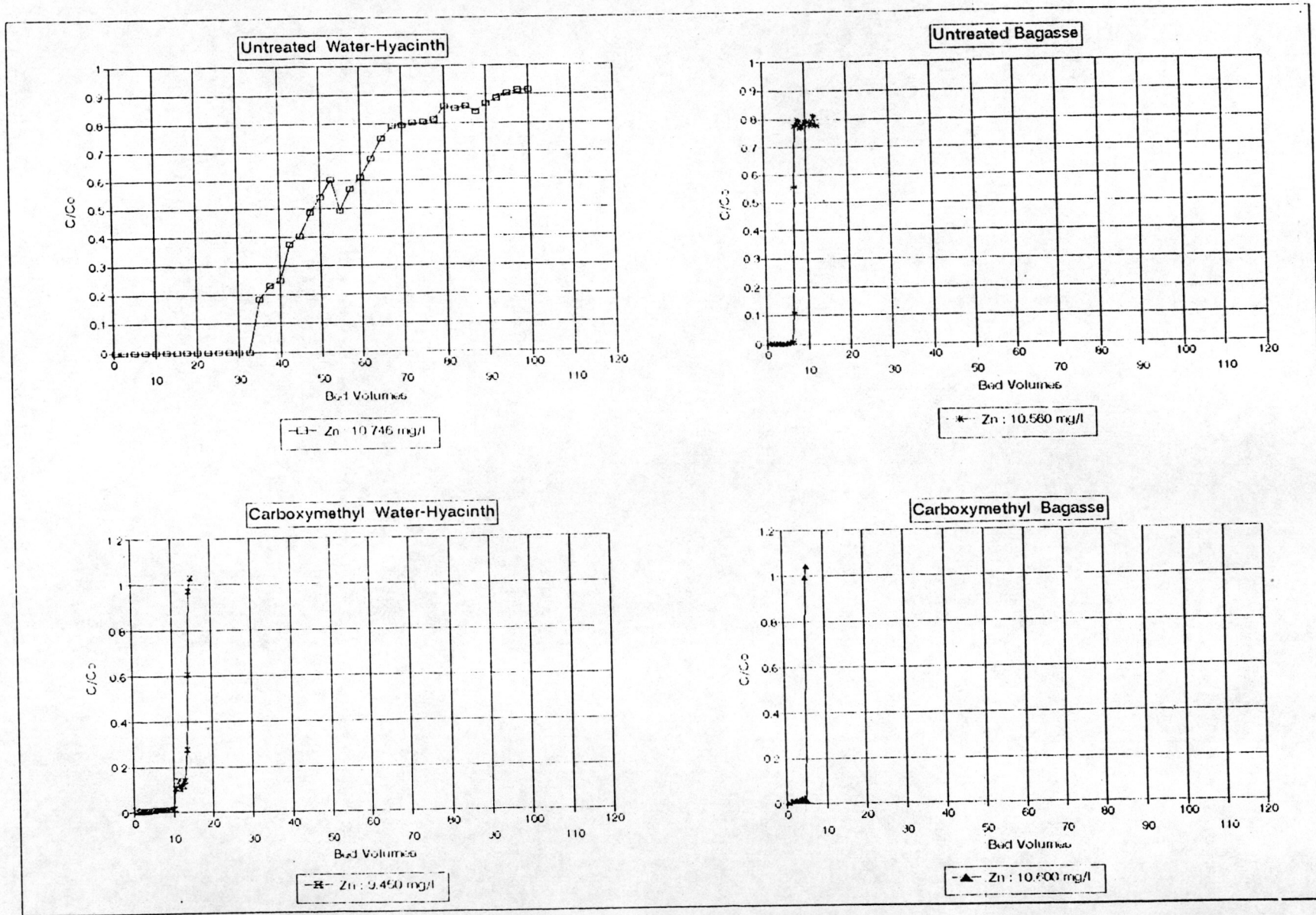
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิลประมาณ 20 mg/l



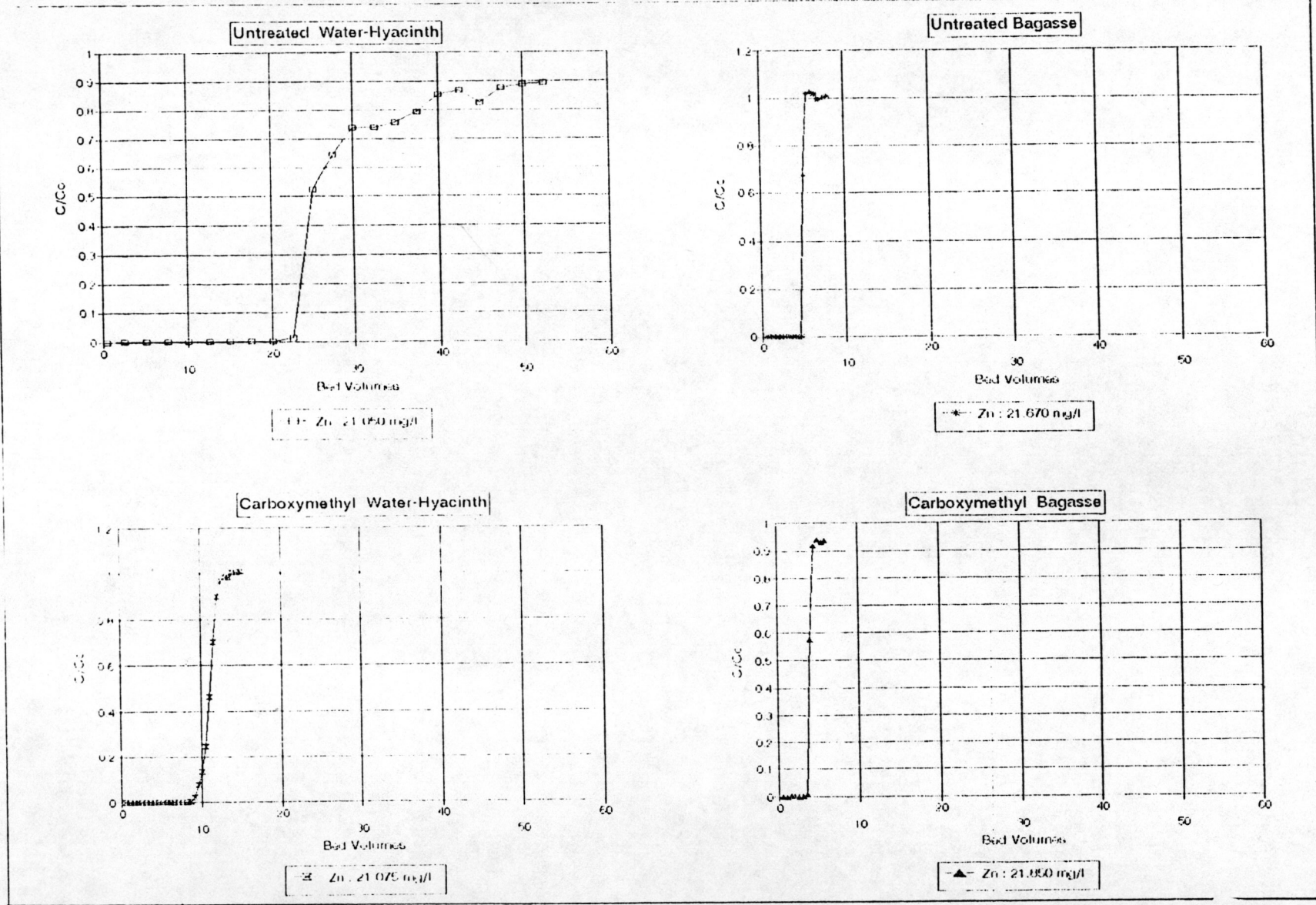
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิลประมาณ 50 mg/l



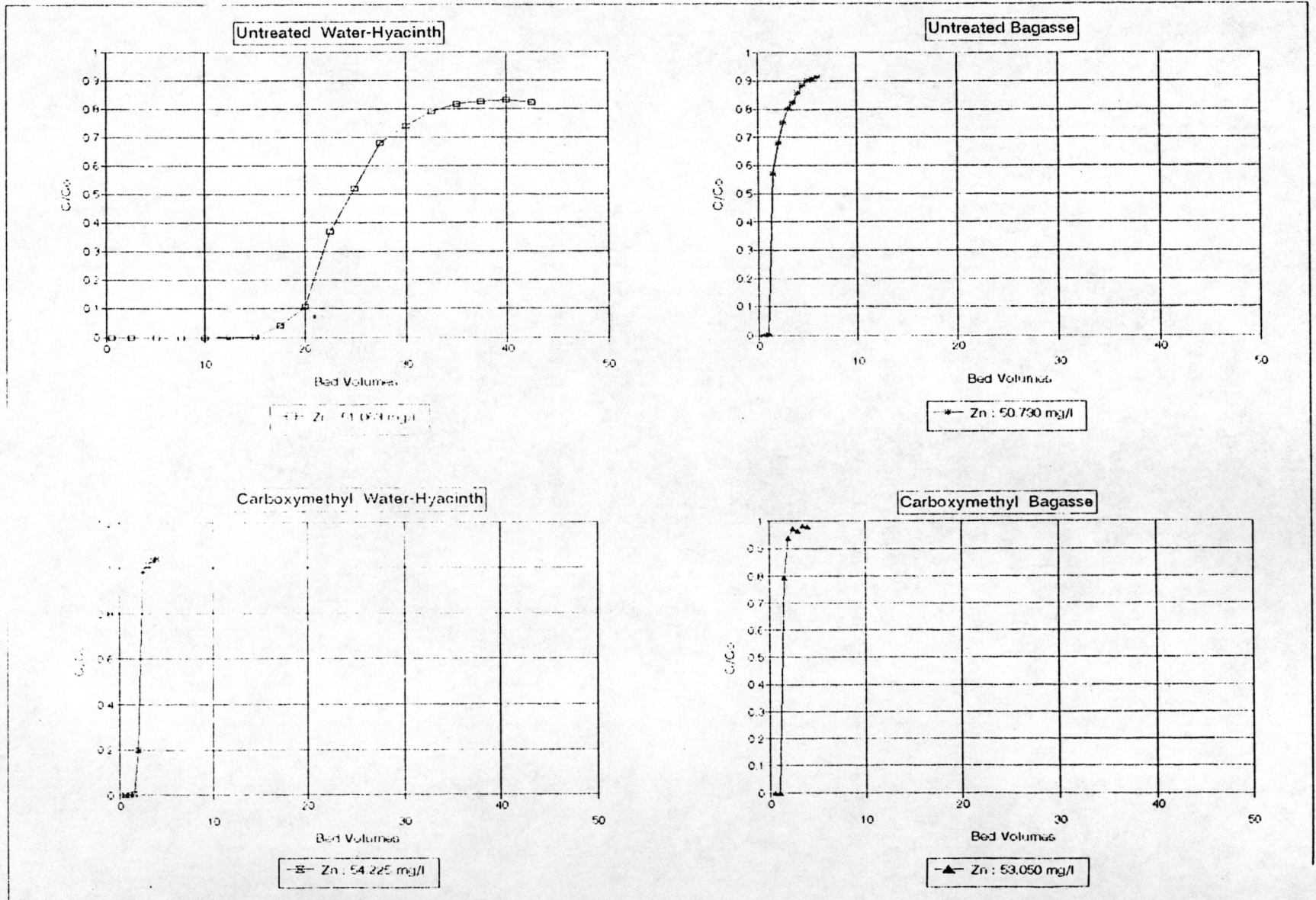
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และ ชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 5 mg/l



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และชานล้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 10 mg/l



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 20 mg/l



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผักตบชวา (Water Hyacinth) และชานอ้อย (Bagasse) ชนิดต่างๆ กับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสังกะสีประมาณ 50 mg/l

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน ของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (น้ำทั้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	400	170	220
10	142	25	45
20	55	10	23
50	25	5	18

หมายเหตุ

- ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- นิกเกิล (Nickle) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
(กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสี้ยว)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสี้ยว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	465	210	220
10	175	100	100
20	87	60	52
50	60	50	42

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน ของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	75	-	50
10	53	10	14
20	15	6	10
50	3	2	1.5

หมายเหตุ

- ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- นิกเกิล (Nickle) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ
(Carboxymethyl Water-Hyacinth) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความ
เข้มข้นต่าง ๆ
(กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสี้ยว)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสี้ยว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	105	35	55
10	90	11	14
20	45	8	13
50	12	4	2

ตารางที่ 5.7 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน ของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (กำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	13	8	15
10	9	2	7
20	5	-	4
50	1	1	1

หมายเหตุ

- ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- นิกเกิล (Nickle) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของซันอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทั้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสีย)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	28	14	15
10	17	16	12
20	12	6	5
50	6	6	6

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน ของซันอ้อยที่ปรับสภาพ
(Carboxymethyl Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้น
ต่าง ๆ
(กำหนดให้น้ำทิ้งต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสีย (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	32	2	12
10	7	-	5
20	4	2	3
50	1	0.5	1

หมายเหตุ

- ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของซันอ้อยที่ปรับสภาพ
(Carboxymethy Bagasse) ที่มีต่อโลหะหนักที่ความเข้มข้น
ต่าง ๆ
(กำหนดให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งต้องไม่มากกว่าในน้ำเสี้ยว)

ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำเสี้ยว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน (ปริมาตรเรซิน)		
	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
5	50	11	12
10	7	4	5
20	6	2.5	6
50	6	1	4

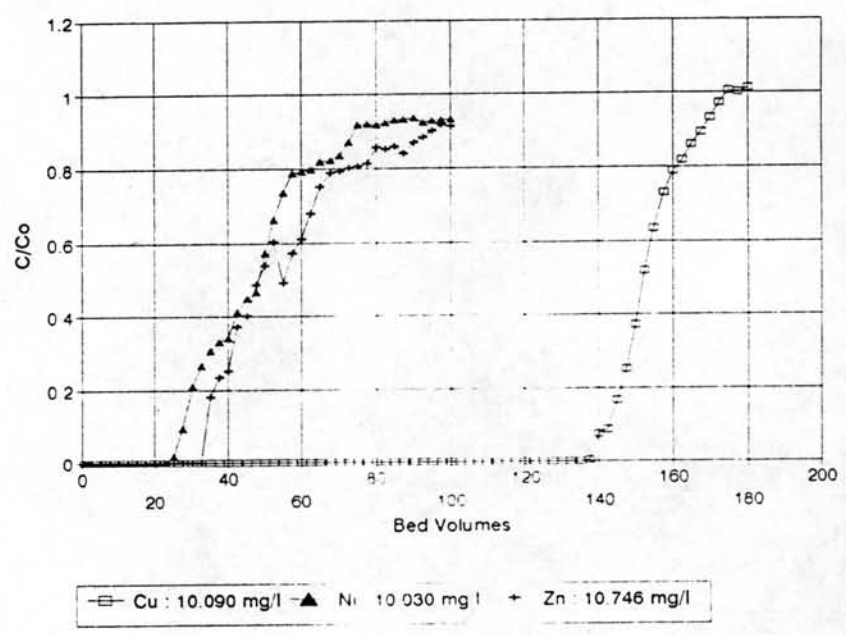
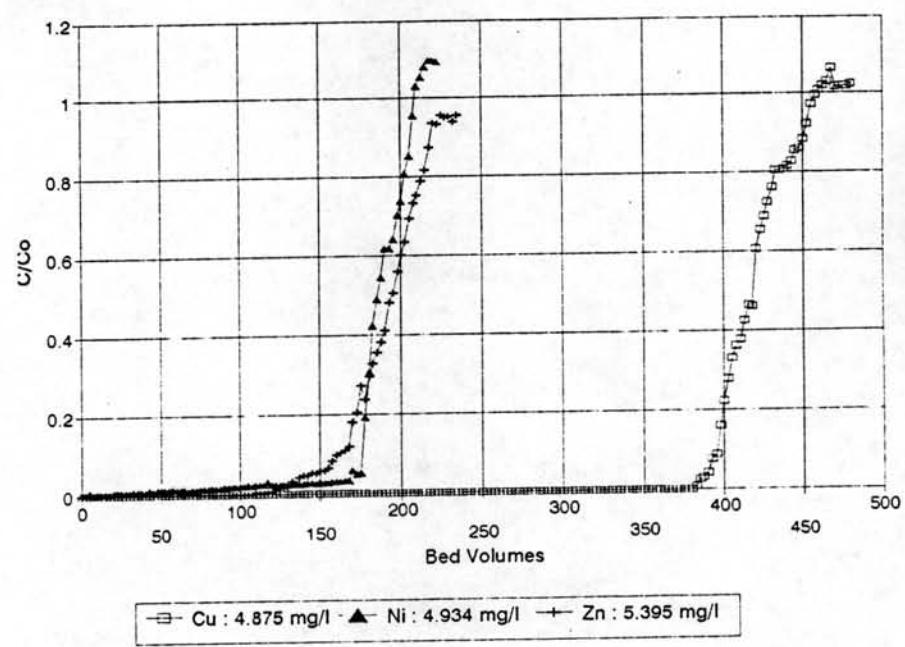
ในรูปที่ 5.13- 5.20

จากผลการทดลองพบว่า ผักตบชวาและชานอ้อยทั้งที่ปรับสภาพและไม่ได้ปรับสภาพ มีความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมากที่สุด รองลงมาคือสังกะสีกับนิกเกิล และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับตารางที่ 5.2 ซึ่งเป็นตารางแสดงขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน จะเห็นได้ว่า ผลการศึกษามีความสอดคล้องกัน จากข้อมูลสรุปในตาราง 5.3-5.10 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี จะเห็นได้ว่า ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพมีลำดับความชอบในการเลือกจับทองแดงมากกว่านิกเกิลและสังกะสี ประมาณ 2-5 เท่า ส่วนผักตบชวาที่ปรับสภาพจะมีลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนเหมือนกับผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงได้สูงกว่านิกเกิลและสังกะสีประมาณ 2-3 เท่า สำหรับชานอ้อยพบว่า มีลำดับความชอบในการเลือกจับทองแดงสูงกว่าสังกะสีและนิกเกิล ประมาณ 1-2 เท่า ทั้งชานอ้อยที่ปรับสภาพและไม่ได้ปรับสภาพ

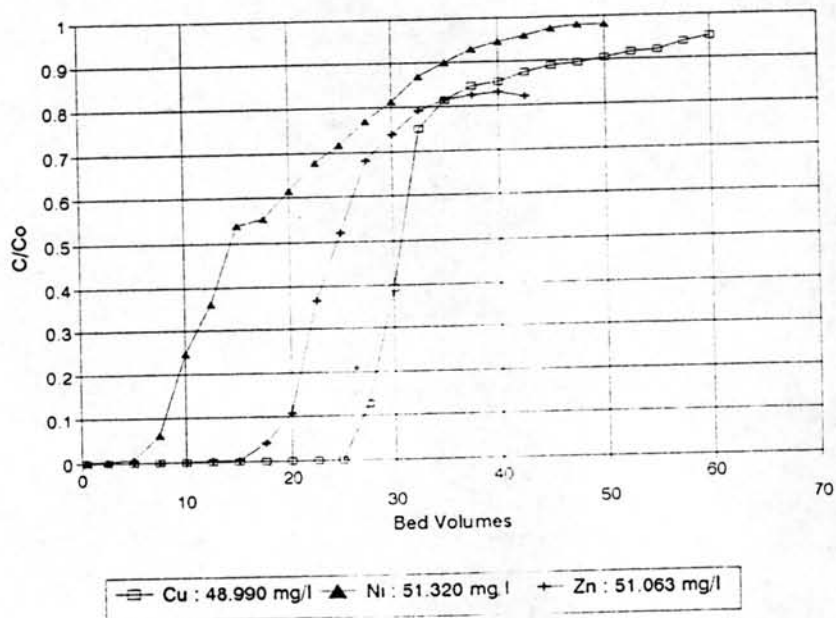
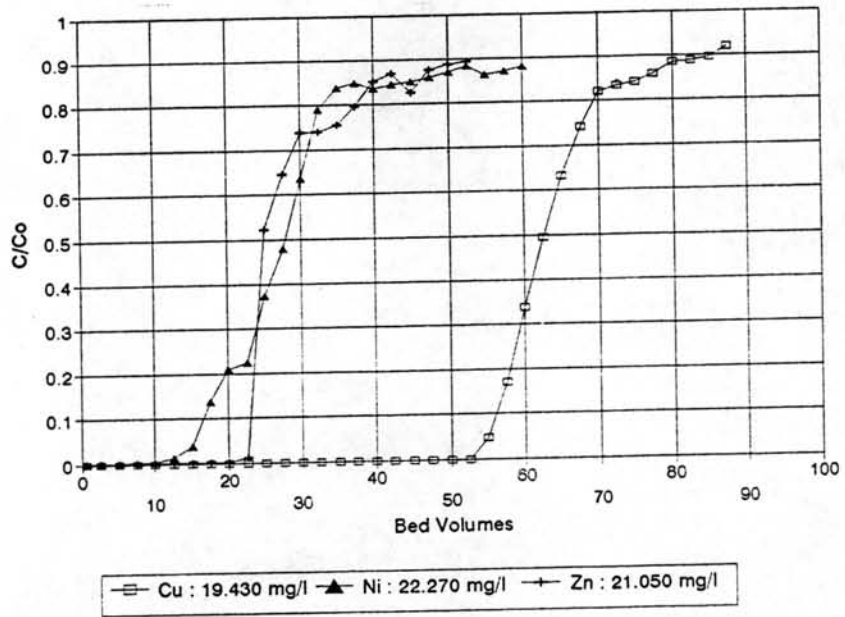
5.5 การเปรียบเทียบผลของการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อยที่มีต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย มีอิทธิพลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อย เมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักต่าง ๆ กัน คือ 5 , 10 , 20 และ 50 mg/l as M^{+2} (M^{+2} : Cu^{+2} , Ni^{+2} , Zn^{+2}) ข้อมูลจากการทดลองแสดงในภาคผนวก ง. ซึ่งสามารถสรุปเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.21-5.24

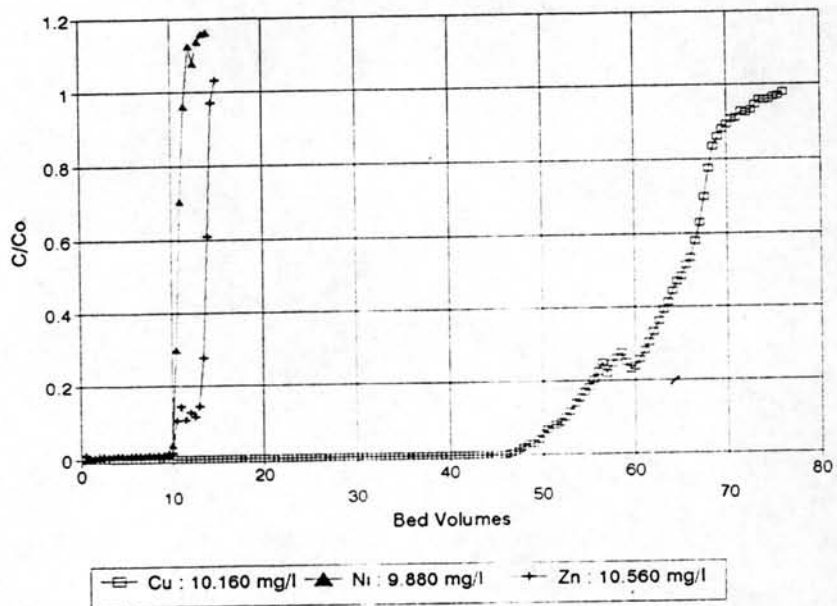
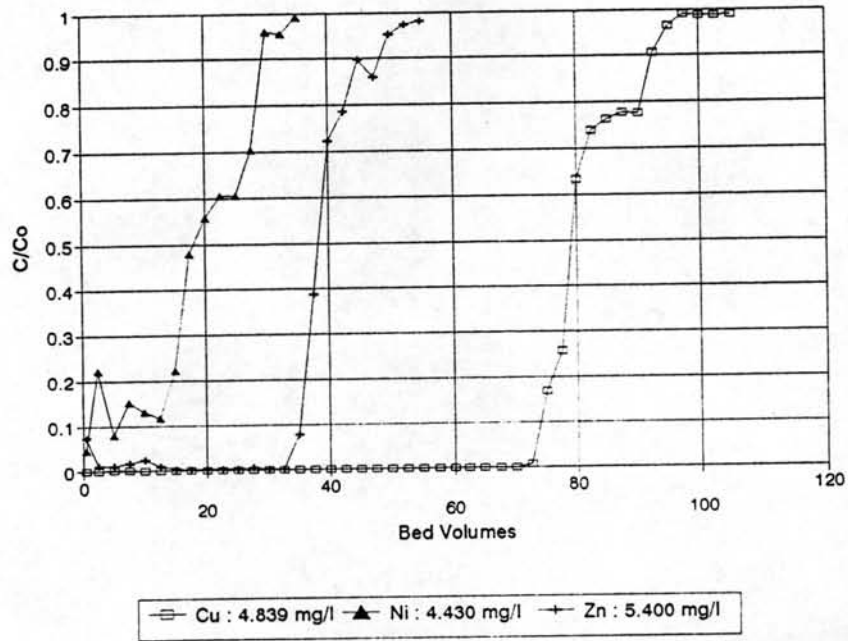
จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาและชานอ้อยจะลดลง และจากลักษณะของโครงสร้างของชานอ้อยมีความพรุนมากทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยมีค่าต่ำกว่าของผักตบชวา นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการรั่วหนีของไอออนสังกะสีค่อนข้างง่าย ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งชานอ้อยที่ปรับสภาพ และไม่ปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 5.22 และ 5.24 ส่วน



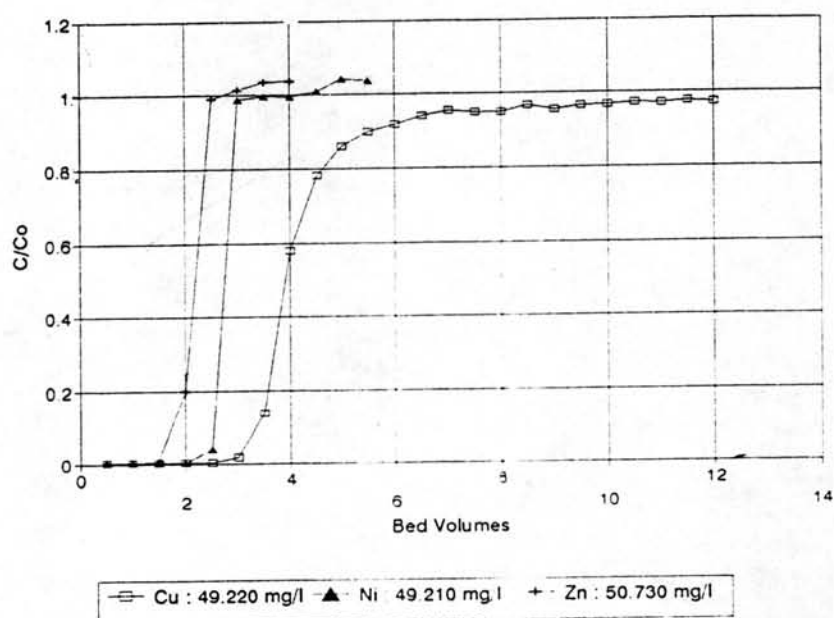
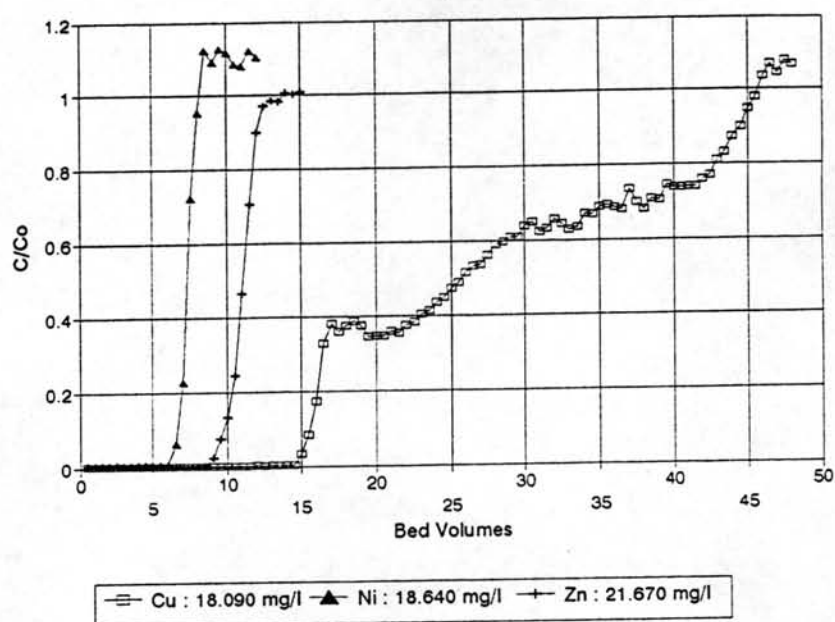
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 5 และ 10 mg/l



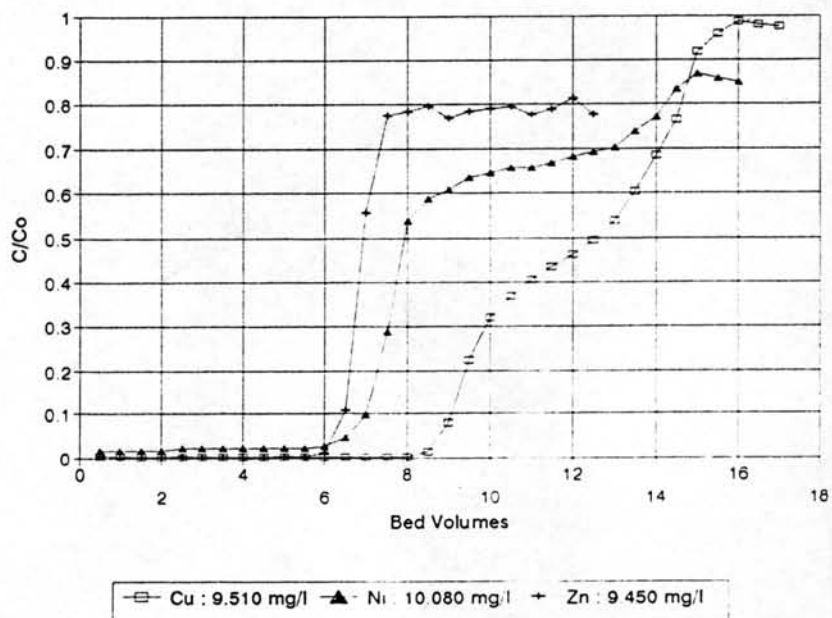
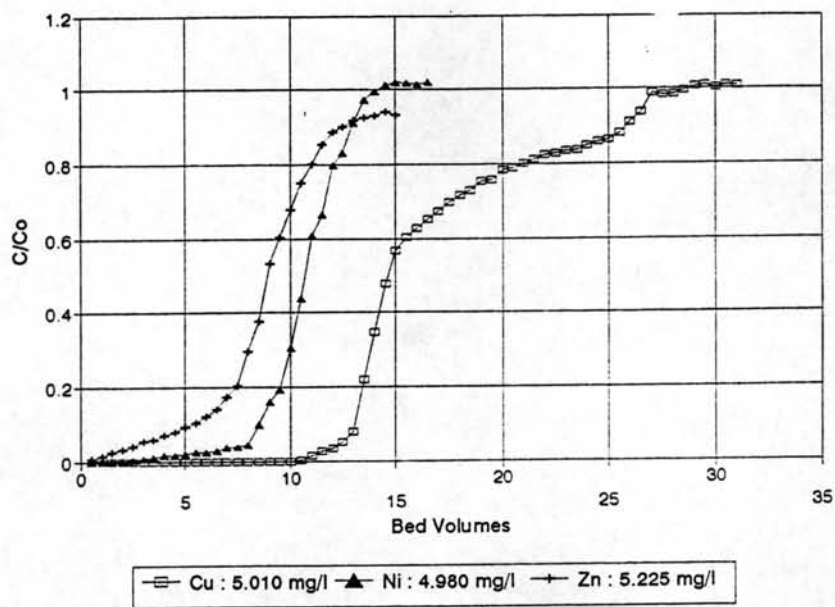
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่นำมาได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 20 และ 50 mg/l



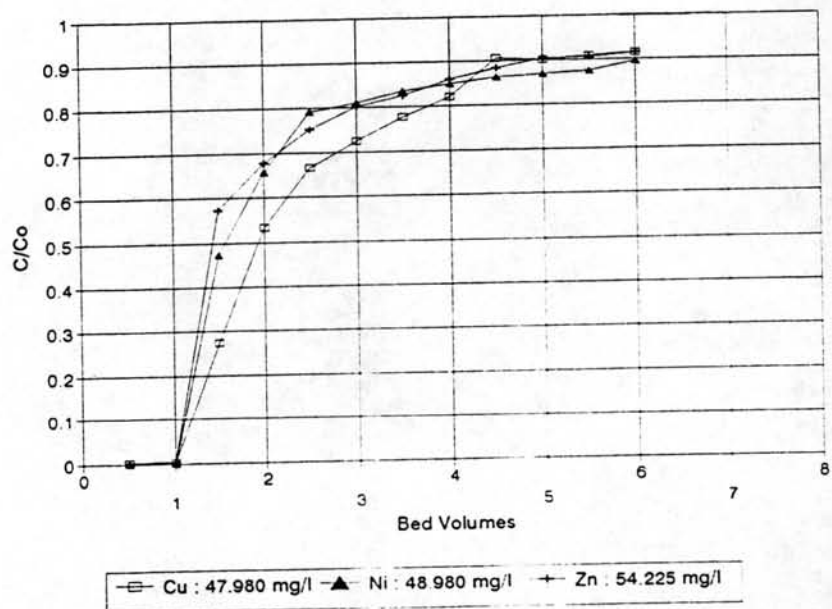
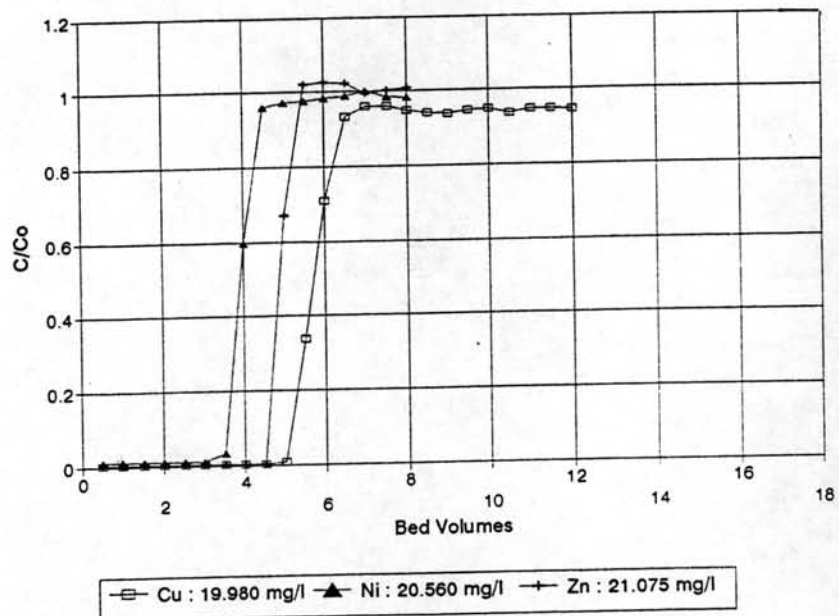
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของฝักคดชาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 5 และ 10 mg/l



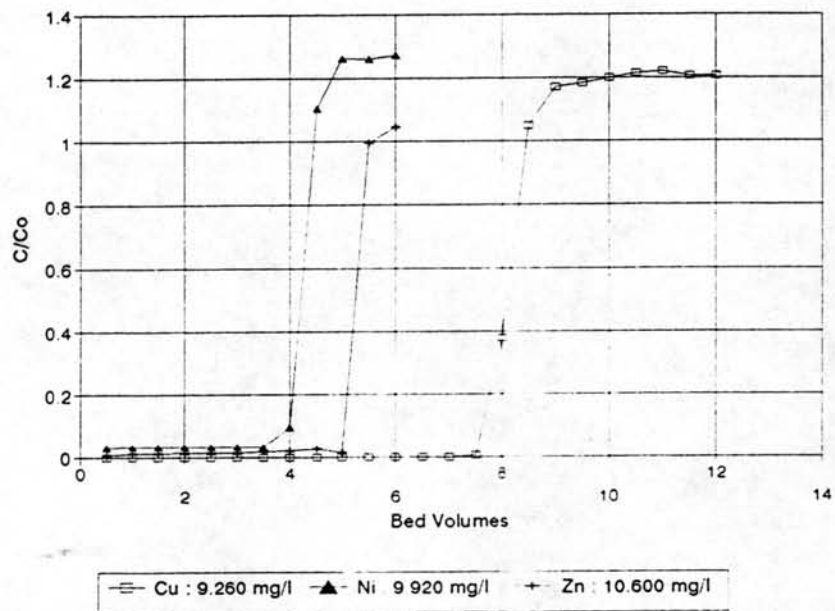
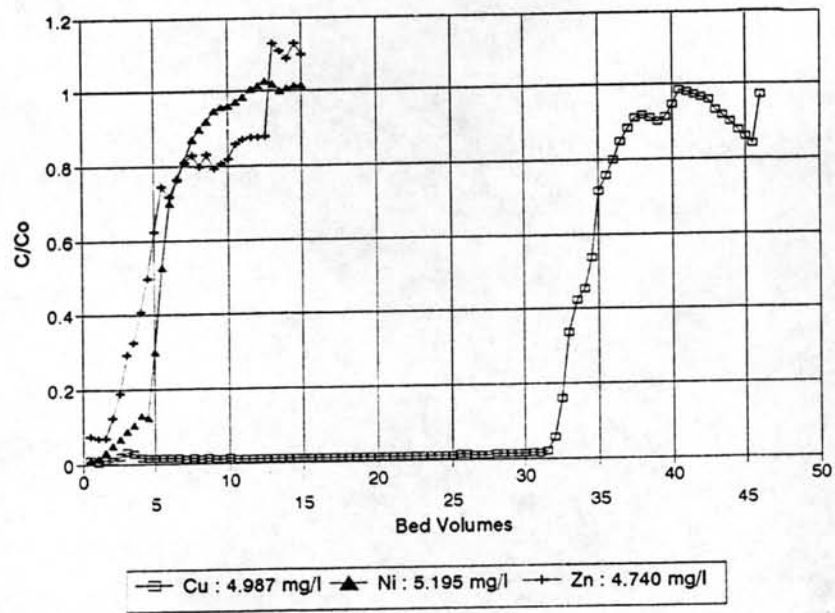
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่รับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 20 และ 50 mg/l



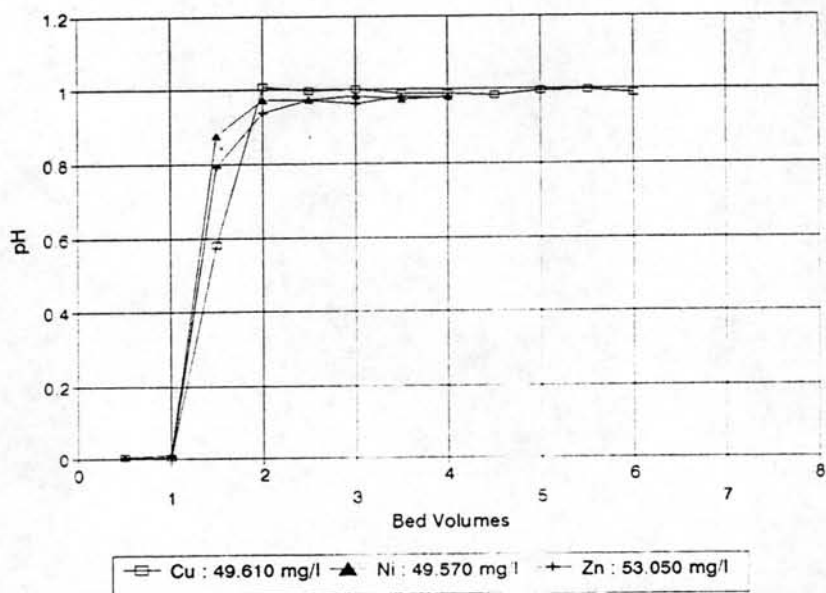
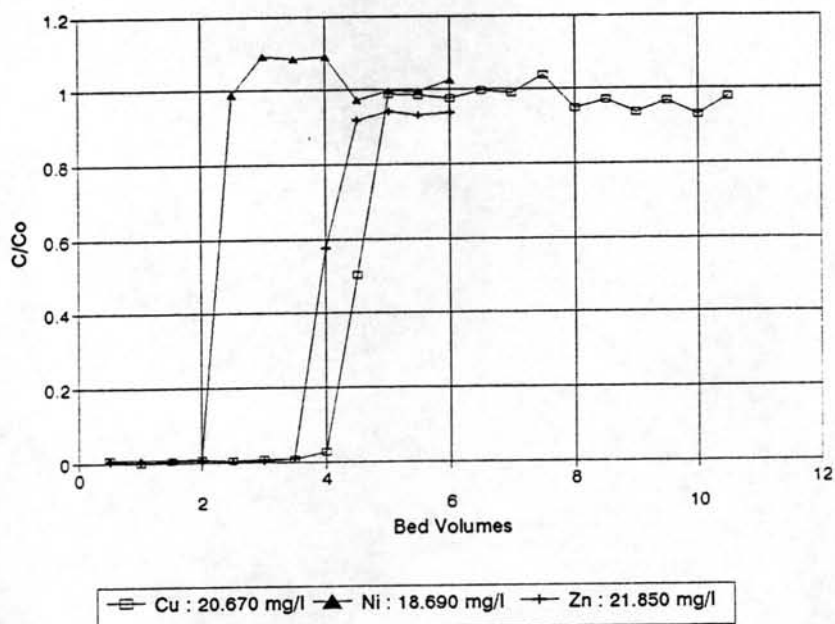
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของขาน้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียนี้อาจมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 5 และ 10 mg/l



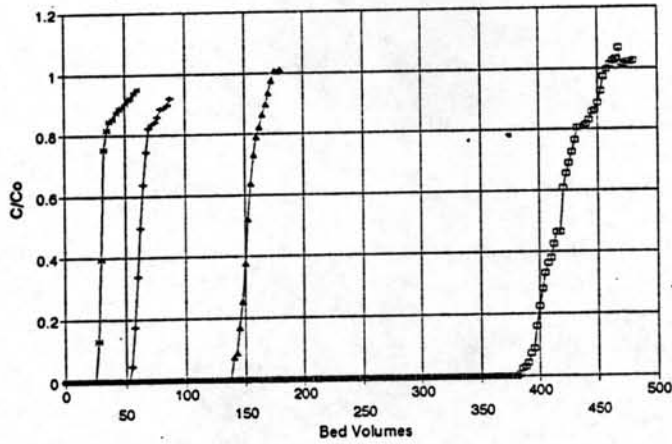
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสี้ยวกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสี้ยวมีปริมาณโลหะหนัก ประมาณ 20 และ 50 mg/l



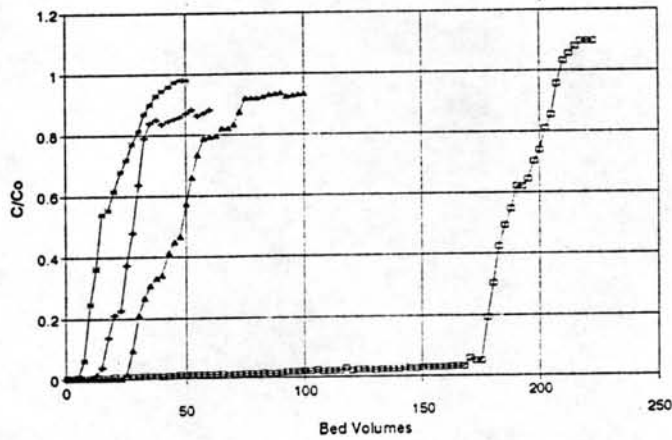
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของซันซ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 5 และ 10 mg/l



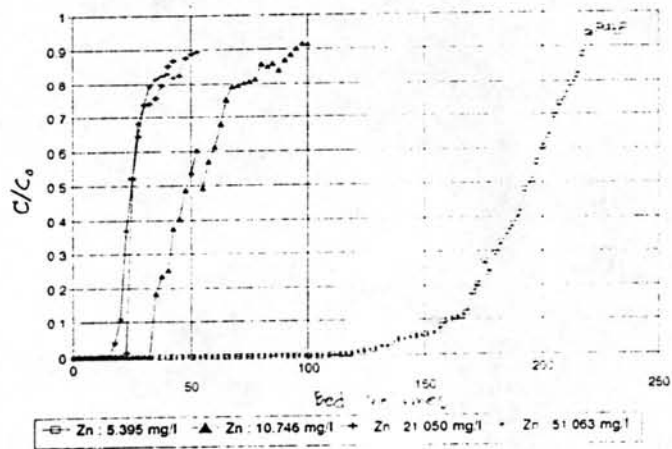
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโลหะหนักในน้ำเสียกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของซันอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียนี้อาจมีปริมาณโลหะหนักประมาณ 20 และ 50 mg/l



—○— Cu : 4.875 mg/l —▲— Cu : 10.090 mg/l —+— Cu : 19.430 mg/l —×— Cu : 48.990 mg/l

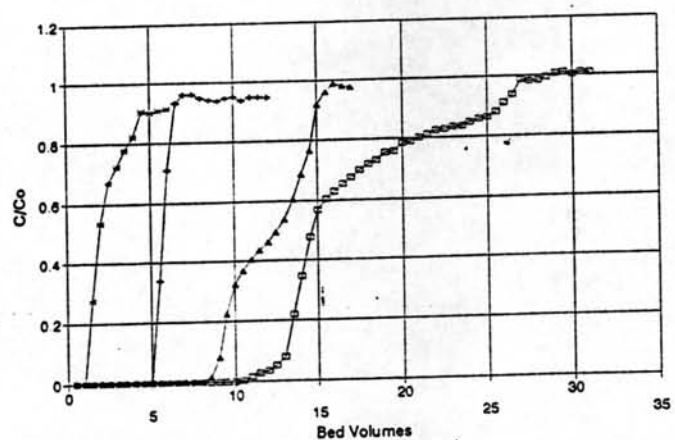


—○— Ni : 4.934 mg/l —▲— Ni : 10.030 mg/l —+— Ni : 22.270 mg/l —×— Ni : 51.320 mg/l

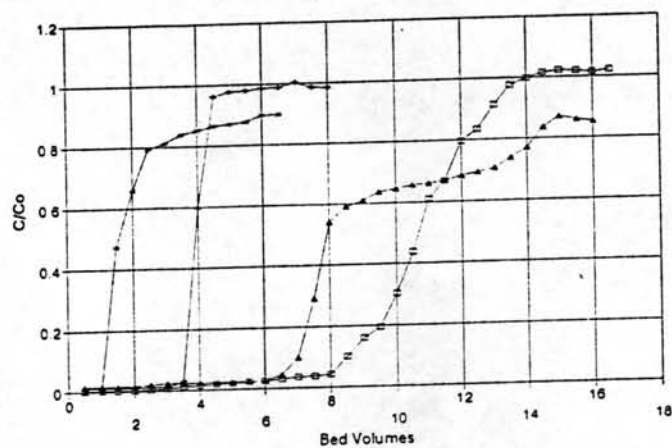


—○— Zn : 5.395 mg/l —▲— Zn : 10.746 mg/l —+— Zn : 21.050 mg/l —×— Zn : 51.063 mg/l

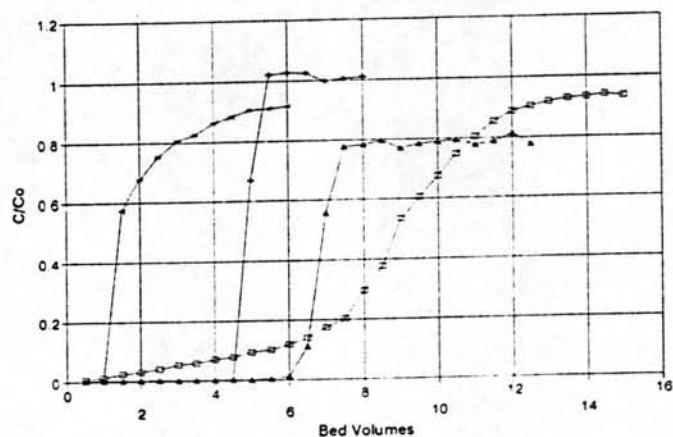
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียดกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth)



—○— Cu : 5.010 mg/l —▲— Cu : 9.510 mg/l —●— Cu : 19.980 mg/l —◐— Cu : 47.980 mg/l

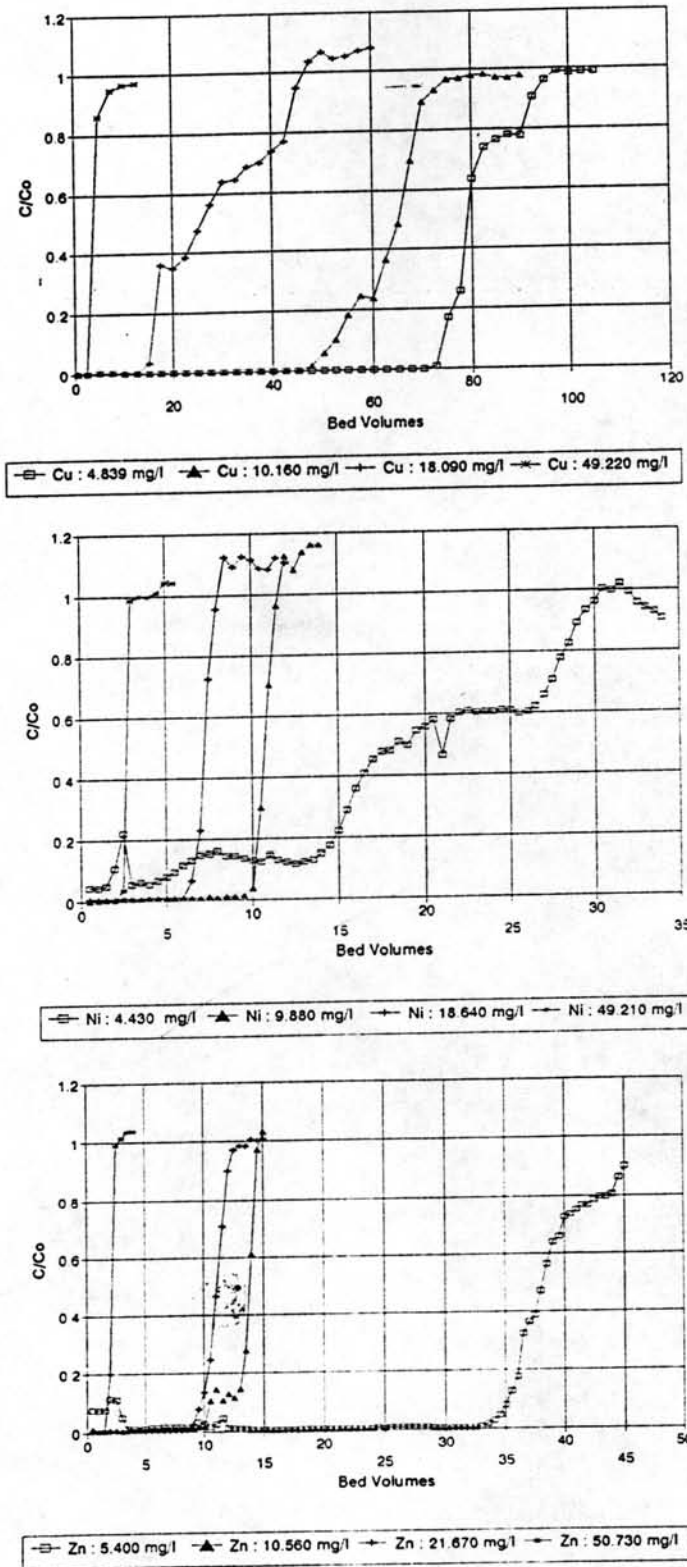


—○— Ni : 4.980 mg/l —▲— Ni : 10.080 mg/l —●— Ni : 20.560 mg/l —◐— Ni : 48.980 mg/l

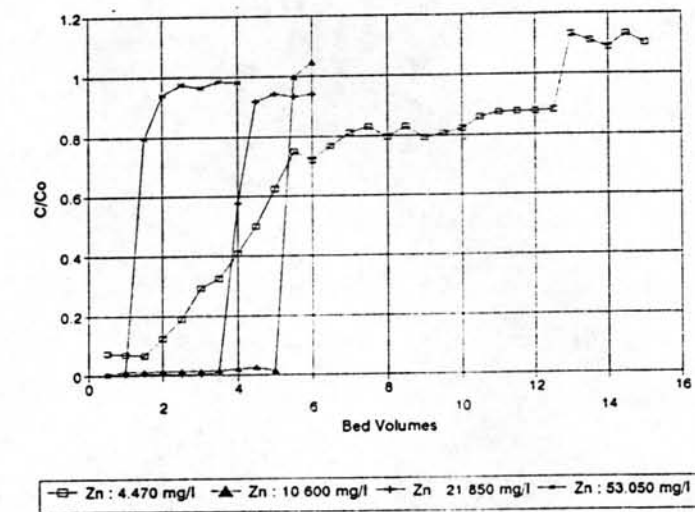
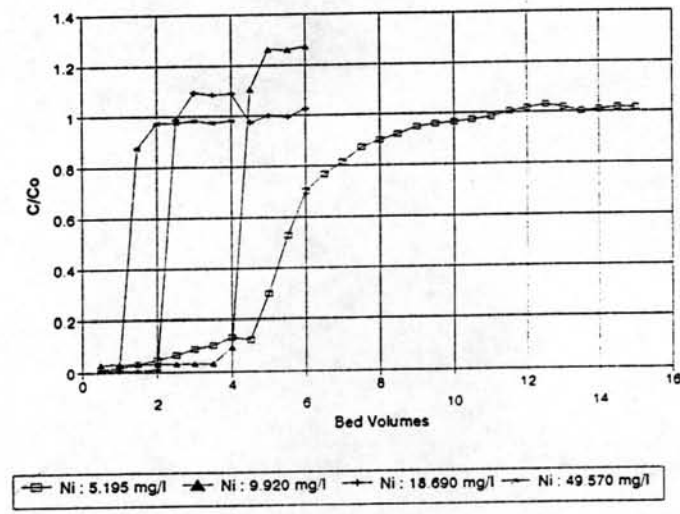
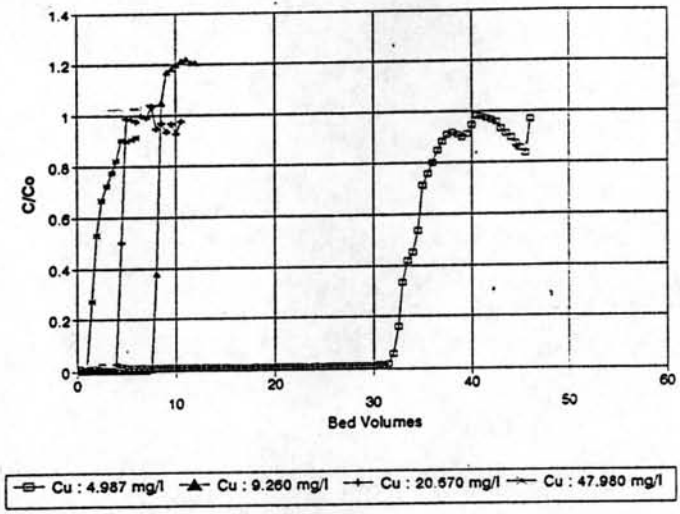


—○— Zn : 5.225 mg/l —▲— Zn : 9.450 mg/l —●— Zn : 21.075 mg/l —◐— Zn : 54.225 mg/l

รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียดกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth)



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสี้ยวกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของซันอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse)



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำเสี้ยวกับประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse)

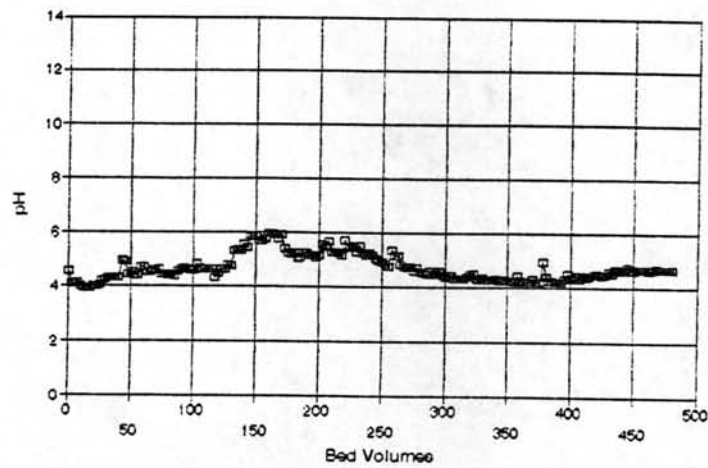
ของผักตบชวาการรั่วหนีของไอออนเกิดขึ้นน้อย โดยเฉพาะจะเกิดกับผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เท่านั้น ชนิดของไอออนที่รั่วหนีค่อนข้างง่าย คือ ไอออนของนิคเกิล ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.23 นอกจากนี้เมื่อพิจารณากรณีที่น้ำเสียนี้อาจมีความเข้มข้นสูง คือ 20-50 mg/l ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน จะมีค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผักตบชวาและชานอ้อยเหมาะสำหรับใช้แลกเปลี่ยนไอออนกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำ ๆ ถ้าน้ำเสียนี้อาจมีความเข้มข้นของโลหะสูง ๆ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลงอย่างรวดเร็ว

5.6 ระดับพีเอชของน้ำทิ้งจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาและชานอ้อย

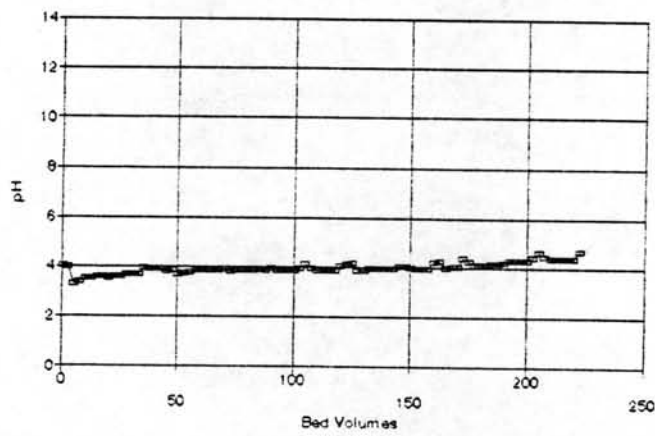
ในการวิจัยนี้ใช้น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักปริมาณต่าง ๆ ซึ่งควบคุมพีเอชของน้ำเสียให้เท่ากับ 5 เนื่องจากที่พีเอชประมาณ 5 ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด (Maranon และ Sastre, 1992) รูปที่ 5.25-5.40 แสดงกราฟของพีเอชน้ำทิ้งจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาและชานอ้อย พบว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชของน้ำเสีย จากรายงานของ Odozi และ คณะ, 1985 ได้อธิบายไว้ว่าการที่พีเอชของน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าพีเอชของน้ำเสีย เกิดขึ้นเนื่องจากสารแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้เป็นเรซินแบบกรด ดังนั้นการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถเกิดขึ้นโดย H^+ ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของหมู่ไอออนของเรซิน แลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ จึงทำให้มี H^+ ในน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าพีเอชน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าพีเอชของน้ำเสีย จากกราฟจะเห็นได้ว่า พีเอชของน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 3-4

5.7 ระดับการรีเจนเนอเรชันของผักตบชวาและชานอ้อย

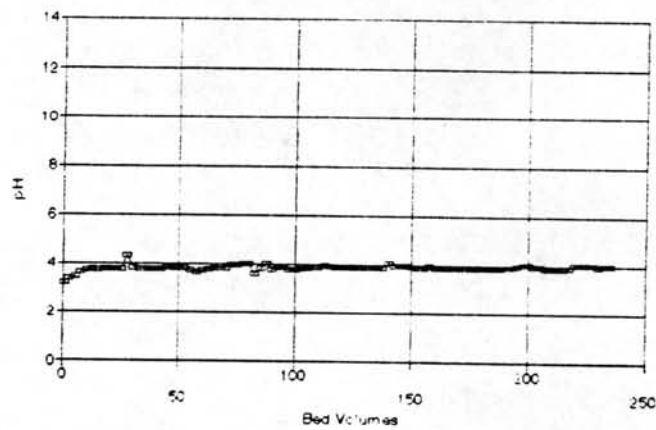
ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน คือ ปริมาณรีเจนเนอเรนต์ที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชัน โดยทั่วไป เรซินแบบกรดอ่อน มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90% ทำให้ไม่เปลืองสารเคมีที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชัน เนื่องจากสารเซลล์ูโลสแลกเปลี่ยนไอออนเป็นเรซินแบบกรดอ่อน สารรีเจนเนอเรนต์ ได้แก่ กรดแก่ , กรดอ่อน หรือ เกลือแกง ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.5 N เป็นสาร



— Cu : 4.875 mg/l

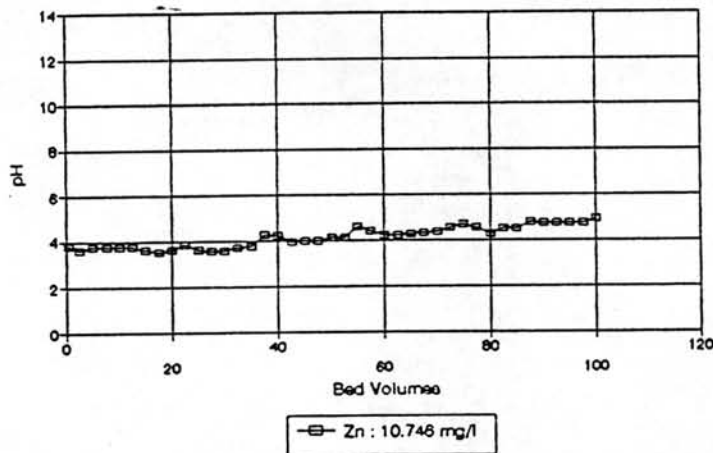
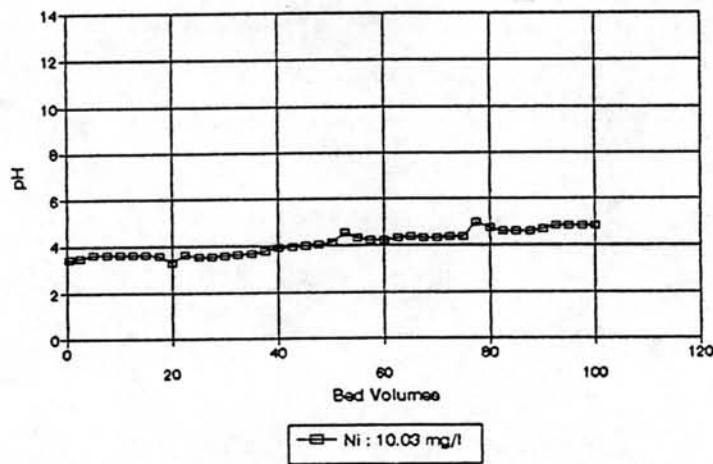
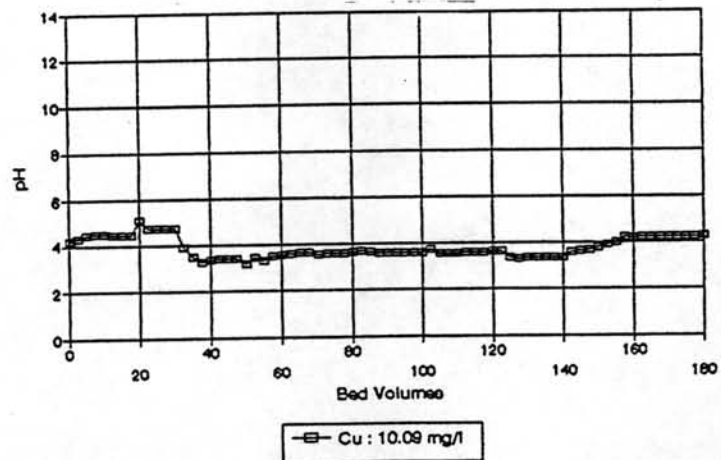


— Ni : 4.374 mg/l

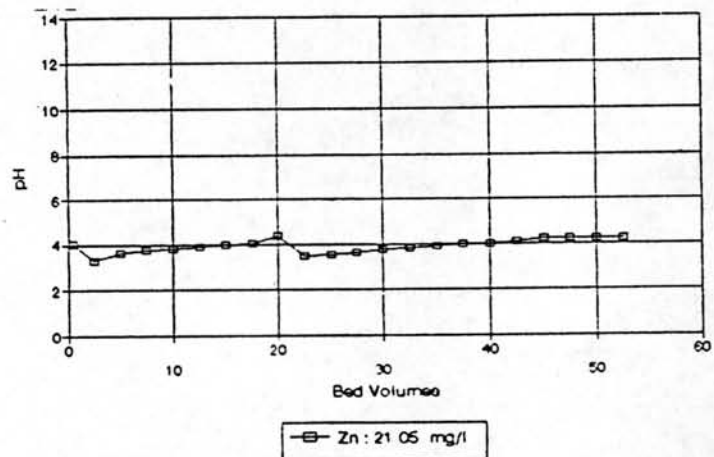
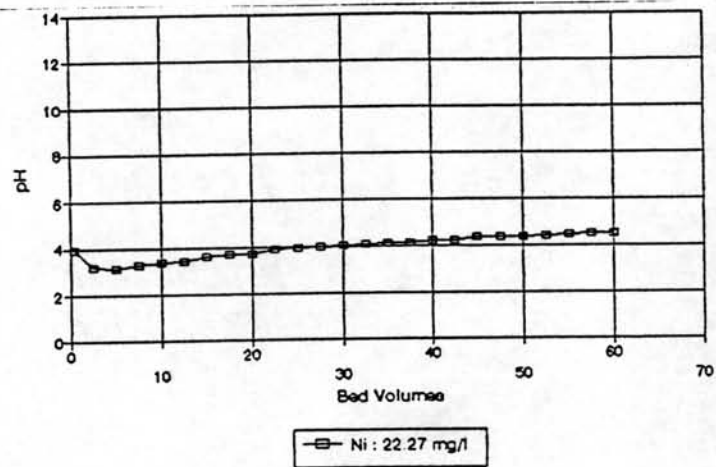
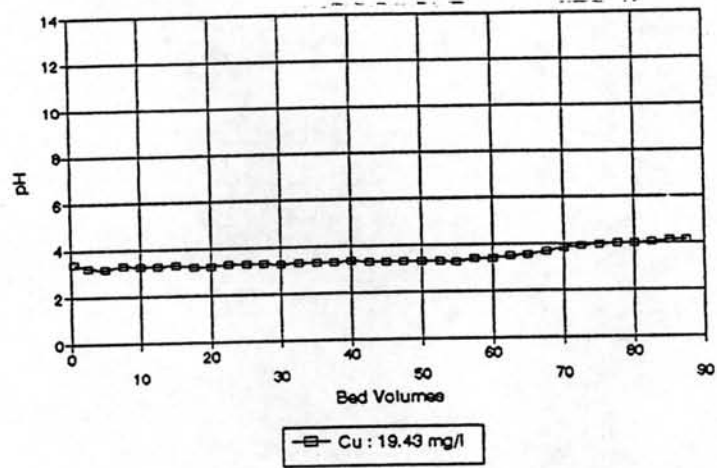


— Zn : 5.325 mg/l

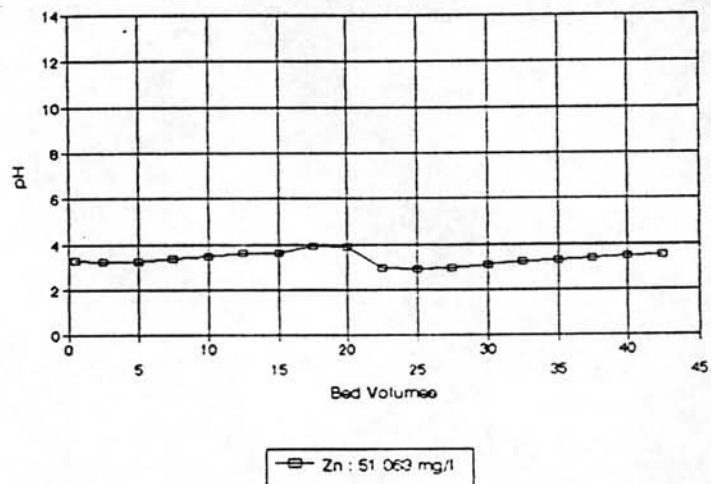
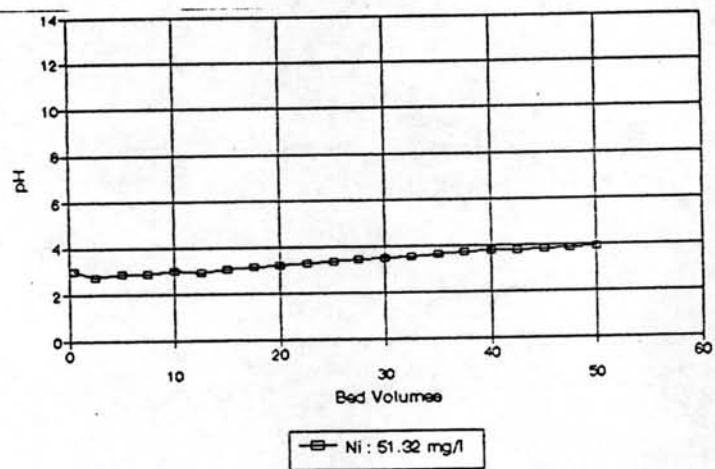
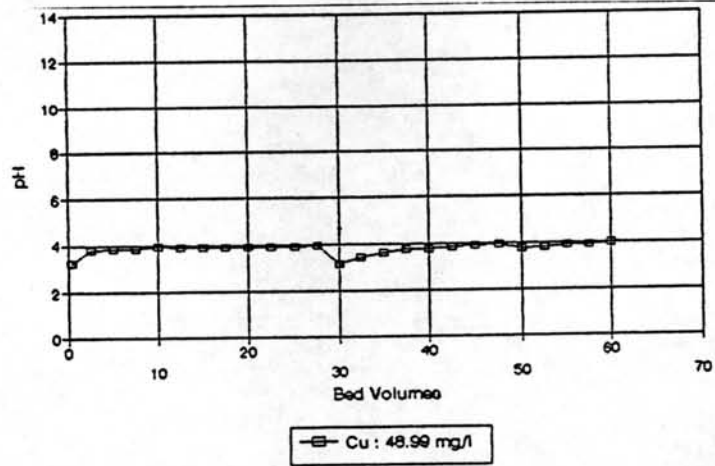
รูปที่ 5.25 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ฝักคอบขวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



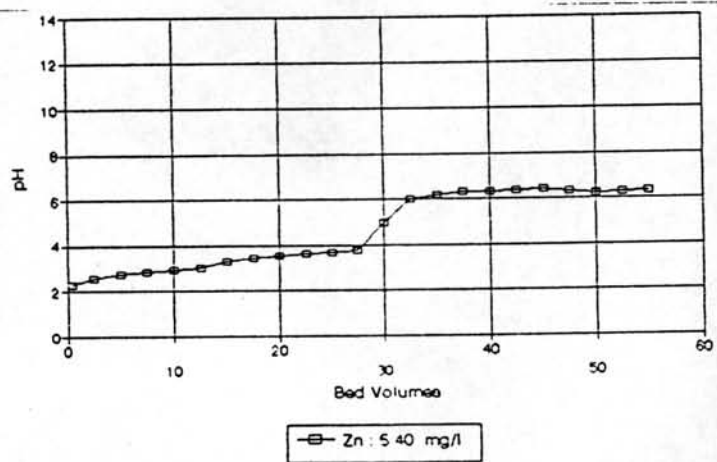
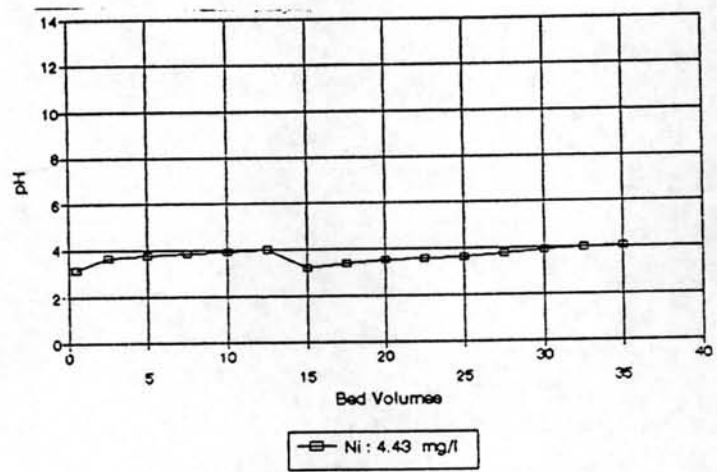
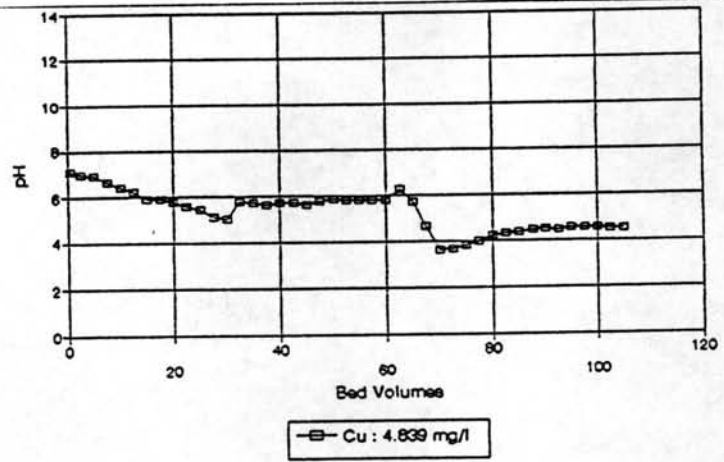
รูปที่ 5.26 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l



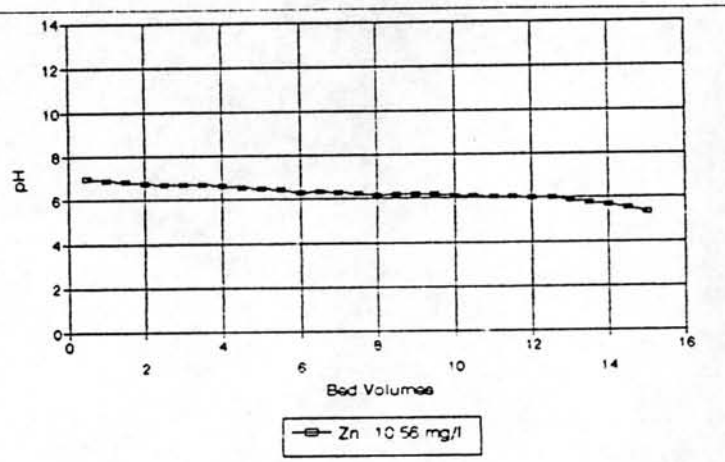
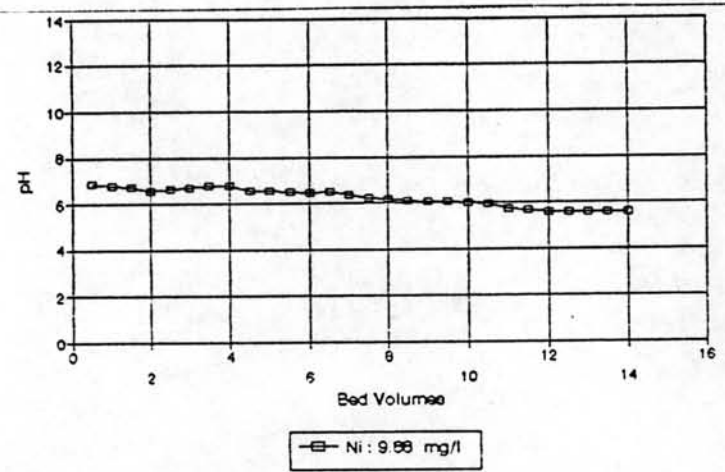
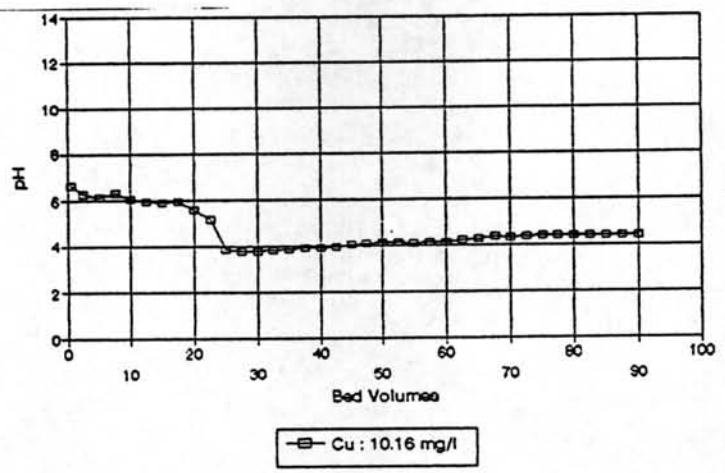
รูปที่ 5.27 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l



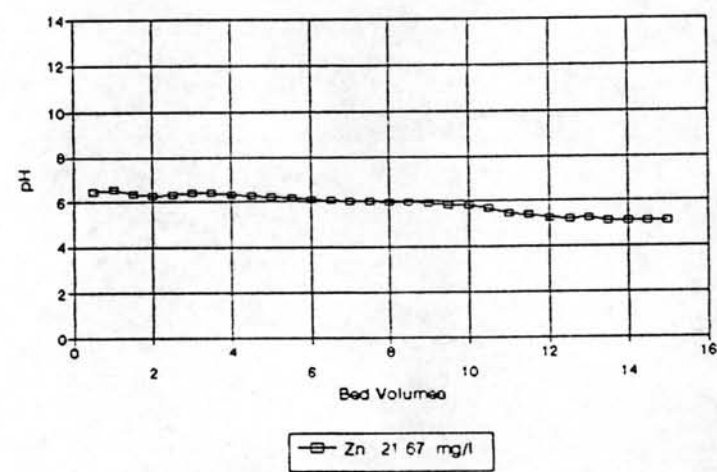
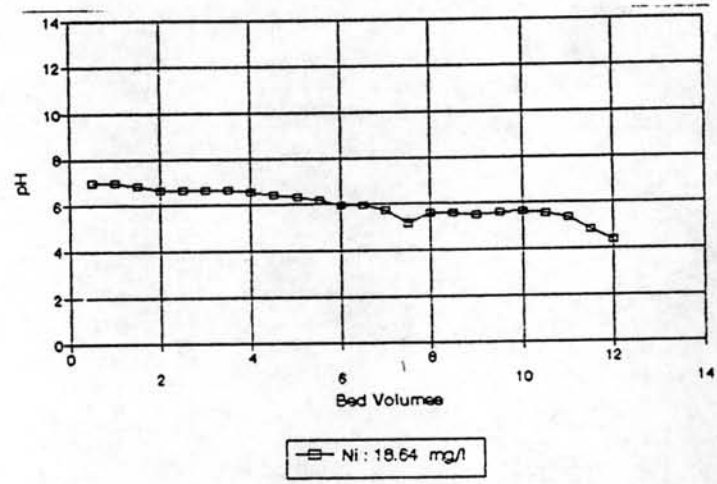
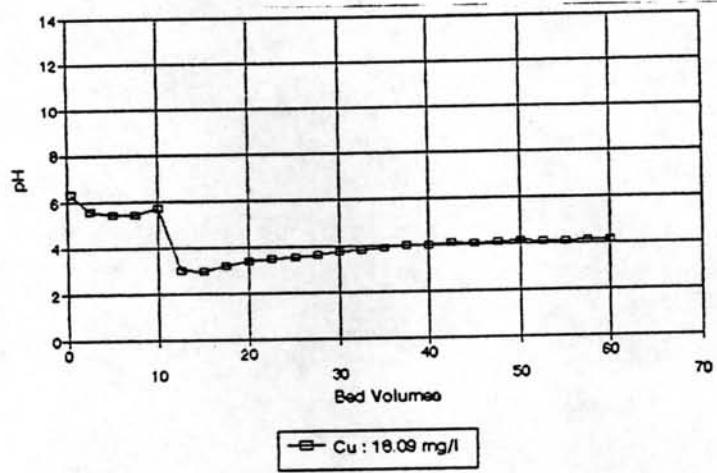
รูปที่ 5.28 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยพืชผักตบชวาที่นำมาได้
 ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก
 50 mg/l



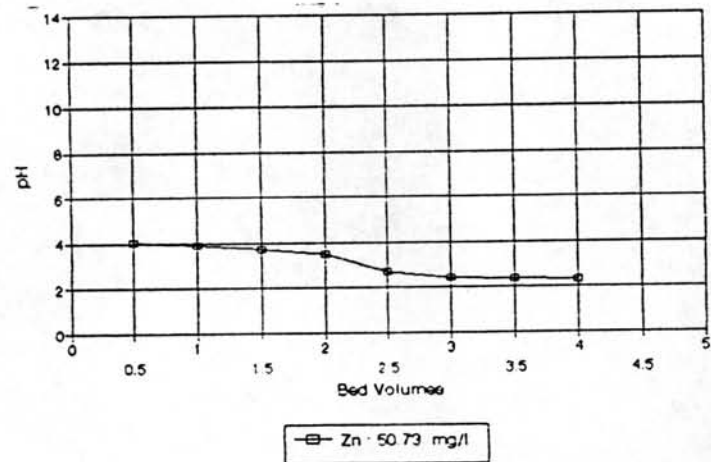
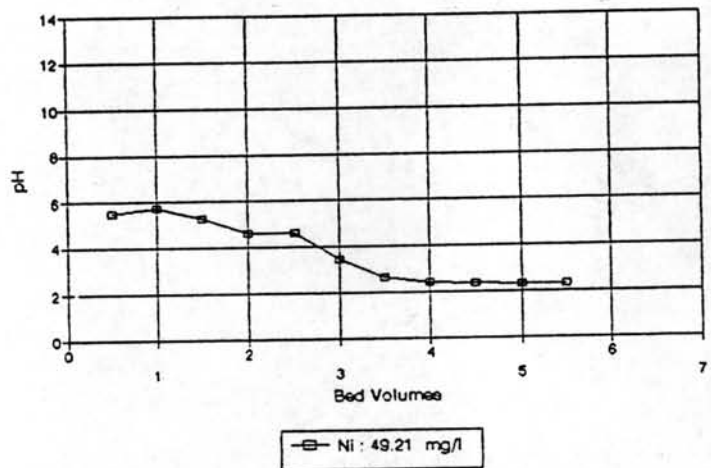
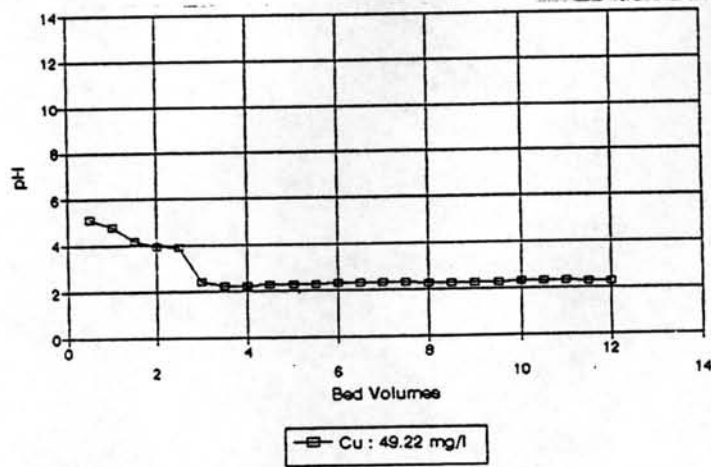
รูปที่ 5.29 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



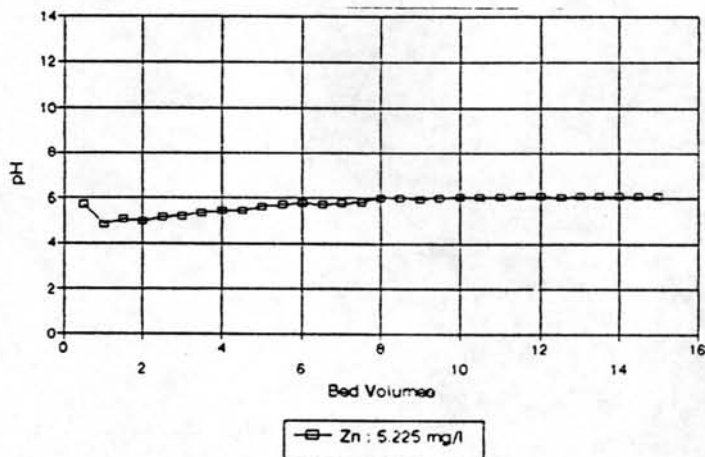
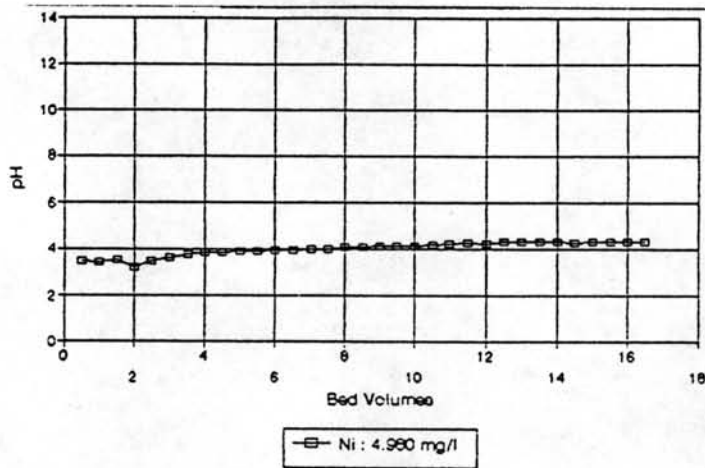
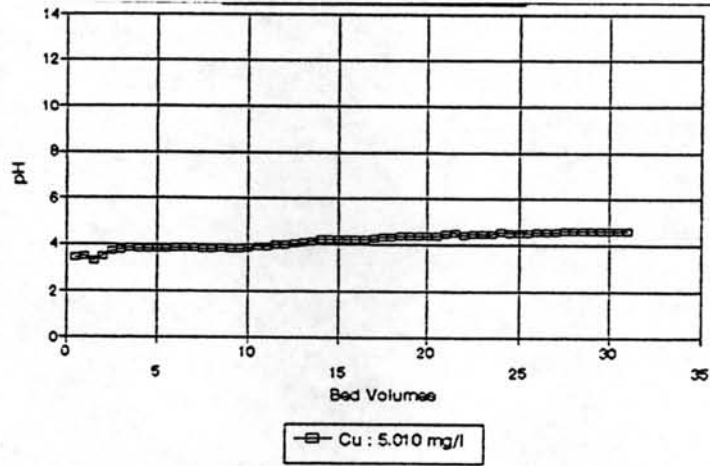
รูปที่ 5.30 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผกคดขาวที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l



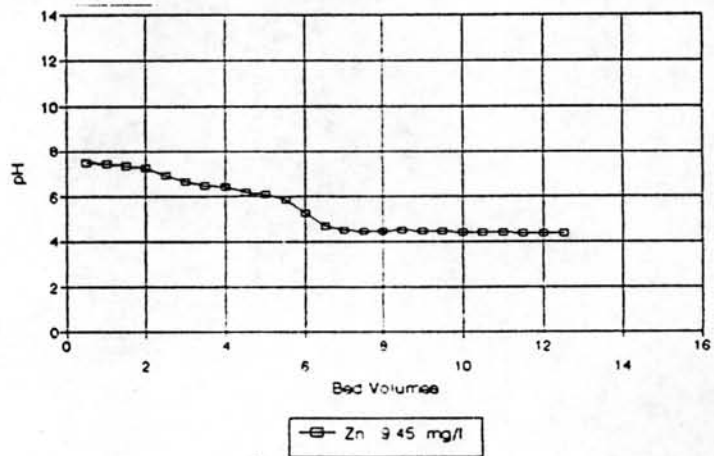
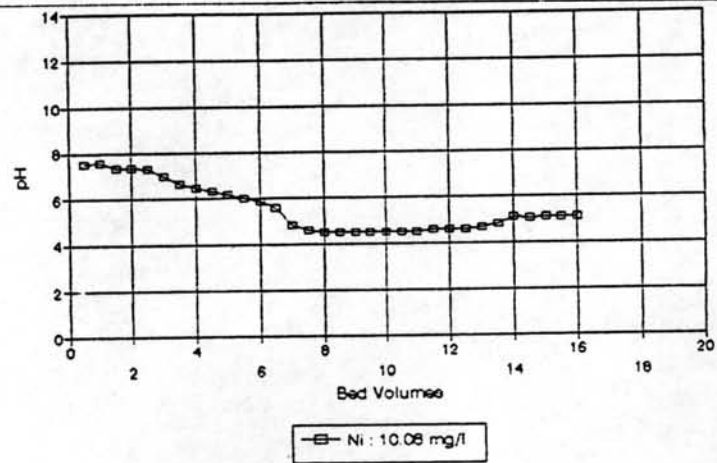
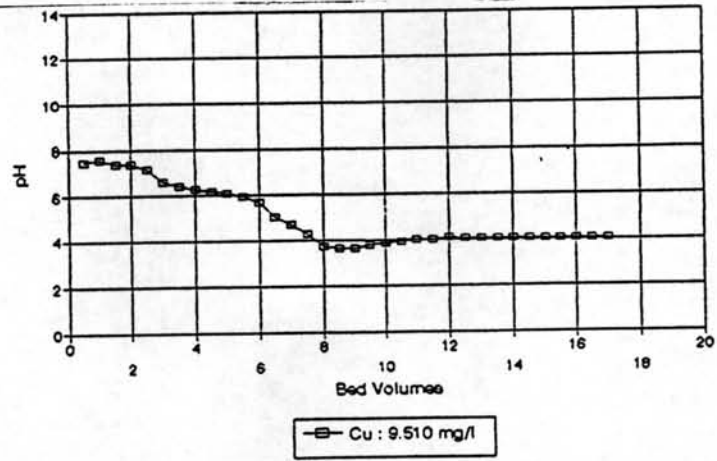
รูปที่ 5.31 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l



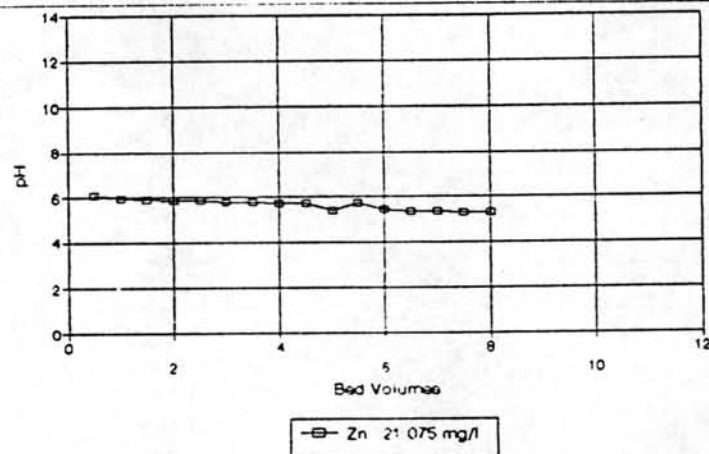
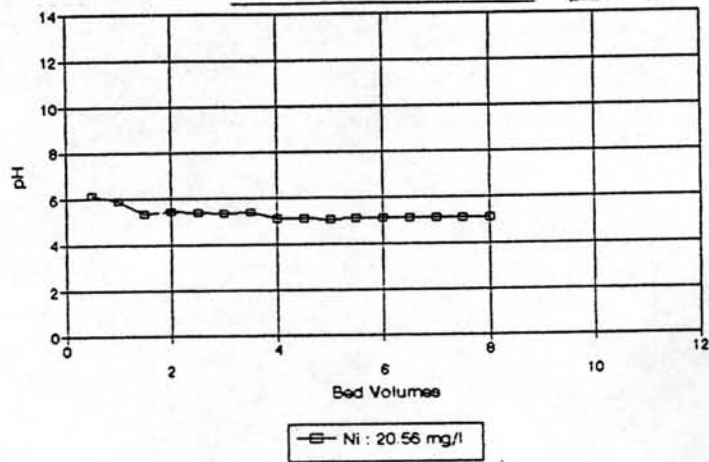
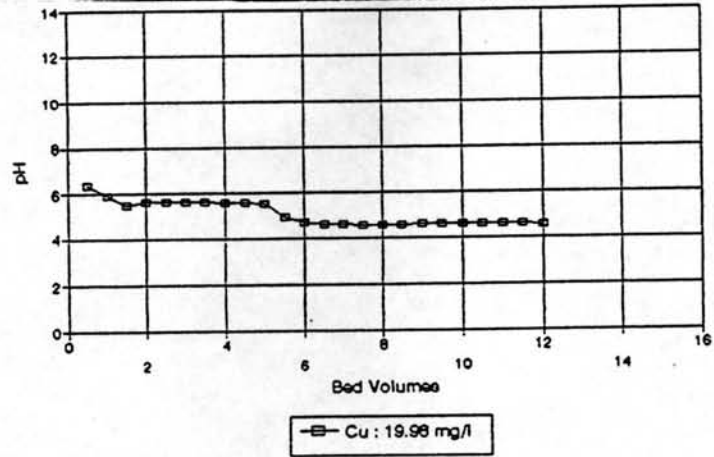
รูปที่ 5.32 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l



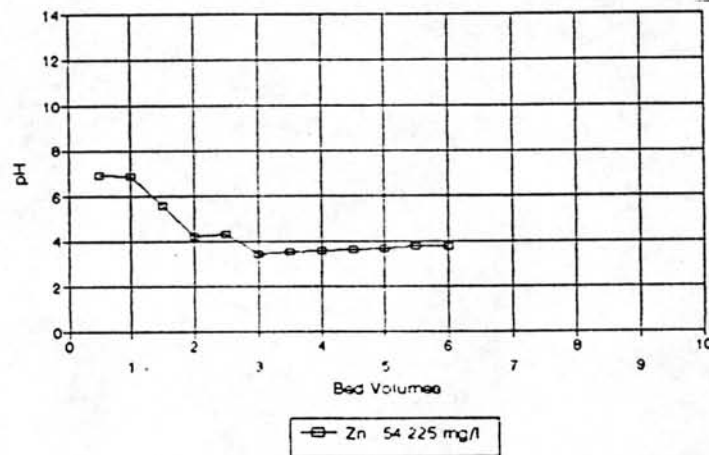
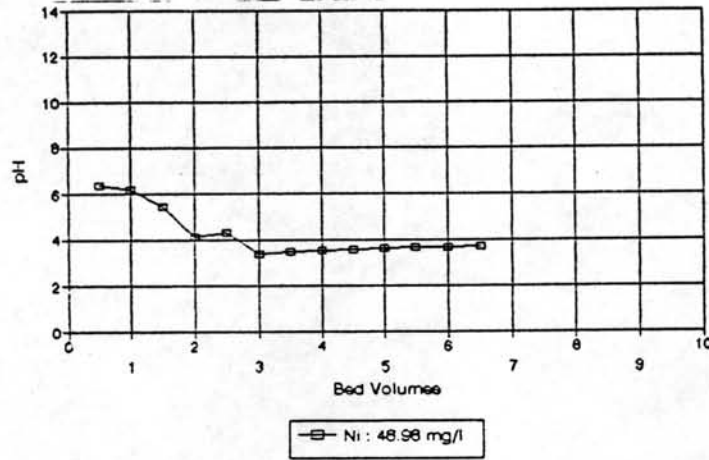
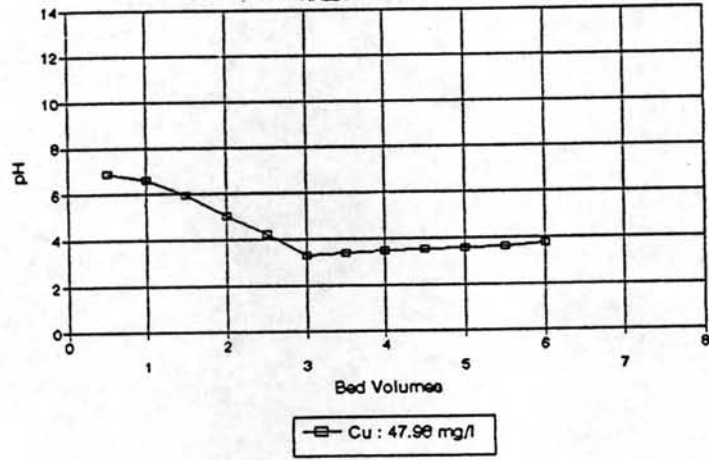
รูปที่ 5.33 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



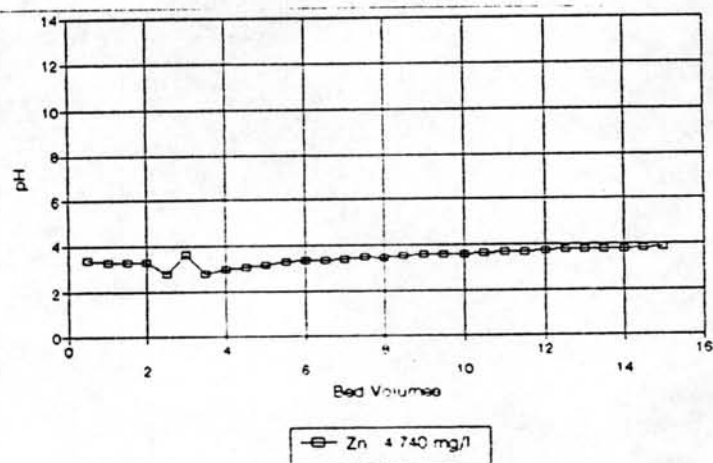
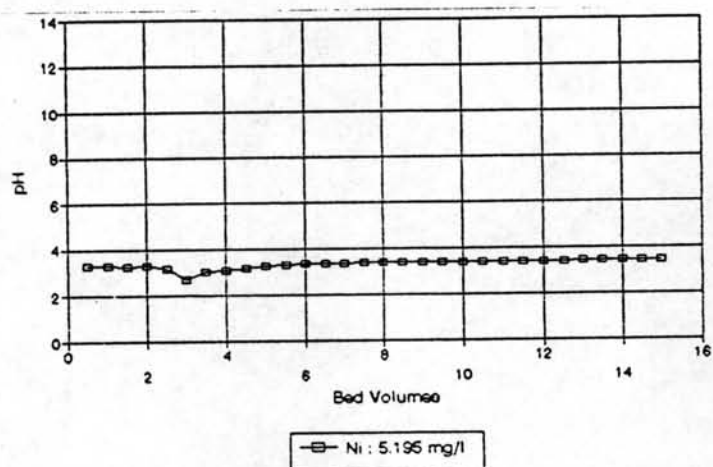
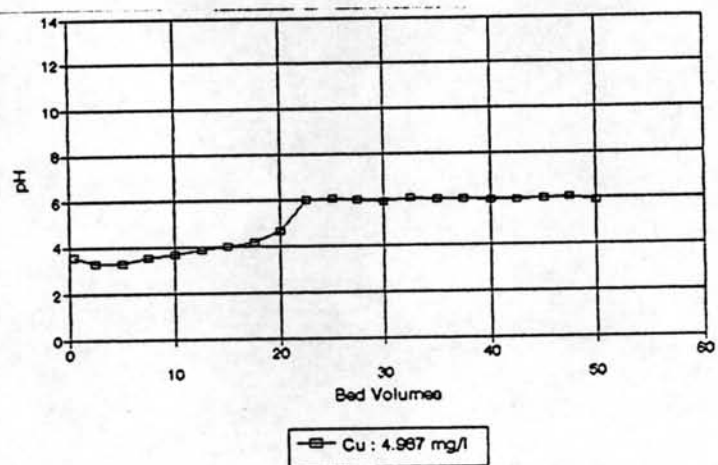
รูปที่ 5.34 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่มาจาก
 ปรึบสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l



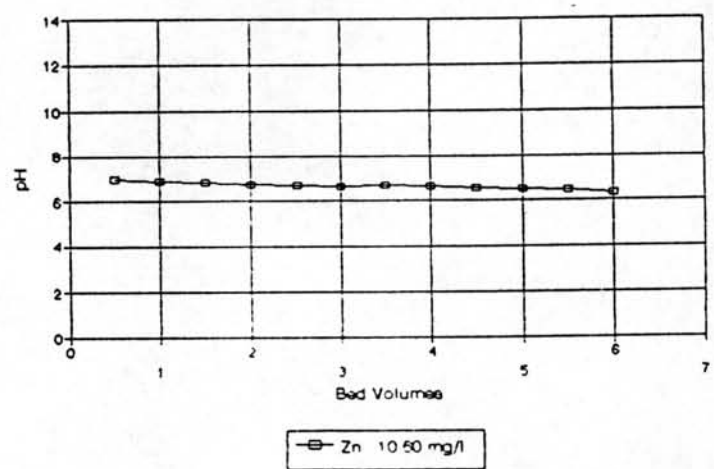
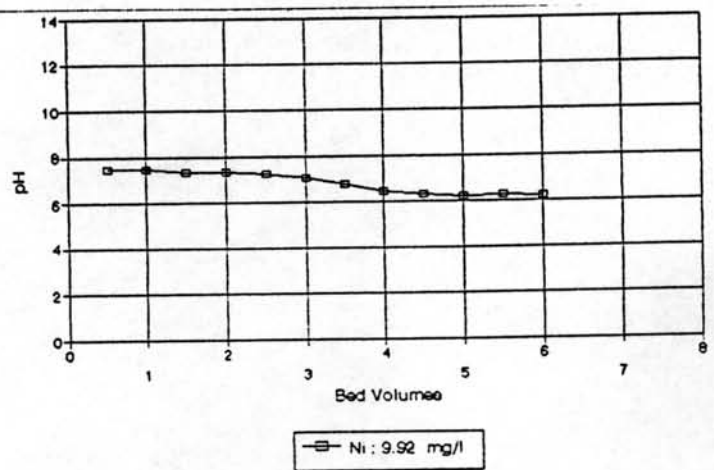
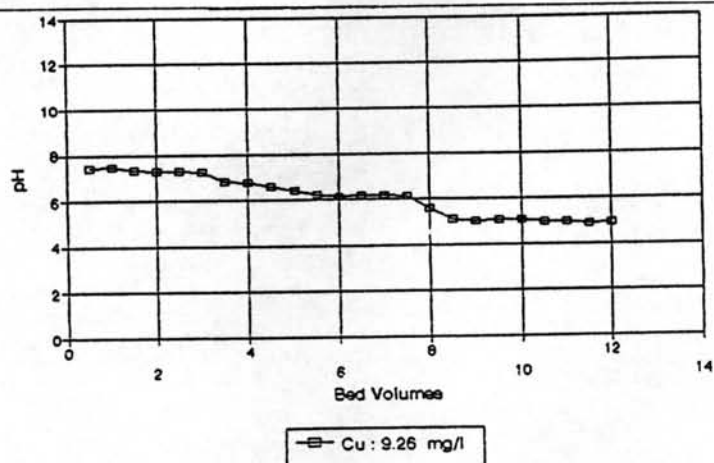
รูปที่ 5.35 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ซันอ้อยที่ไม่ได้
 ปรบสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l



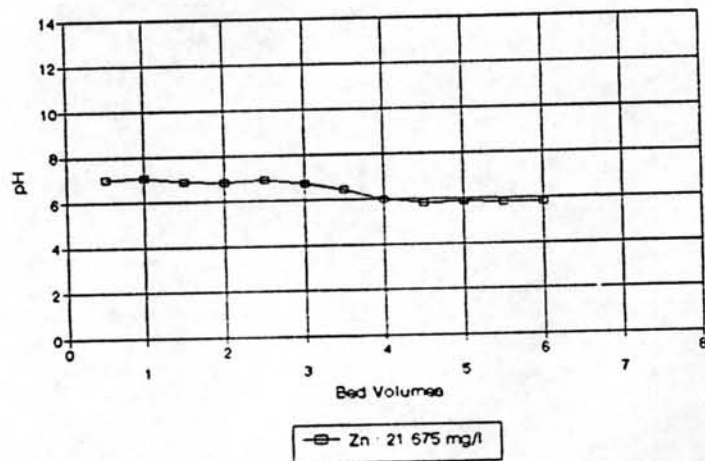
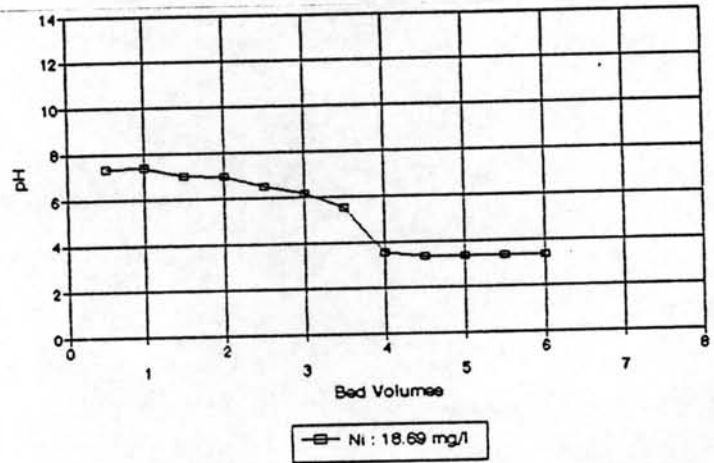
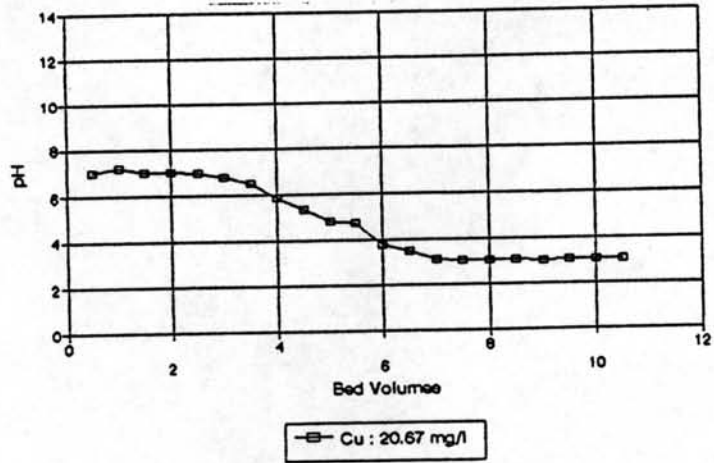
รูปที่ 5.36 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการสกัดเปลี่ยนไอออนโดยใช้ซันอ้อยที่นำมาได้
 ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เติมน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l



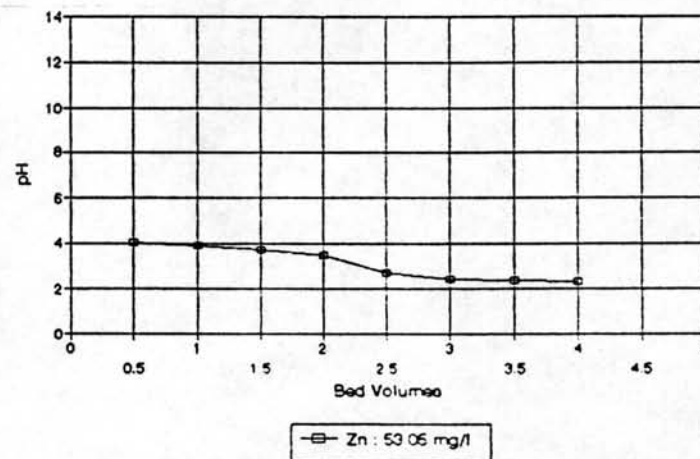
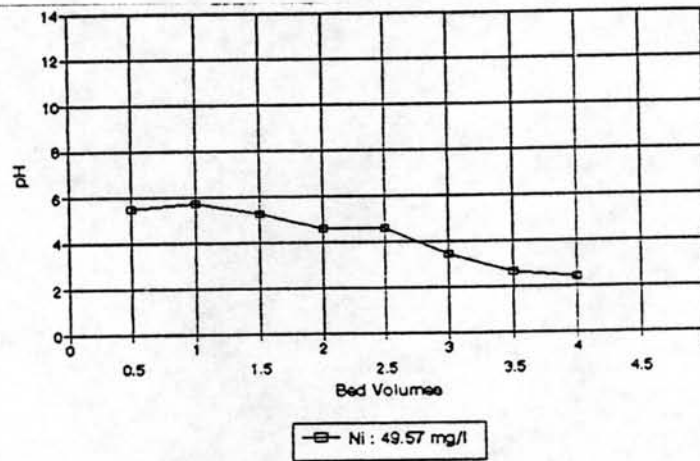
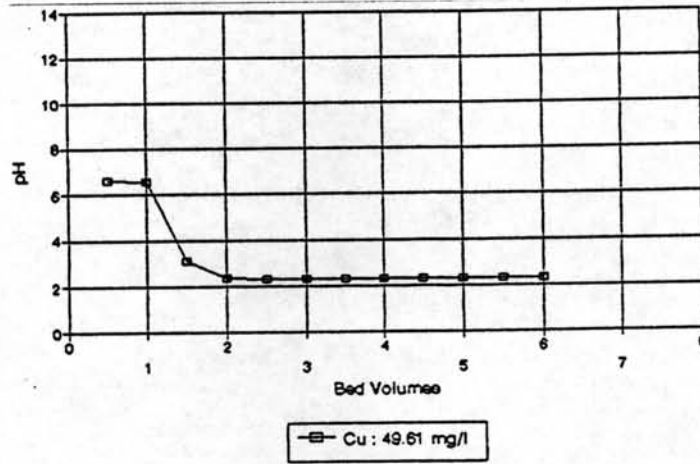
รูปที่ 5.37 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ซันอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



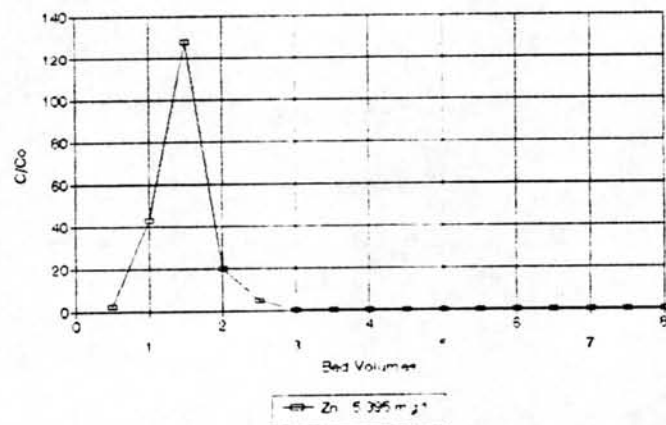
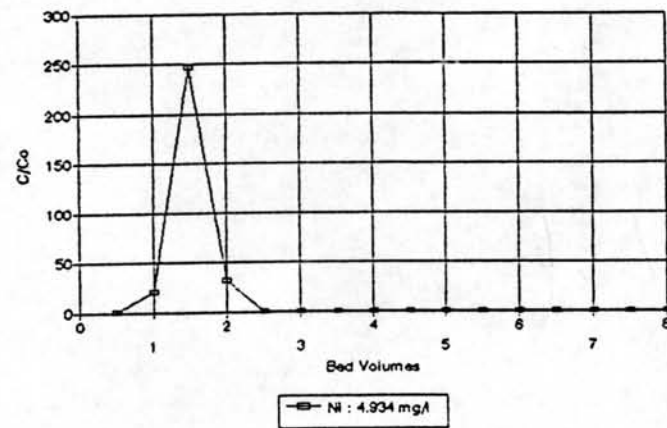
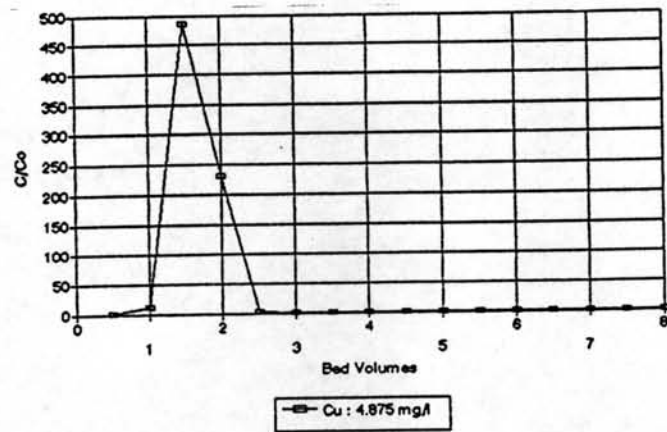
รูปที่ 5.38 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ซันช้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l



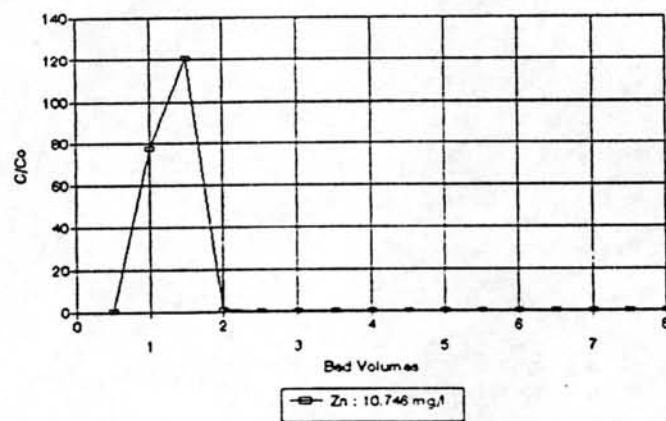
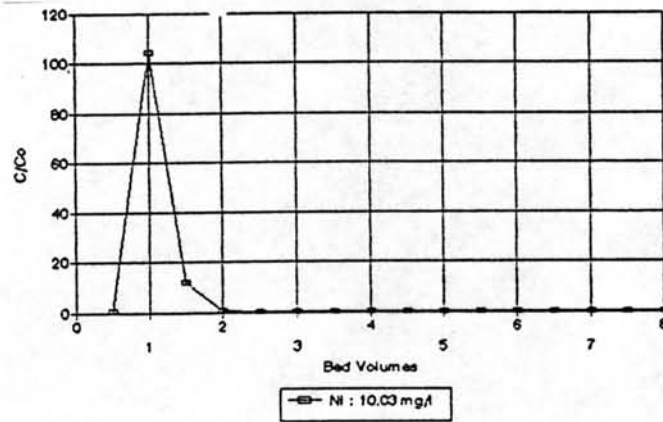
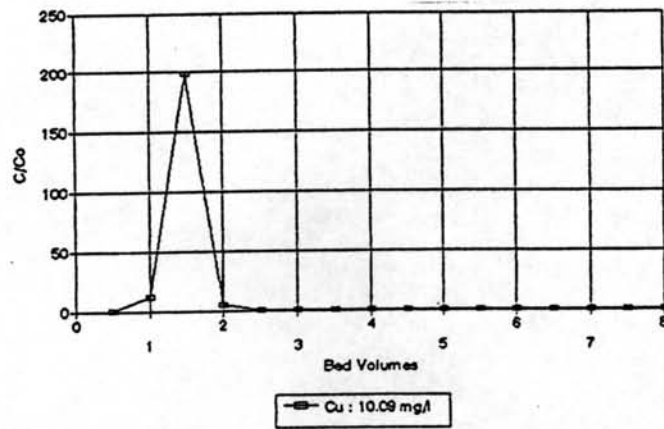
รูปที่ 5.39 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ซันอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l



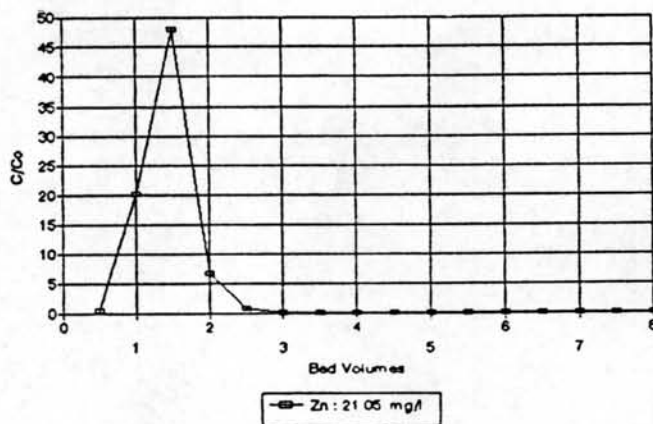
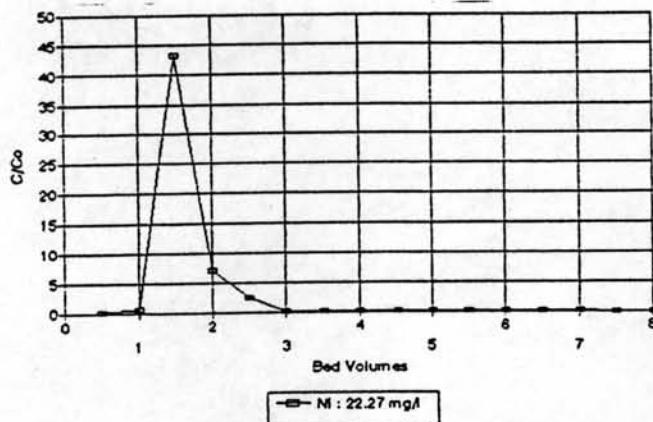
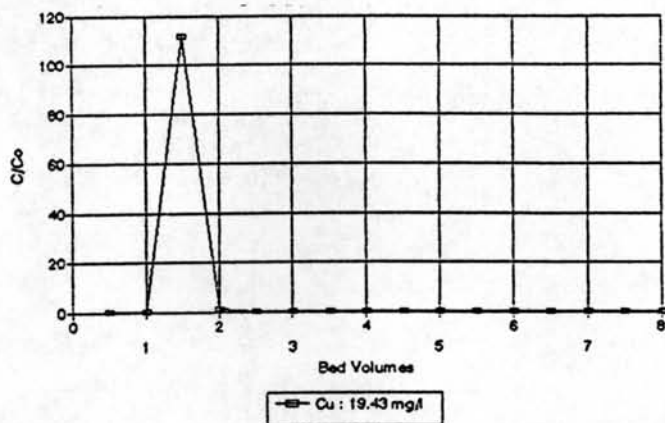
รูปที่ 5.40 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l



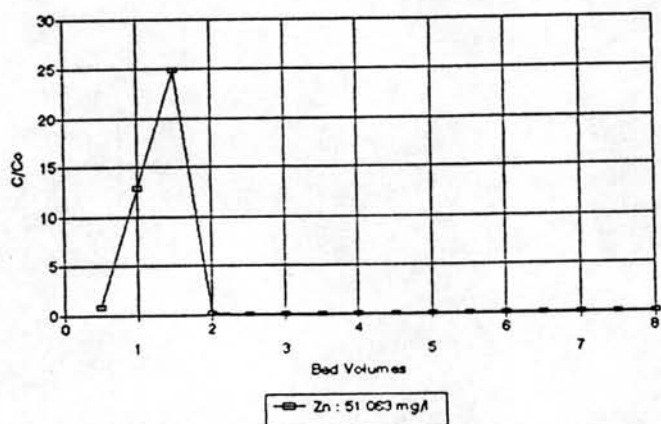
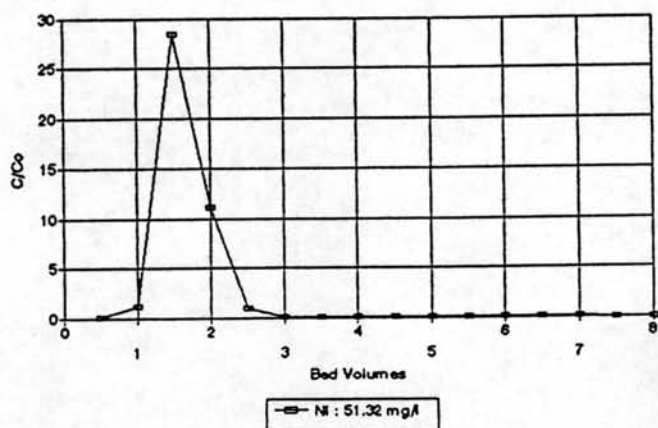
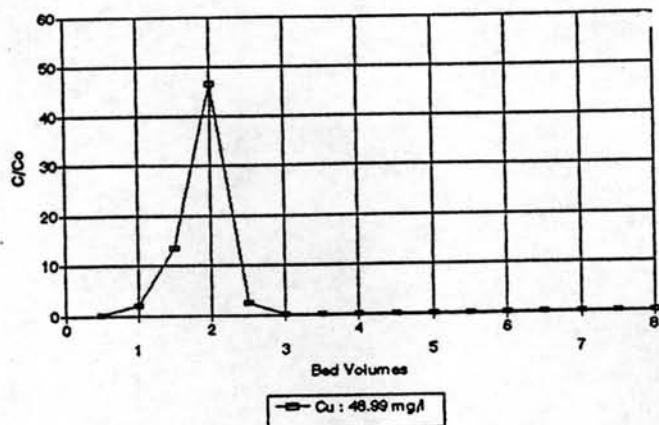
รูปที่ 5.41 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยพืช ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



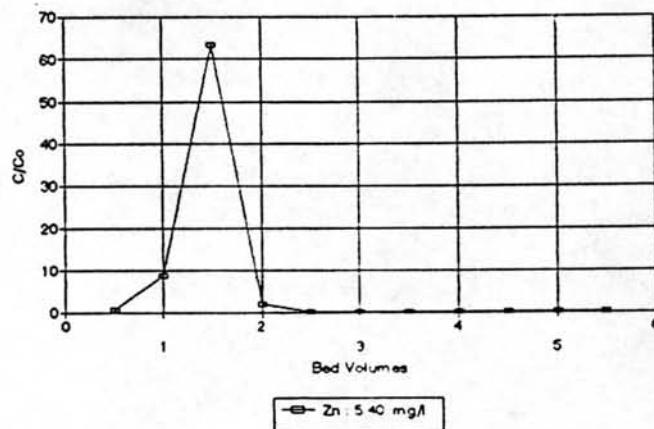
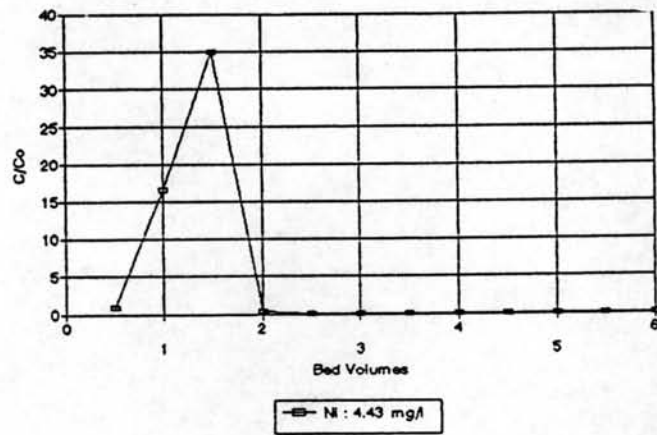
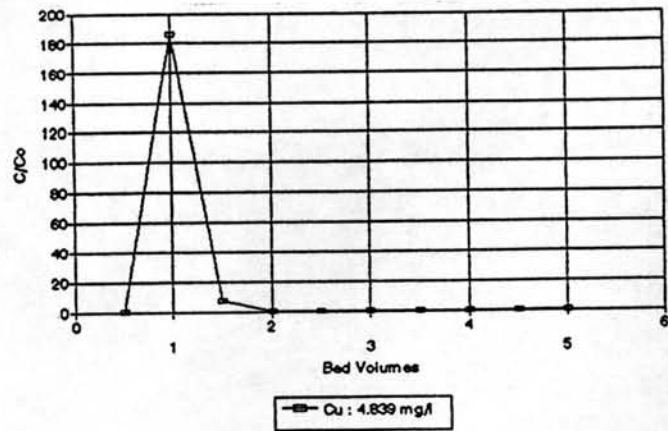
รูปที่ 5.42 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l



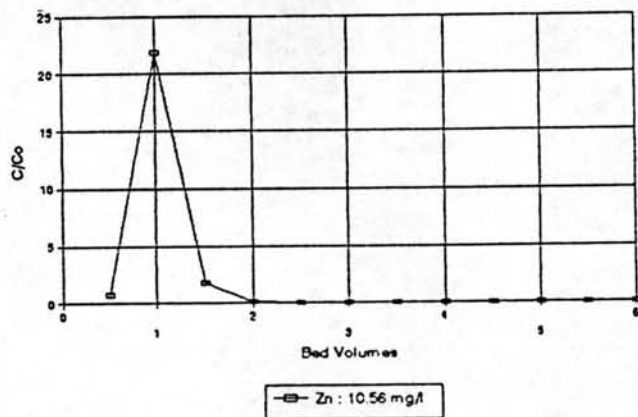
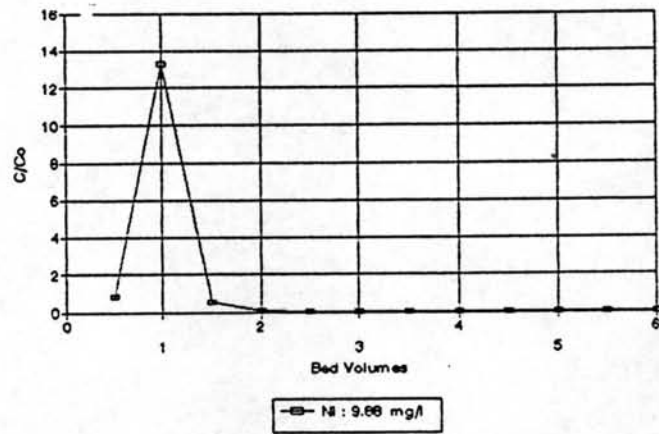
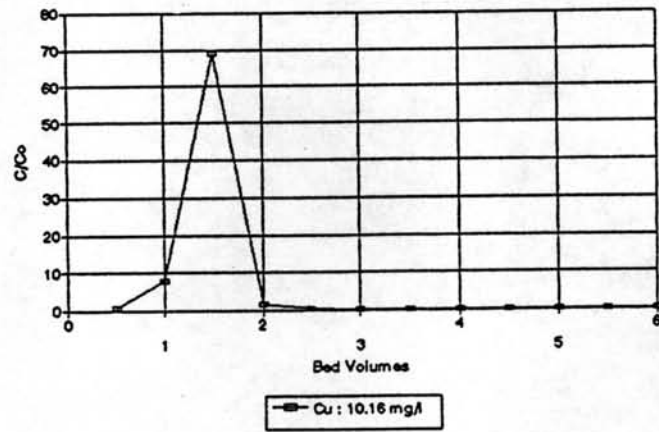
รูปที่ 5.43 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l



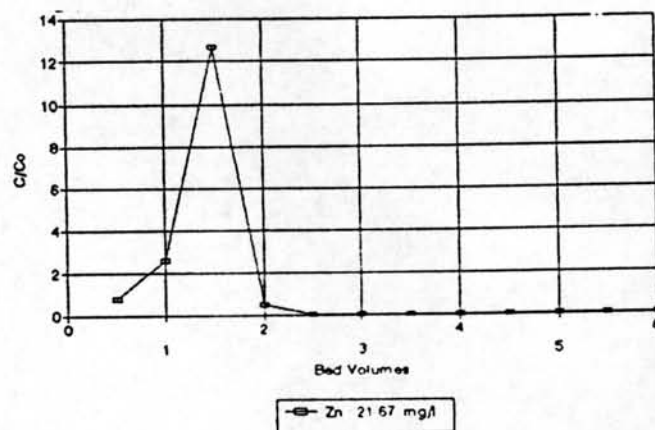
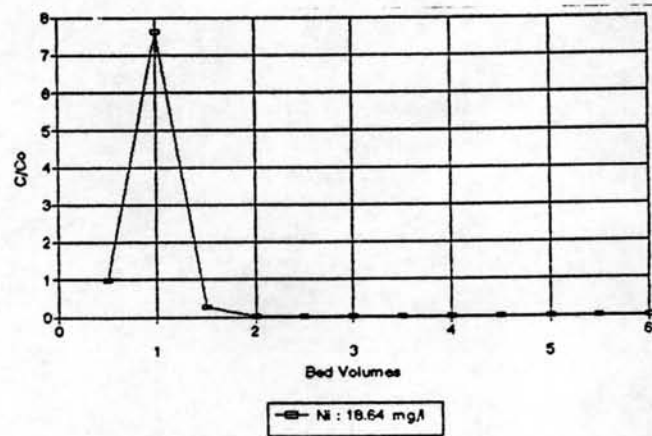
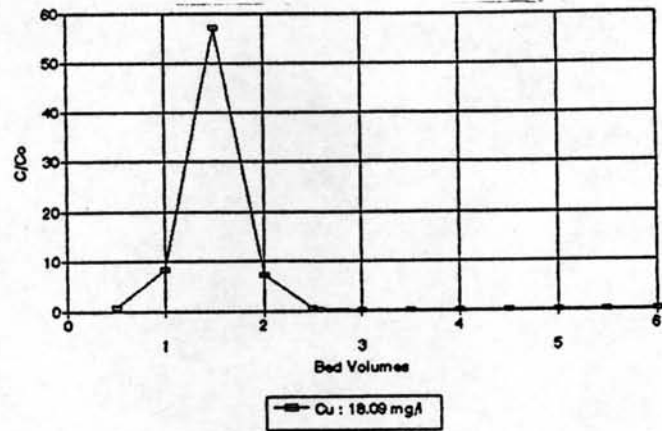
รูปที่ 5.44 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l



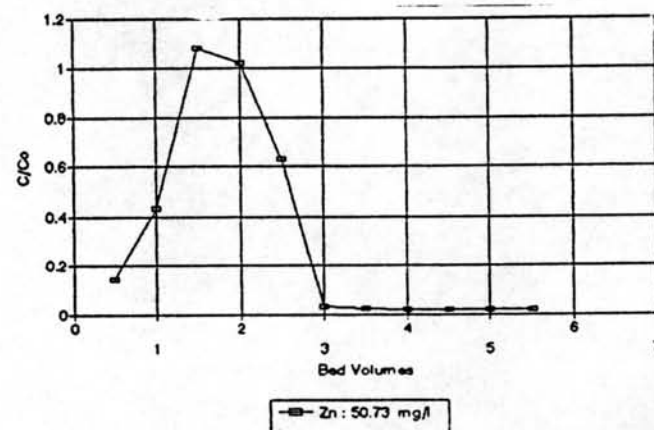
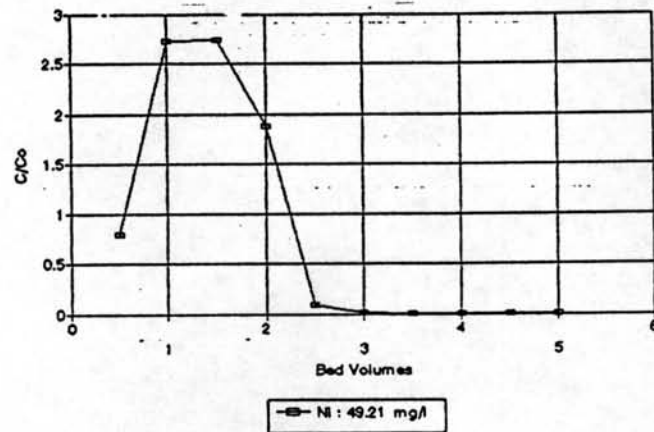
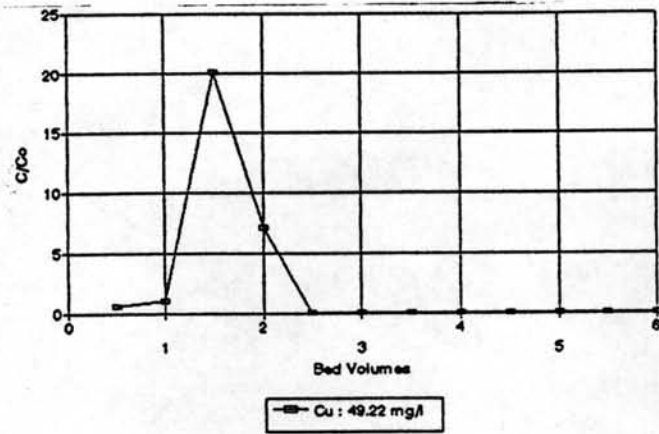
รูปที่ 5.45 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 5 mg/l



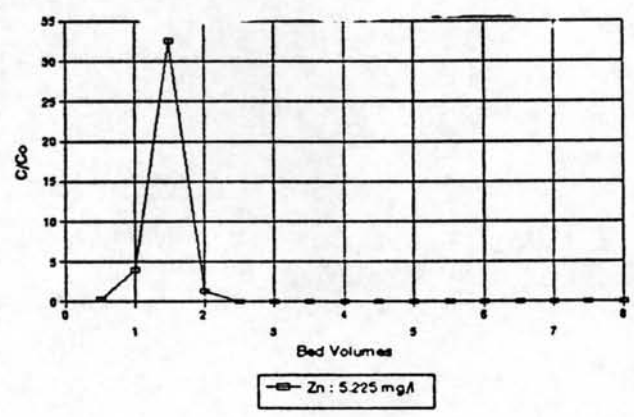
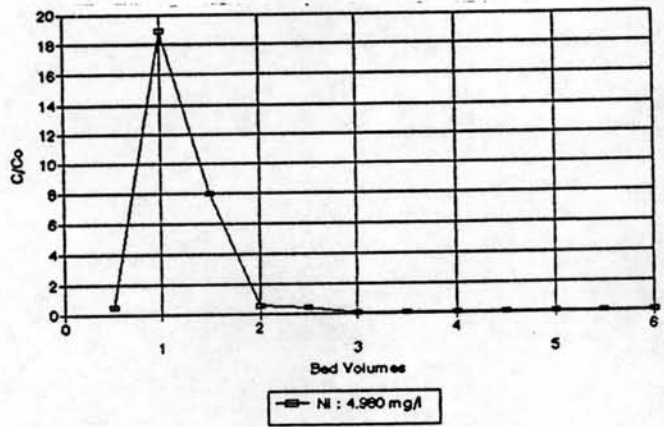
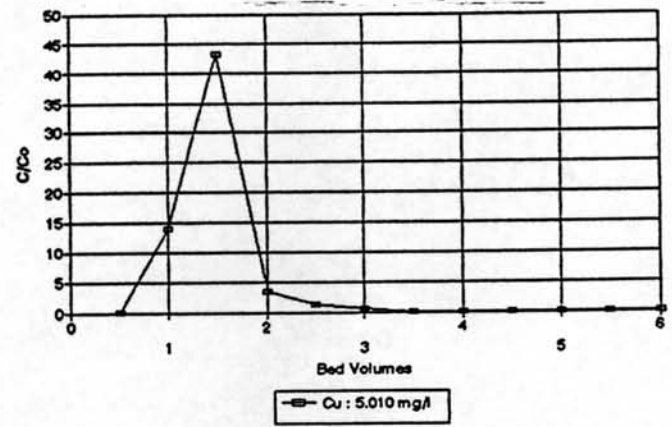
รูปที่ 5.46 ระดับการรีเจนเนเรชันของข้า้ทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 10 mg/l



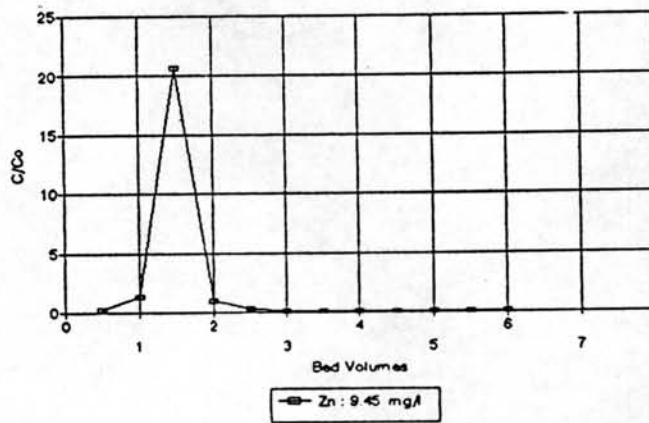
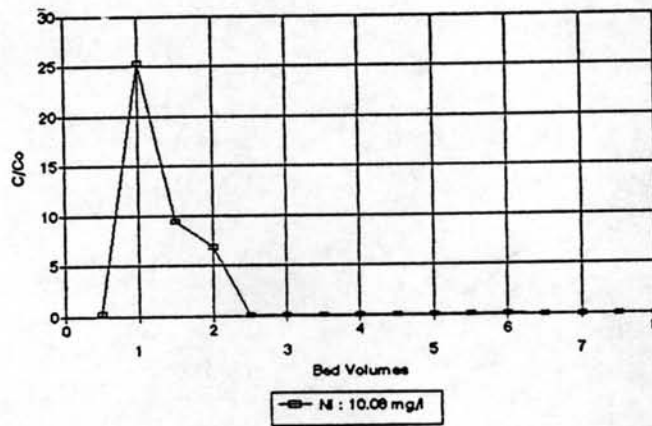
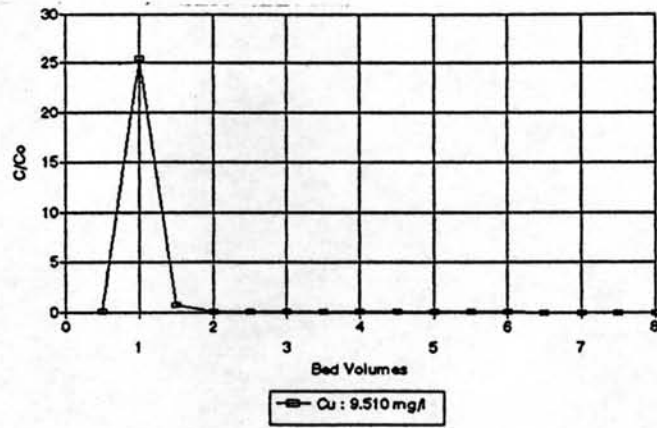
รูปที่ 5.47 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมี ปริมาณโลหะหนัก 20 mg/l



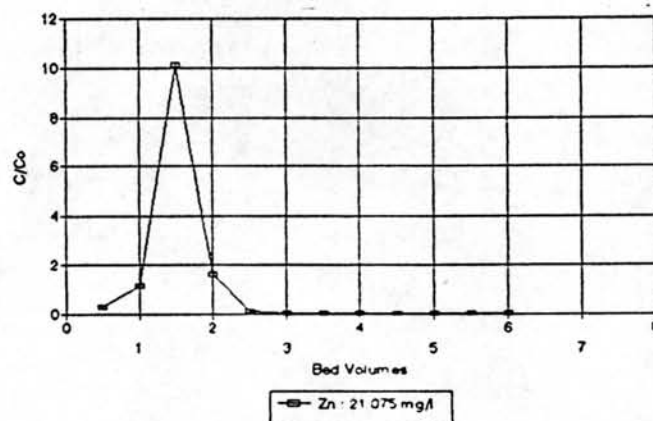
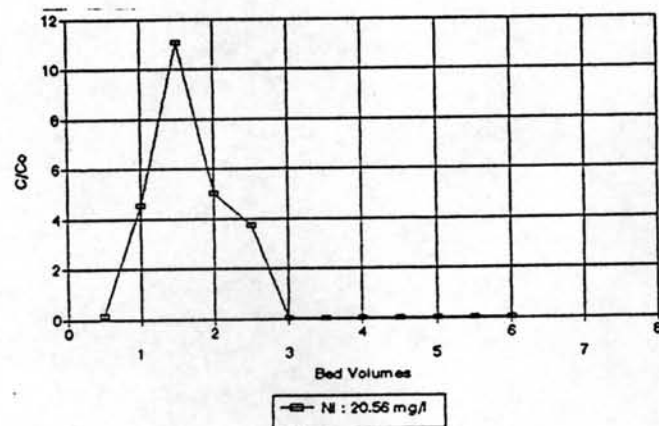
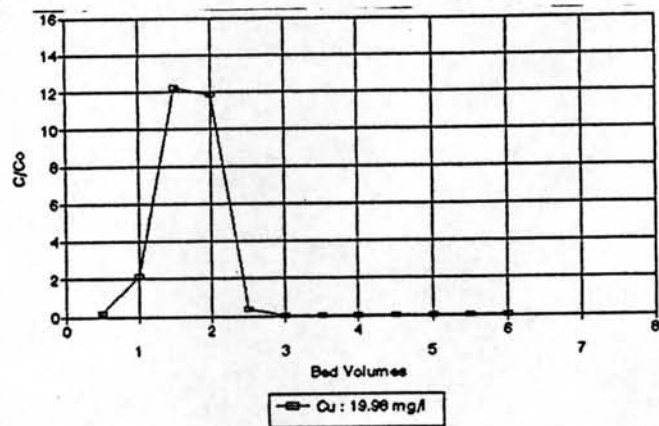
รูปที่ 5.48 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ ผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Water-Hyacinth) เมื่อน้ำเสียมมี ปริมาณโลหะหนัก 50 mg/l



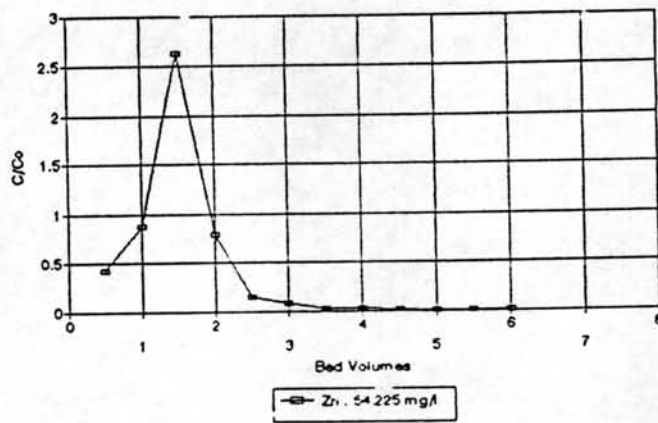
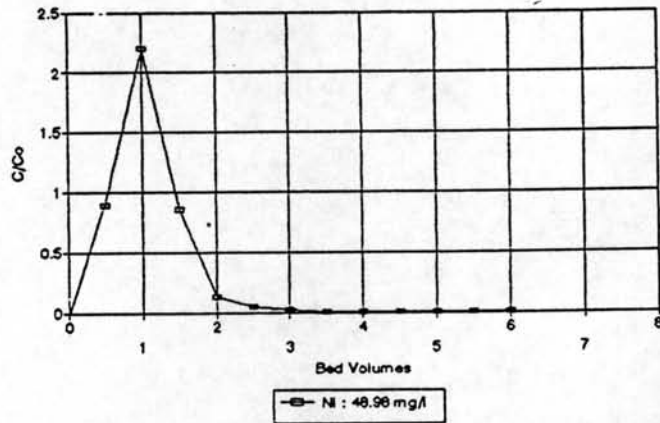
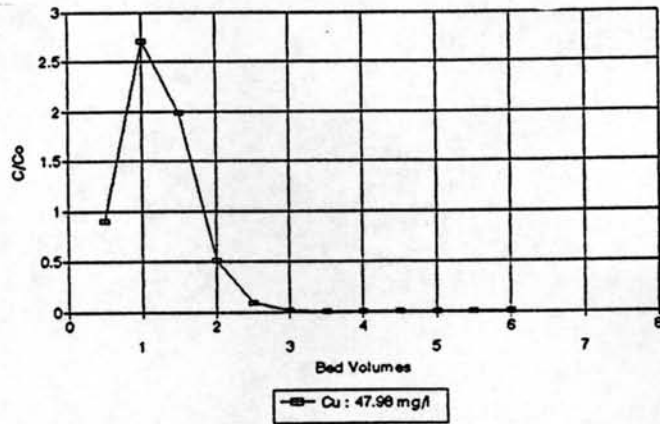
รูปที่ 5.49 ระดับการรีเจนเนเรชันของไส้กรองที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
ขาน้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ
โลหะหนัก 5 mg/l



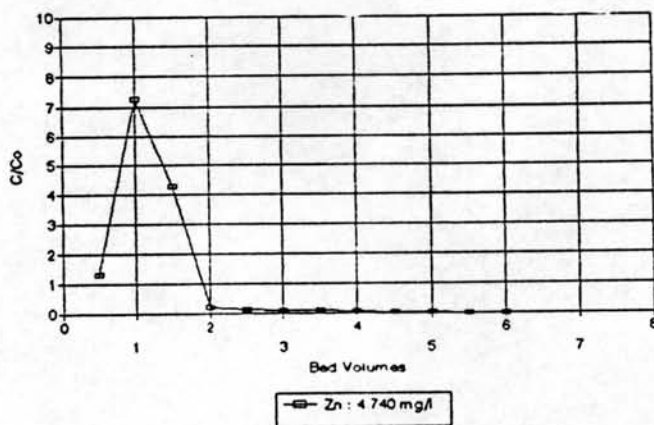
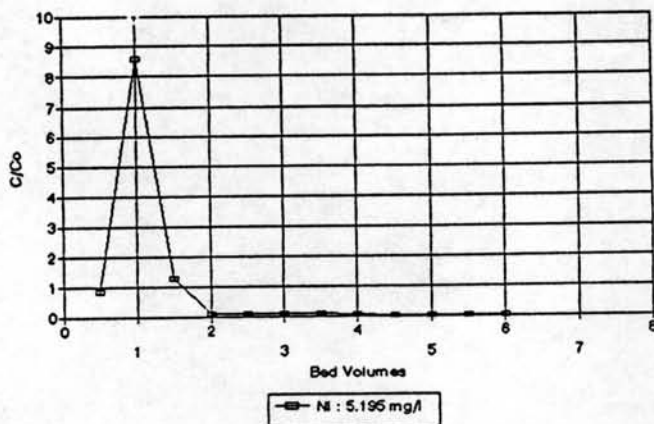
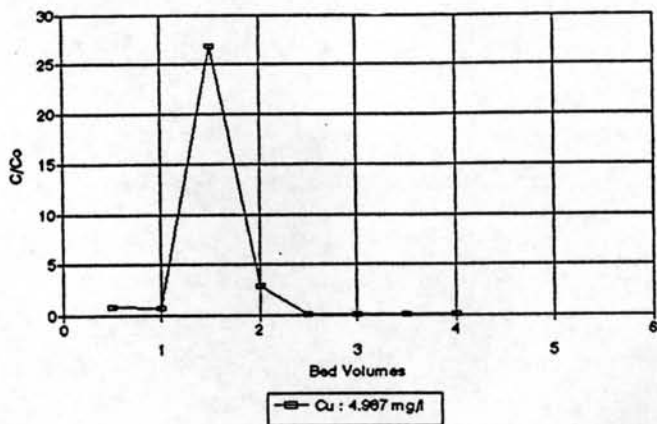
รูปที่ 5.50 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ทรายอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ
 โลหะหนัก 10 mg/l



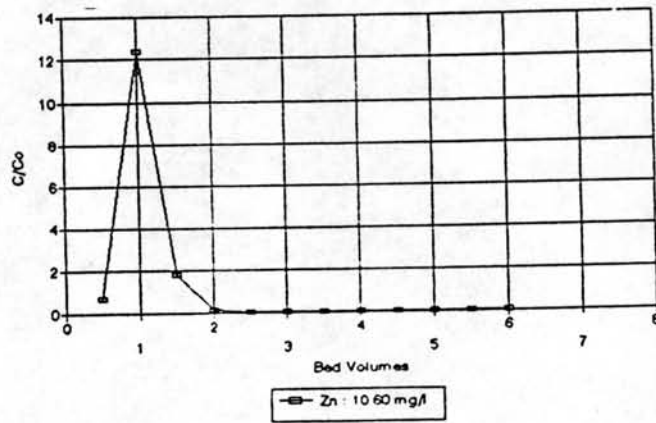
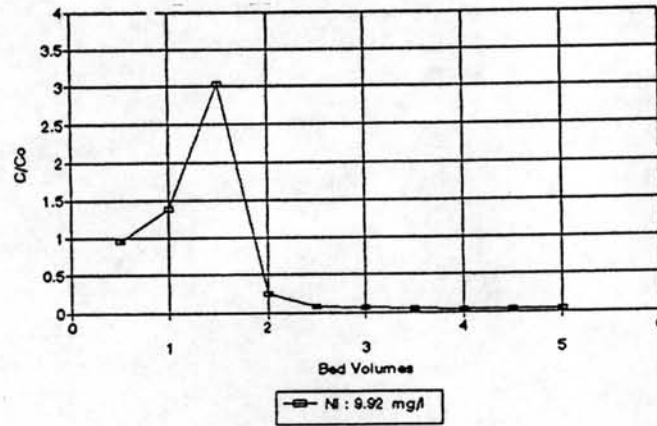
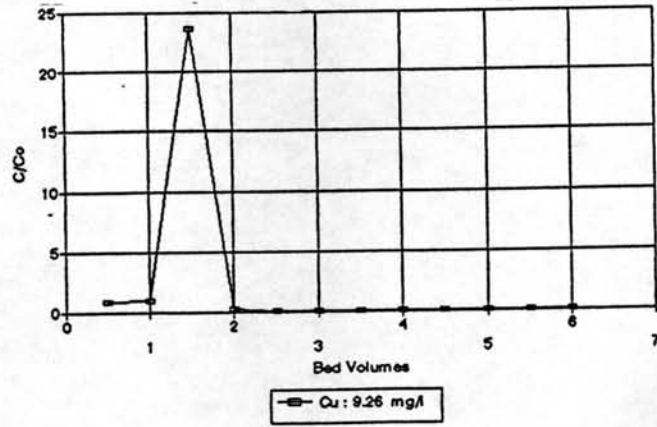
รูปที่ 5.51 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ฐานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ
 โลหะหนัก 20 mg/l



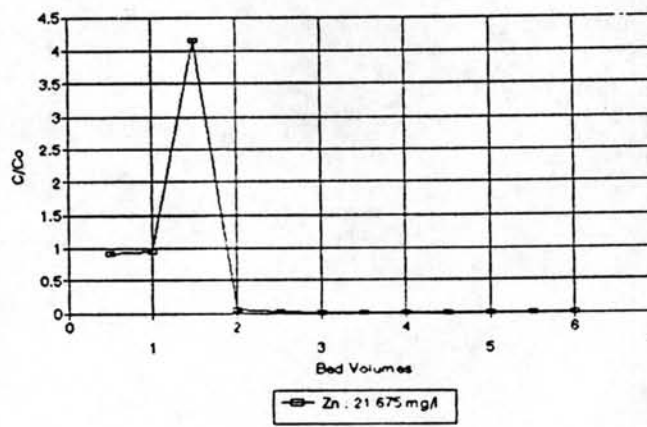
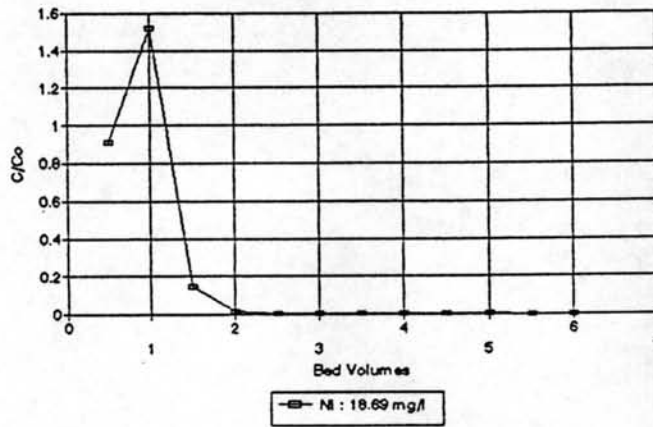
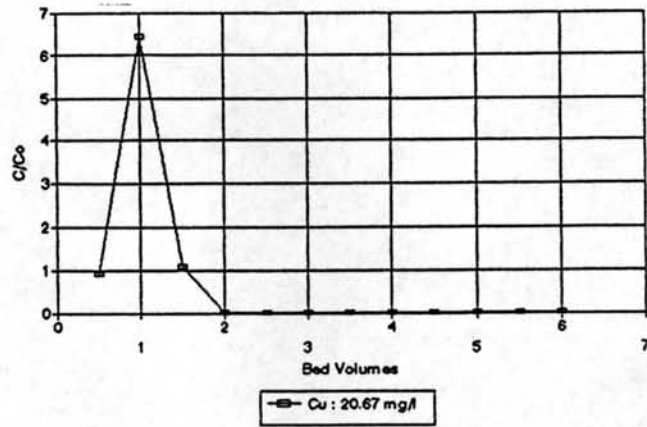
รูปที่ 5.52 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ทรายอ้อยที่งาได้ปรับสภาพ (Untreated Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ
 โลหะหนัก 50 mg/l



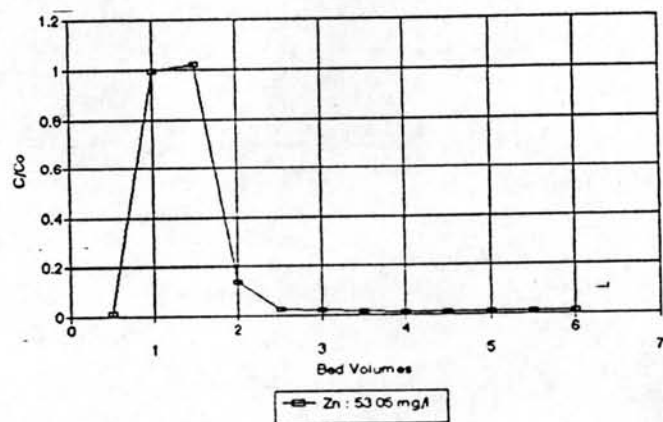
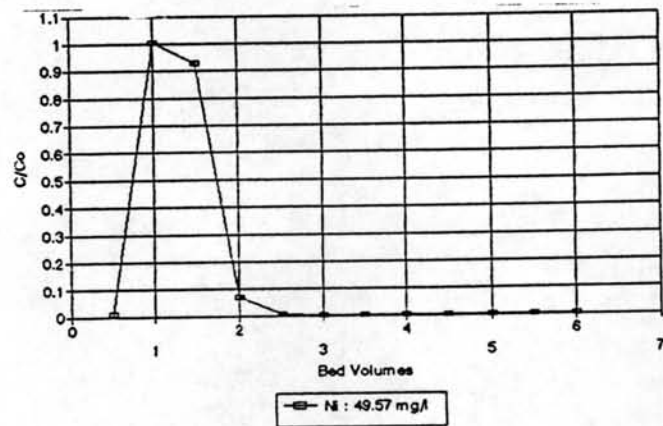
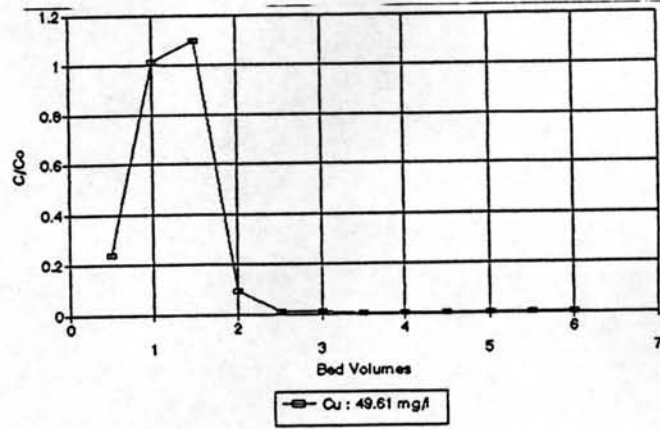
รูปที่ 5.53 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ฐานย่อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ
 โลหะหนัก 5 mg/l



รูปที่ 5.54 ระดับการรีเจนเนเรชันของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ฐานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เพื่อบำบัดเสียที่มีปริมาณ
 โลหะหนัก 10 mg/l



รูปที่ 5.55 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ.กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ฐานซ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เพื่อขนำเสียที่มีปริมาณ
 โลหะหนัก 20 mg/l



รูปที่ 5.56 ระดับการรีเจนเนเรชั่นของน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้
 ชาญ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl Bagasse) เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ
 โลหะหนัก 50 mg/l

รีเจนเนอแรนต์ ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ง. ซึ่งสามารถสรุปเป็นกราฟดังแสดง
ในรูปที่ 5.41 - 5.55 พบว่า ปริมาณสารรีเจนเนอแรนต์ที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชั่น
ประมาณ 2-3 ปริมาตรเรซิน